



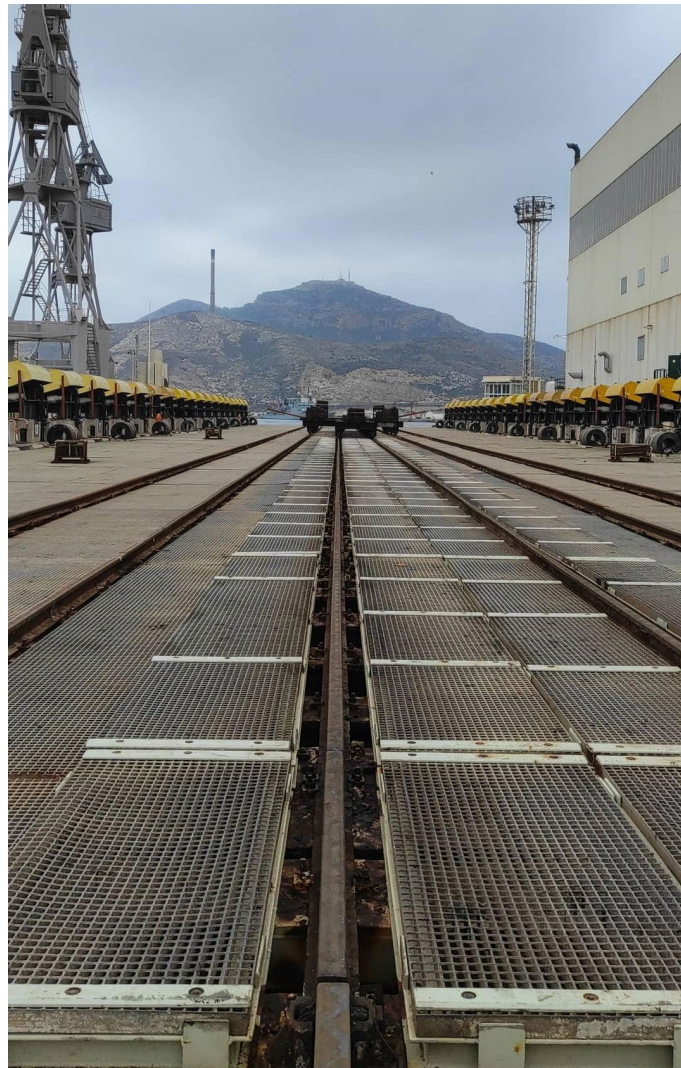
Escuela
Técnica
Superior

Ingeniería
Naval y
Oceánica



Universidad
Politécnica
de Cartagena

PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE UN SYNCROLIFT



Autor: Salvador Díaz Espinosa

Director: D. Gregorio Munuera Saura

A mis padres, quienes han dado todo lo que tenían en su mano para que llegue donde estoy.

A Juan Tormo, quien me enseñó todo lo que se sobre matemáticas.

A Luis, gracias a los libros de barcos y aviones plantó la semilla de lo que hoy soy.

A toda mi familia y amigos que me han acompañado en este largo viaje, gracias.

Algo que no perdona el tiempo es lo que a tiempo no se hace.

INDICE DE CONTENIDOS

1.	Introducción.	9
1.1	Estructura y objetivos del proyecto.	9
2.	Sistemas de varada en astilleros.	10
2.1	Dique seco.	10
2.2	Travel Lift.	11
2.3	Dique flotante.	12
2.3.1	Sectional Dock “Tipo Rennie”.	12
2.3.2	Box Dock	13
2.3.3	One sided Dock “Dique oponente”	14
2.4	Syncrolift	15
2.5	Conceptos de estabilidad.	16
2.5.1	Conceptos básicos de estabilidad.	16
2.5.2	Varada.	18
3.	Estudio de las necesidades por puerto.	21
3.1	Flota permanente del astillero de Cartagena.	21
3.1.1	Escuadrilla de Medidas Contra Minas (MCM) – Clase Segura.	21
3.1.2	Buque de Investigación Oceanográfica “Hespérides”	22
3.1.3	Patrulleros.	23
3.1.4	Fuerza de Acción Marítima	24
3.1.5	Submarinos	25
3.1.6	Auxiliares	26
3.2	Flota variable.	27
3.3	Necesidades logísticas de Navantia-Cartagena.	27
4.	SYNCROLIFT.	28
4.1	Historia del Syncrolift.	28
4.2	Elementos que componen el Syncrolift.	29
4.2.1	Grúas y sus equipos.	29
4.2.2	Plataforma.	36

4.2.3	Winches, norays y elementos de amarre.....	37
4.2.4	Reenvíos.....	38
4.2.5	Cepo del cable.....	40
4.2.6	Controles.....	40
4.2.7	Finales de carrera y actuadores.....	43
4.2.8	Cables de acero Syncrolift.....	44
4.2.9	Sistema de aire comprimido.....	45
4.2.10	Carro de transferencia.....	46
4.2.11	Traslado del conjunto carro-buque.....	48
4.2.12	Grada.....	51
4.3	Maniobra de entrada al Syncrolift.....	52
4.3.1	Pasos previos.....	52
4.3.2	Operativa de funcionamiento.....	53
5.	Mantenimiento centrado en fiabilidad.....	54
5.1	Introducción al mantenimiento.....	54
5.1.1	Mantenimiento preventivo:.....	54
5.1.2	Mantenimiento correctivo.....	54
5.2	Herramienta FMECA.....	55
5.2.1	Información necesaria para comenzar el FMECA.....	55
5.2.2	Modos de fallo.....	56
5.2.3	Causas de fallo.....	56
5.2.4	Método de detección.....	57
5.2.5	Severidad (S).....	57
5.2.6	Ocurrencia (O).....	58
5.2.7	Detectabilidad (D).....	58
5.2.8	Nivel de prioridad de riesgo (NPR).....	59
5.2.9	Hoja de trabajo.....	60
5.2.10	Beneficios del FMECA.....	62
5.3	Herramienta FMEA en el Syncrolift.....	62
5.3.1	Matriz de riesgo.....	62
5.3.2	Relación entre FMEA y FMECA.....	74

5.3.3	Análisis de datos obtenidos de la hoja de trabajo.	91
5.4	Plan de mantenimiento.	92
5.4.1	Consideraciones generales.	92
5.4.2	Gamas de mantenimiento.	92
5.4.3	Propuestas de mejora.	103
6.	CONCLUSIONES	104
7.	Bibliografía.....	105

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Dique seco navantia-cartagena (foto del autor).....	11
Ilustración 2 travel lift	12
([1], s.f.) Ilustración 3 – sectional dock “rennie”	13
Ilustración 4 Box Dock - Navantia-Cartagena (Foto del autor)	13
([2], s.f.) Ilustración 5 Seccion transversal del dique flotante de barcelona.....	14
([5], s.f.) Ilustración 6 syncrolift y gradas en el astillero de cartagena	16
Ilustración 7 Representación de las resultantes de las fuerzas gravitatorias y de empuje hidrostático sobre un cuerpo flotante, con flotación FL.....	17
Ilustración 8 Varada considerada como descarga de peso	19
Ilustración 9 Instante previo a apoyar completamente un buque con asiento en la cama	20
([7], s.f.) Ilustración 10 Cazaminas Tambre.....	22
Ilustración 11 Buque Hespérides en la grada de Navantia Cartagena (fotografía del autor) 23	
([9], s.f.) Ilustración 12 BAM Audaz realizando pruebas de mar	25
Ilustración 13 S-81P Isaac Peral en su primer contacto con el mar	26
([20], s.f.) Ilustración 14 Estructura del Syncrolift en funcionamiento.....	28
([21], s.f.) Ilustración 15 Engranaje cónico, similar al utilizado en la reductora del Syncrolift	30
.....	
Ilustración 16 Esquema de la reductora completa	30
Ilustración 17 Engranaje intermedio, eje y engranaje de transmisión a cabirón	31
Ilustración 18 Esquema del Cabirón instalado en el Syncrolift.....	32
([19], s.f.) Ilustración 19 Vista superior de la grúa de un Syncrolift.....	33
Ilustración 20 Freno de trinquete con uñeta	34
Ilustración 21 Imagen del sistema de Trinquete y Uñeta	35
Ilustración 22 Representación de la plataforma del Syncrolift.....	36
Ilustración 23 Vista lateral de la disposición de vigas.....	37
([16], s.f.) Ilustración 24 Movimiento del conjunto a través del astillero	37
Ilustración 25 Disposición del reenvío superior	39
Ilustración 26 Polea inferior	40
([17], s.f.) Ilustración 27 Puesto de mando de un Syncrolift.....	41
([18], s.f.) Ilustración 28 Pantalla del puesto de mando mostrando carga por grúa	42
Ilustración 29 Compresor similar al existente	46
([23], s.f.) Ilustración 30 Rodamiento con anillo exterior fijo	47
Ilustración 31 Carro de transferencia.....	48
Ilustración 32 Bomba rotativa de inyección.	51

1. Introducción.

En el entorno de un astillero existen varias opciones para elevar o sumergir un buque, el invento más reciente es el Syncrolift, elemento fundamental para cientos de varadas en un astillero moderno.

Toda maquinaria de uso cotidiano en la industria tiene un valor incalculable cuando la carga de trabajo es alta, por lo que es indispensable que el Syncrolift esté listo para trabajar siempre que se requiera su uso. Para ello, se realizan mantenimientos preventivos y correctivos tanto en la estructura del Syncrolift como en sus elementos asociados. Del correcto funcionamiento de esta maquinaria se obtiene un gran beneficio, como más adelante se ahondará el Syncrolift mejora a los métodos antiguos tanto en velocidad de varada como en eficiencia energética.

1.1 Estructura y objetivos del proyecto.

Este trabajo de fin de estudios permitirá conocer la estructura que compone un Syncrolift, las variables que existen a la plataforma según el acometido que tenga (principalmente la capacidad de carga con la que operan). Además, se estudiará el entorno del Syncrolift; grada, railes, etc.

Posteriormente se estudiará la historia del Syncrolift, aunque breve ya que es un invento relativamente reciente, ha experimentado un gran desarrollo en las últimas décadas. Introduciendo en esta parte del estudio como, mediante el mantenimiento según condición, se han ido mejorando las maquinarias que componen el dique para reducir los posibles fallos.

A continuación, se centrará el grueso del proyecto en el objeto del mismo, el diseño del plan de mantenimiento con el que se pretende conseguir que el Syncrolift se mantenga operativo el mayor tiempo posible. Las herramientas que se utilizarán para elaborar este plan son la metodología RCM, se explicará en qué consiste y como se integra en la planificación del mantenimiento mediante sus representaciones numéricas y gráficas que se apoyan en la FMECA. Con los datos obtenidos de estas metodologías se desarrollarán una serie de mantenimientos que realizar en la estructura del Syncrolift y los sistemas que lo componen para alargar su vida. Estos resultados se complementarán con los conocimientos obtenidos durante la estadía en prácticas en el departamento de Mantenimiento y Obra Civil y Servicios de la empresa pública Navantia.

2. Sistemas de varada en astilleros.

2.1 Dique seco.

El dique seco, a grandes rasgos, consiste en una apertura excavada en el suelo cercano al mar, revestida de hormigón que albergará un buque para su reparación o fabricación. El buque entra navegando, una vez centrado en el dique se cierra la entrada mediante el barco puerta. El barco puerta es, como su nombre indica, un barco que hace las veces de separador entre el mar, o río, y el interior del dique seco. Una vez el barco puerta se sitúa en la entrada, se activan los medios de achique y se empieza a vaciar el dique seco. Esto hace que el buque empiece a descender y en un momento dado toque el fondo, es en este momento cuando los buzos de los que dispone el astillero empezarán a revisar que el buque queda estibado según se ha planificado por la oficina técnica del astillero. Esta oficina, previa a la llegada del buque, debe realizar un estudio de pesos y refuerzos de los que dispone el buque para poder vararlo sobre una cama. La cama se realizará en madera para que pueda asentar el buque sobre ella sin resultar dañado. Volviendo al momento en el que el buque empieza a apoyar sobre la cama, pese a los esfuerzos y buenos cálculos que realice la oficina técnica, puede que el buque haya entrado al dique seco con una avería y no navegue en con la flotación ideal, es por esto que los buzos deberán ir acomodando el buque con calzos para que quede bien sujeto y no haya posibilidad de que empiece a escorar debido a una varada que afecte a su estabilidad.

En el caso del dique seco, el mantenimiento es bastante complejo, lo cual aumenta el coste de operación y de posesión del mismo. Al ser una estructura en contacto con el medio marino, tanto la estructura del barco puerta como el armamento del hormigón y todas las estructuras metálicas deben llevar protecciones contra la corrosión. Se deben programar tareas de revisión de la pintura, ánodos de sacrificio del barco puerta y revisión de las barras de tesado que soportan la estructura del propio dique seco. Además, y es muy importante no pasar por alto, el correcto mantenimiento de la flora que puede aparecer entre los resquicios del dique, al ser una estructura al aire libre y en un ambiente húmedo, la vida se abre camino. En cuanto a la maquinaria de la que dispone el dique seco, las bombas de achique, tanto del dique como las internas del barco puerta, deben tener sus mantenimientos diarios, semanales, etc programados para su correcto funcionamiento. Continuando con los sistemas de achique, existen múltiples válvulas y tramos de tubería que deben tener sus mantenimientos tanto para recorridos de válvulas como comprobación de estanqueidad de las tuberías. La goma que sella el barco puerta y las paredes del dique debe tener una revisión periódica y con reemplazos cuando sea necesario.

A grandes rasgos, se puede determinar que el mantenimiento de un dique seco es un proceso muy costoso por su complejidad, con lo que puede hacer que un astillero moderno se decante por

otros sistemas más actualizados que permitan una operativa más rápida y unos mantenimientos menos complejos.



ILUSTRACIÓN 1 DIQUE SECO NAVANTIA-CARTAGENA (FOTO DEL AUTOR)

2.2 Travel Lift.

Este método para dejar un buque “en seco” no es propiamente un medio de varada ya que el buque no queda varado en ningún momento. El buque navega hasta una zona especialmente diseñada para ser izado, en este momento se eslinga el casco del buque quedando estas dispuestas en los puntos donde el buque tenga los mayores refuerzos. En este momento la grúa *travel lift* iza el buque hasta una altura en la que no toque la quilla, ni la orza si dispone el buque de ella, el suelo del astillero. Una vez izado se puede trasladar a la zona donde más convenga para las operaciones de reparación, limpieza, etc. Esta opción es una alternativa mucho más barata a una varada en dique seco, pero que, por razones de capacidad de elevación, no puede abarcar un amplio espectro de tonelaje, con lo cual queda restringida prácticamente a embarcaciones de recreo y pequeños pesqueros. Aún así, es muy conveniente ya que, al transportar el buque a una zona donde se deposita en una cama, queda libre la zona de izado y permite una capacidad operativa al astillero mucho mayor a la del dique seco. En este caso el mantenimiento quedaría restringido a los medios de elevación (molinetes, maquinaria, sistemas de lubricación y cables), el mantenimiento de la propia estructura (revisiones periódicas del estado del acero, soldaduras

y pintura) además del poco mantenimiento que tiene el dique donde navega el buque a izar (dragado si tiene mucha corriente e inspecciones de la estructura).



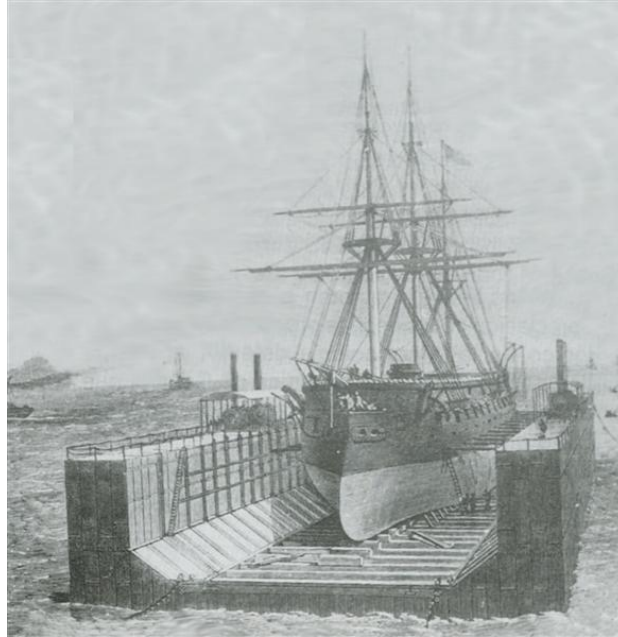
ILUSTRACIÓN 2 TRAVEL LIFT

2.3 Dique flotante.

Un dique flotante es un sistema que no solo permite varar un buque para su reparación, sino que permite poner a flote un buque de nueva construcción mediante los railes que tiene dispuestos en su base. La estructura que lo compone es, a grandes rasgos, dos paredes y una grada con railes. Las paredes albergan los tanques de lastre mediante el cual el dique se sumerge y emerge para alojar el buque que debe ser reparado o puesto a flote. En la grada dispone de puntos de eslingado y unos railes dispuestos longitudinalmente que permiten al buque objeto de la operación ser transportado hacia una zona de reparación o desde la nave donde se ha construido. En el libro *Floating Docks* de Lyonel Edwin Clark se recogen los diferentes tipos de diques flotantes, de los cuales se van a enumerar los más comunes actualmente:

2.3.1 *Sectional Dock “Tipo Rennie”.*

Es la estructura de dique más clásica. Una vez construido, sus costados quedan en una sola pieza, pero la base queda dividida por secciones “pontonas”. El único refuerzo longitudinal son los costados, con lo que no será tan resistente como las variantes que se verán a continuación. No se utiliza para ser remolcado debido a la poca resistencia longitudinal que presenta, con lo que sus funciones se ven limitadas al funcionamiento en una ubicación estacionaria.



([1], s.f.) ILUSTRACIÓN 3 – SECTIONAL DOCK “RENNIE”

2.3.2 *Box Dock*

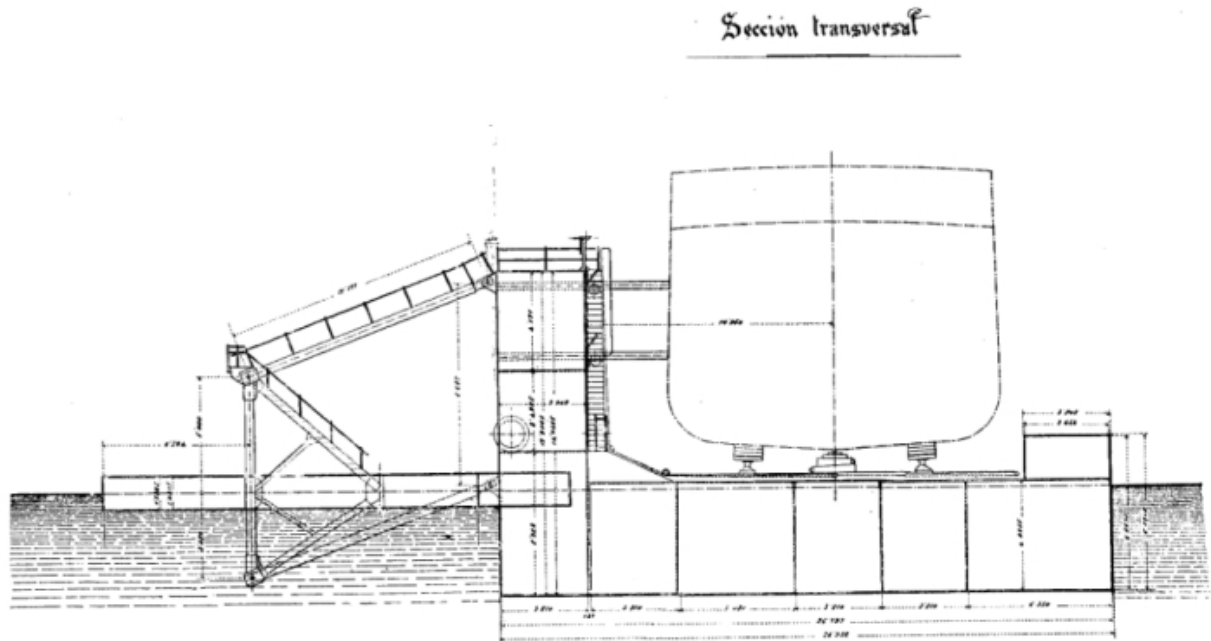
Este dique, a diferencia del Tipo Rennie, queda construido en una sola pieza. Esta forma continua le permite soportar mejor los esfuerzos a los que se vea sometido en caso de tener que ser transportado.



ILUSTRACIÓN 4 BOX DOCK - NAVANTIA-CARTAGENA (FOTO DEL AUTOR)

2.3.3 *One sided Dock “Dique oponente”*

Este tipo de dique, en desuso pero de diseño curioso, no sigue las reglas que el resto de diques si, ya que tiene forma de “L” en vez de la clásica “U”. El sique oponente permite al buque entrar de costado sin necesidad de entrar por uno de los vértices de la estructura.



([2], s.F.) ILUSTRACIÓN 5 SECCION TRANSVERSAL DEL DIQUE FLOTANTE DE BARCELONA

En este caso la operativa de mantenimiento si es más compleja, así como el funcionamiento del dique flotante. Se programarán mantenimientos preventivos para las bombas de achique y todo el sistema de tuberías, válvulas, etc que compongan los sistemas de lastre. El propio dique, al ser una estructura que pasa la mayor parte del tiempo sumergida, debe ser limpiado con asiduidad y pintado. La estructura metálica debe someterse regularmente a inspecciones para detectar daños que puedan comprometer su integridad. Como parte del mantenimiento preventivo de la estructura se debe contar con la protección catódica del metal ante el ambiente húmedo y salino que intentará corroerla. En el caso de que el dique flotante cuente con sistemas auxiliares, como generadores eléctricos, sistemas de iluminación propios o grúas y equipos de elevación, estos deben ser inspeccionados y mantenidos para asegurar la operatividad del astillero.

Una particularidad del dique flotante que lo hace especialmente ventajoso es la capacidad de poder transportarlo; se puede estibar un buque en su interior y mediante remolcadores, llevarlo a una zona donde deba ser reparado. A su vez, este sistema se ve limitado por la capacidad de carga que tenga.

2.4 Syncrolift

El Syncrolift, objeto de este trabajo, es uno de los sistemas más recientes para varar buques. Se compone de varias estructuras, entre ellas un número variable pero siempre par de grúas que elevan la plataforma donde vara el buque. Una plataforma que variará su tamaño en función de las capacidades que quiera tener el astillero y los buques que se desee varar. Esta plataforma contará con unos railes centrales y un suelo enjaretado para que el agua pueda inundar y evacuar generando la menor resistencia posible. Las grúas irán conectadas a un sistema eléctrico que variará la potencia y la velocidad de recogido de cada grúa en función de la distribución de pesos del buque, ya que, si cada grúa recibiese la misma potencia, la plataforma se elevaría de forma irregular.

La operación del Syncrolift se asemeja mucho a la de un ascensor, la plataforma desciende y asciende dentro del agua a una profundidad predeterminada, limitada por la batimetría del entorno y que se adapta al calado del buque. Una vez la plataforma ha descendido, la embarcación se posiciona sobre la plataforma haciéndola fija mediante amarras y estachas a los norays dispuestos a lo largo de la estructura en tierra del Syncrolift. El posicionamiento del buque debe ser preciso ya que, aunque mientras se eleva la plataforma se podrá ir corrigiendo, el buque tendrá debajo la cama que se ha realizado para varar el buque y posteriormente trasladarlo a la posición donde se realizará el mantenimiento. Se eleva el buque mediante el sistema de izado sincronizado y una vez queda enrasada la plataforma en su posición más elevada se bloquean los winches mediante el sistema de frenado liberando así la necesidad del motor de estar cargando con el peso del conjunto. En este momento se traslada el buque sobre los railes hacia la grada donde se someterá a las reparaciones que necesite.

La historia del Syncrolift se remonta a mediados del siglo pasado, fue un invento del ingeniero estadounidense Raymond Pearlson. Su innovador sistema podía elevar hasta 10,000 toneladas. Según el artículo del periódico “Anchorage Daily News” ([4], s.f.) donde se daba una solución a la dificultad de reparar buques en este puerto, el invento data de 1954 ([3], s.f.) y en los primeros años de constitución del invento se vendieron 9 de estos sistemas, lo cual indica una gran acogida por parte del mercado naval. Hoy en día la empresa ha cambiado varias veces de manos, siendo su dueño actual Nekkar ASA quien compró la marca a Rolls Royce. En nuestro país existen tres plataformas Syncrolift, una plataforma en el astillero de Navantia en Cartagena,

la segunda plataforma de la península está en Barcelona y la última y de mayor tamaño se encuentra en las dependencias de ASTICAN en Las Palmas.



([5], s.f.) ILUSTRACIÓN 6 SYNCROLIFT Y GRADAS EN EL ASTILLERO DE CARTAGENA

2.5 Conceptos de estabilidad.

2.5.1 Conceptos básicos de estabilidad.

Se deben tener en cuenta ciertos conceptos básicos de estabilidad siempre que el buque vaya apoyar su quilla para realizar las operaciones de varada. Para ello se van a revisar los conceptos de estabilidad estudiados, introduciendo desde los más básicos y profundizando en las operaciones de varada.

Se conoce la estabilidad como la propiedad que tiene un buque de recuperar su situación inicial cuando una fuerza externa le hacen cambiar.

Como se puede ver en la ilustración 7, el peso del buque se localiza en el centro de gravedad (G), el empuje que genera el fluido donde navegue el buque se localizará en el centro de carena (B). El buque se hallará en equilibrio si estos puntos están alineados respecto a una perpendicular a la flotación.

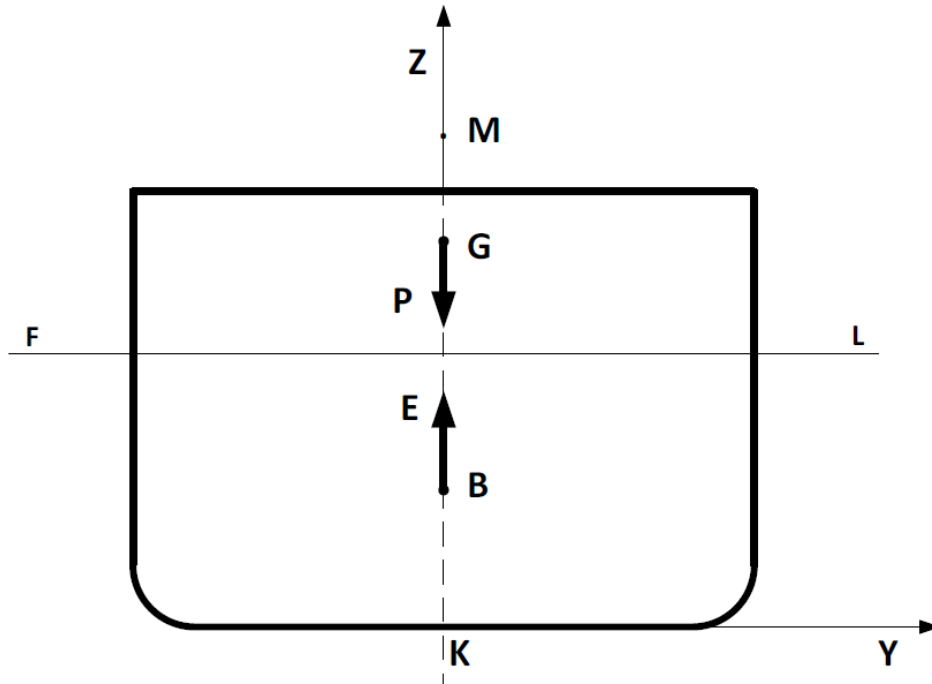


ILUSTRACIÓN 7 REPRESENTACIÓN DE LAS RESULTANTES DE LAS FUERZAS GRAVITATORIAS Y DE EMPUJE HIDROSTÁTICO SOBRE UN CUERPO FLOTANTE, CON FLOTACIÓN FL.

$$\overline{GM} = \overline{KB} + \overline{BM} - \overline{KG}$$

Altura metacéntrica (\overline{GM}): Distancia que hay entre el centro de gravedad del buque y el metacentro. Esta distancia va a cuantificar el criterio de estabilidad (en estabilidad inicial), un valor elevado de \overline{GM} da como resultado una mayor estabilidad inicial y hará que el buque tenga mayor dificultad para escorar. No siempre lo ideal es tener un valor de \overline{GM} cuanto mayor posible, pues un \overline{GM} muy grande hará que los retornos del buque a su posición inicial sean muy rápidos, a su vez un \overline{GM} pequeño hará que sean muy lentos y que el buque quizá recupere a menor velocidad de lo que debe para adaptarse a su entorno.

Altura del centro de carena (\overline{KB}): Distancia desde la quilla hasta el centro de carena.

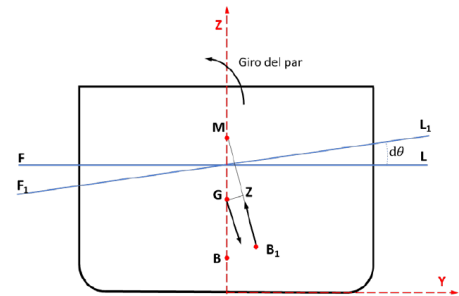
Radio metacéntrico (\overline{BM}): Distancia entre el centro de carena y la altura metacéntrica. La sucesión de posiciones que toma B al cambiar un ángulo $d\theta$ la escora del buque creará la curva que describe el centro de carena, esto solo se cumple a pequeños ángulos.

Brazo Adrizante (\overline{GZ}): \overline{GZ} es el valor que toma la distancia perpendicular del centro de gravedad a la recta que forma el centro de carena con el metacentro. Esta distancia multiplicada por el desplazamiento dará lugar al valor del par adrizante del buque.

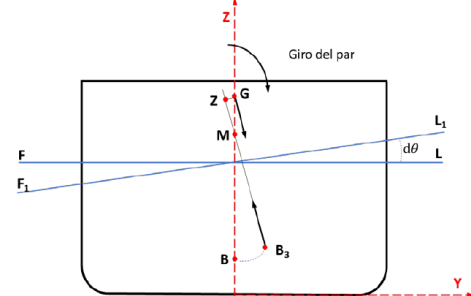
En el momento en el que el buque recibe la acción de una fuerza externa B y G quedan desalineados en la misma vertical, generando esto un par de fuerzas que dependiendo de la

posición del centro de gravedad del buque y del metacentro será equilibrio estable, inestable o indiferente.

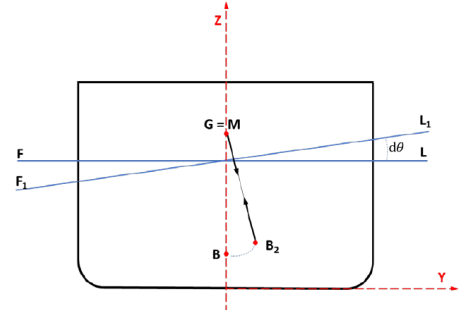
Equilibrio Estable: $GM > 0$
 El par de fuerzas generado lleva al buque a volver a la posición inicial.



Equilibrio Inestable: $GM < 0$
 El par de fuerzas generado llevaría al buque a alejarse de la posición de equilibrio.



Equilibrio Indiferente: $GM = 0$
 No se genera un par de fuerzas con lo que $GZ=0$.



2.5.2 Varada.

Una vez introducidos los conceptos básicos sobre los que se apoyará la varada en la cama del Syncrolift, se va a explicar los dos modos en los que puede entrar un buque navegando en el Syncrolift.

2.5.2.1 *Varada Normal*

La varada normal corresponde a una situación ideal en la que el buque entra navegando sin ningún tipo de asiento relativo a la cama que tiene preparada. Aunque es la situación ideal, es prácticamente imposible que suceda, cualquier cambio de peso en el buque generará que tenga un asiento distinto al proyectado y que ya no apoye en todos los picaderos a la vez, con lo que la reacción no se repartirá de forma uniforme.

Si se considera la varada como una descarga de peso, el centro de gravedad del buque se verá afectado y la posición del centro de carena también.

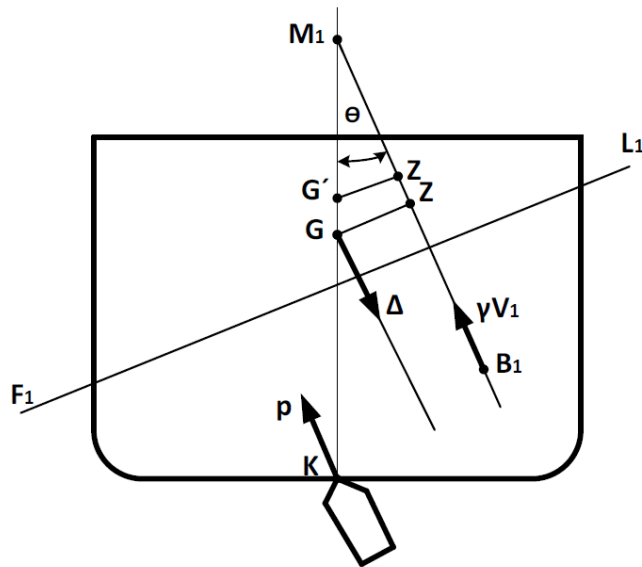


ILUSTRACIÓN 8 VARADA CONSIDERADA COMO DESCARGA DE PESO

Como se puede apreciar en la ilustración 8, el valor de GM a considerar es el nuevo, quedando como describe la siguiente formula:

$$G'M = GM_1 - GG' \quad (1)$$

Con lo que el par adrizante quedará de la siguiente forma (considerando que $GZ \approx GM \text{ sen}\theta$)

$$P_a = \Delta GM \text{ sen}\theta = \gamma \nabla_1 G'M_1 \text{ sen}\theta \quad (2)$$

Sustituyendo (1) en (2) queda:

$$P_a = \gamma \nabla_1 (GM_1 - GG') \text{ sen}\theta \quad (3)$$

Si ahora tomamos momentos respecto a G queda la distancia GG' :

$$GG' = \frac{p KG}{\gamma \nabla_1} \quad (4)$$

Esta ecuación (4) la sustituimos en la ecuación (3), sabiendo que $p = \Delta - \gamma \nabla_1$, para obtener el par adrizante:

$$P_a = (\gamma \nabla_1 K M_1 - \Delta K G) \text{sen} \theta \quad (5)$$

2.5.2.2 Varada con asiento

La situación del punto anterior es altamente improbable, como normalmente los buques entran al Syncrolift con cierto asiento por popa, se va a estudiar esta situación debido a que una reacción puntual demasiado elevada puede llevar a un fallo en la estructura del buque.

Para realizar el cálculo de la reacción puntual máxima, se toman momentos respecto al punto donde primero entra en contacto el buque con los picaderos, suponiendo que el buque trima por popa, este punto será el talón del codaste. La suma de momentos dará 0 ya que se está considerando un proceso estático.

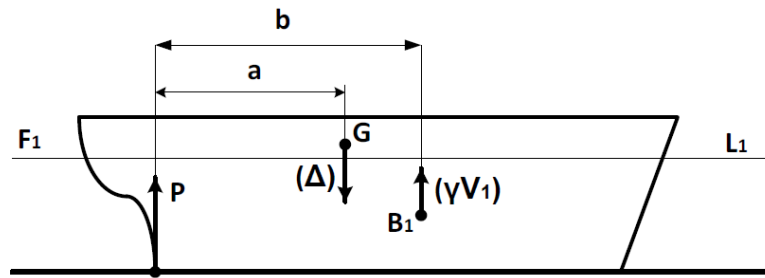


ILUSTRACIÓN 9 INSTANTE PREVIO A APOYAR COMPLETAMENTE UN BUQUE CON ASIENTO EN LA CAMA

De la suma de momentos se obtiene la ecuación:

$$\Delta a = \gamma \nabla_1 b \quad (6)$$

Se debe conocer el empuje para poder aplicar la ecuación $p = \Delta - \gamma \nabla_1$ una vez se haya obtenido simplemente se sustituirán valores para obtener el valor de p (reacción puntual máxima).

3. Estudio de las necesidades por puerto.

Para el caso de estudio se va a tomar el astillero de Cartagena, por la información disponible y para poder referenciar la información a las prácticas realizadas por el autor durante el curso 2020-2021 en el departamento de Mantenimiento, obra civil y servicios.

3.1 Flota permanente del astillero de Cartagena.

A lo largo del siguiente punto se va a estudiar la flota permanente estacionada en el arsenal de Cartagena. Parte del compromiso de Navantia con la Armada es prestar continuo servicio a los buques que pertenezcan a la flotilla del Arsenal de Cartagena, por esto, las capacidades de varada con las que cuenta el astillero de Navantia-Cartagena deben adaptarse, como mínimo, a las necesidades de nueva construcción, mantenimiento y reparaciones la Armada.

3.1.1 Escuadrilla de Medidas Contra Minas (MCM) – Clase Segura.

La flotilla de cazaminas con la que cuenta la armada española, 6 en total, pertenecen a la clase Segura y fueron realizados en dos series, la primera tanda consiste de los buques Segura, Sella, Tambre y Turia y la segunda tanda el Duero y Tajo. La serie Segura inició su laminación con el buque que da nombre a la serie a principios de mayo de 1995 y han participado en diversas misiones de la Armada entre ellas el despliegue en el Mar Negro para las medidas contra minas de la OTAN en la guerra de Ucrania. Estos buques fueron realizados en plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) los cual les permiten una reducida firma acústica y una buena resistencia a choque, característica necesaria por su complicada operativa en posibles zonas minadas. Una característica distintiva de estos buques es la propulsión, cuentan con dos hélices Voith Schneider además de las hélices transversales de proa, lo cual les confiere una gran maniobrabilidad. La serie completa se realizó en el astillero de Navantia-Cartagena y cuentan con unas características dimensionales como sigue a continuación:

Desplazamiento	550-583 Tn
Eslora	54,00 m

Manga	10,70 m
Calado	2,50 m
Velocidad máxima	14 kn

([6], s.f.)



([7], s.f.) ILUSTRACIÓN 10 CAZAMINAS TAMBRE

3.1.2 Buque de Investigación Oceanográfica “Hespérides”

El buque Hespérides, único de su clase, es el principal buque oceanográfico de la Armada. Este buque dedica su campaña a misiones de investigación científica principalmente en la bases Antárticas Españolas en el Polo Sur. Estas bases están situadas entre la Isla Liviston (base Juan Carlos I) y la Isla Decepción (base Gabriel de Castilla). Además de la campaña antártica, el buque Hespérides presta apoyo a otras expediciones científicas a lo largo del Atlántico, Pacífico y mediterráneo y labores de investigación a cargo del Instituto Hidrográfico de la Marina recabando datos sobre la Zona Económica Exclusiva (ZEE) y la plataforma continental. Durante sus travesías, el buque Hesperides está cerca de seis meses en la mar navegando más de 30.000 millas náuticas hasta su regreso para los mantenimientos programados en su base, el Arsenal de Cartagena. Este buque contiene un equipamiento extraordinario, con 11 laboratorios dedicados a distintas vías de investigación, sondas multihaz de entre 600 y 11.000 metros de profundidad y las zonas de navegación que comprende, podemos aventurar a decir que es un buque muy polivalente, pocos están diseñados para poder navegar entre aguas gélidas y unos meses más tarde navegar en los cálidos remansos del mar mediterráneo.

El buque hespérides se construyó en el mismo astillero al que ahora acude para sus varadas de mantenimiento y cuenta con las características dimensionales que se detallan en la siguiente tabla:

Desplazamiento	2.850 Tn
Eslora	82.50 m
Manga	14.30 m
Calado	7.4 m
Velocidad máxima	13 kn

([8], s.f.)



ILUSTRACIÓN 11 BUQUE HESPÉRIDES EN LA GRADA DE NAVANTIA CARTAGENA (FOTOGRAFÍA DEL AUTOR)

3.1.3 Patrulleros.

El arsenal de Cartagena cuenta con la presencia permanente de varios patrulleros, entre ellos los pertenecientes a la clase “Descubierta”, construidos en las instalaciones vecinas al Arsenal, Navantia-Cartagena. De esta clase solo queda el *Infanta Cristina (P-77)*, al ser buques de relativa antigüedad se está migrando esta clase a los nuevos BAM.

Cartagena cuenta con patrulleros de menor tamaño como el *Alborán (P-62)*, *Tarifa (P-64)* ambos patrulleros construidos en la década de los 90 en madera recubierta por fibra de vidrio. Realizan vigilancia pesquera en el plan SEGEPESCA, misiones con espectros amplios que versan entre Terranova, Islandia, el Gran Sol y el Mediterráneo.

Además, Cartagena acoge al buque *Toralla (P-81)*. Este buque, construido en la década de los 80 en un casco de madera y recubierto por fibra de vidrio, realiza operaciones de vigilancia

costera junto a las patrulleras de la Guardia Civil y salvamento marítimo. Debido a su antigua construcción, estos buques están constantemente subiendo a la grada para operaciones de mantenimiento, con lo que tener el Syncrolift operativo es de gran utilidad y necesidad para poder dar servicio al cliente.

El resumen de características de los buques mencionados queda recogido en la siguiente tabla:

Patrullero Infanta Cristina (P-77)		Patrulleros Alborán y Tarifa (P-62 y P-64)	
Desplazamiento	1.510 tn	Desplazamiento	1.976 tn
Eslora	88,80 m	Eslora	68,00 m
Manga	10,40 m	Manga	11,00 m
Calado	4,50 m	Calado	4,40 m
Velocidad máxima	25 kn	Velocidad máxima	16 kn
Patrullero Toralla (P-81)			
Desplazamiento	133 tn		
Eslora	28,50 m		
Manga	6,64 m		
Calado	1,88 m		

3.1.4 *Fuerza de Acción Marítima*

Los buques de acción marítima (BAM) son la versión moderna de las corvetas, buques relativamente ligeros, con un capacidades muy polivalentes. Se ha proyectado que los buques de este tipo tengan funciones tan amplias como la versión Hidro-Oceanográfica (Clase Meteoro), la versión colector de inteligencia (Clase Meteoro) y el famoso BAM-IS (Buque de intervención subacuática). Este último tipo se ha proyectado para dar apoyo a la nueva clase de submarinos que se están construyendo en el astillero Levantino.

De esta clase se construyeron en los astilleros de Navantia-San Fernando el buque Meteoro (P-41), Rayo (P-42), Relámpago (P-43), Tornado (P-44) y Audaz (P-45) desde mediados de marzo de 2009 hasta mediados de marzo de 2017. Simultáneamente se construyó en Navantia-Ferrol el buque Furor (P-46) desde finales de abril del 2016 hasta principios de septiembre del 2017.

En base al buen resultado que ha dado la plataforma Avante 3000 se han conseguido contratos multimillonarios como las ventas a Arabia Saudí con la salvedad de que los cinco buques de la clase Al-Jubail son algo más pequeños en eslora pero mucho más equipados, la ya conocida clase Avante 2200. Además de los contratos en el extranjero, el ministerio de defensa encargó el diseño de un buque de apoyo a submarinos que tendrá como base Cartagena, se prevé que el tamaño sea

similar al de la serie con lo que a efectos de cálculo de la flota permanente de Cartagena variará en un futuro añadiendo dos unidades.

BAM	
Desplazamiento	2500 tn
Eslora	94,00 m
Manga	14,30 m
Calado	4,24 m
Velocidad	20,5 kn



([9], s.f.) ILUSTRACIÓN 12 BAM AUDAZ REALIZANDO PRUEBAS DE MAR

3.1.5 Submarinos

Cartagena es la única base de submarinos de España, con lo que en sus aguas podremos encontrar navegando con relativa frecuencia los buques de la serie 70, el Galerna “S-71” y el Tramontana “S-74”. Estos buques, aunque ya algo antiguos, siguen en funcionamiento a la espera de la entrada en funcionamiento de la renovada serie S-80 Plus.

A principios del 2005 se inició la construcción del S-81P y tras varios hitos superados se conoció en 2013 que el proyecto sufriría un retraso, vigente hoy en día. Al problema de flotabilidad que originó el citado retraso se le dio solución añadiendo 10 metros de eslora al buque. Como todos los nuevos proyectos, y más de esta envergadura, el S-81P ha sufrido

modificaciones y modernizaciones durante su construcción, dando inicio a las pruebas de puerto en 2022 y a fecha de presentación de este trabajo iniciando las pruebas de mar.

Se espera que a mediados de noviembre del 2023 se entregue a la Armada el Isaac Peral “S-81 Plus”, primer submarino de cuatro en construcción. Con lo que para el objeto de este estudio se deben considerar los 4 submarinos como buques a futuro ya que en unos años la Armada contará con los 4 submarinos en la flota de Cartagena. En cuanto vayan entrando en funcionamiento los submarinos en construcción se irán retirando los antiguos S-70, con lo que a futuro solo contará Cartagena con una flota permanente de 4 buques que vayan a ocupar su grada en el hipotético caso de que todos tuviesen que ser mantenidos a la vez.

Submarinos Clase S-70		Submarinos Clase S-80	
Desplazamiento	1750 tn	Desplazamiento	3200 tn
Eslora	67,90 m	Eslora	81 m
Manga	6,80 m	Manga	11,68 m
Calado	5,40 m	Calado	6,02 m
Velocidad (inmersión)	20,5 kn	Velocidad (inmersión)	>20 kn

([10], s.f.)



ILUSTRACIÓN 13 S-81P ISAAC PERAL EN SU PRIMER CONTACTO CON EL MAR

([11], s.f.)

3.1.6 Auxiliares

El principal buque auxiliares que tiene su base en Cartagena es la nueva incorporación, y de mayor tamaño, el Ysabel (A-06). Este buque, un reconvertido Ro-Ro que fue adquirido por el Ejército de Tierra para el transporte de vehículos y personal. Cuenta con capacidad para 45

camiones o 1117 vehículos, con una capacidad de carga máxima de 4225 t. Con un desplazamiento total de 16.361 t queda fuera del alcance del Syncrolift instalado en Cartagena.

3.2 Flota variable.

A lo largo de los últimos años se han ido acercando al carenero Cartaginés diversos Yates para ser reparado. Debido a la casi permanente disponibilidad de hueco en la grada, la velocidad con la que puede subir y bajar un buque gracias al Syncrolift y el espacioso muelle con el que cuenta Navantia-Yachts, unido todo esto a la proximidad que tiene Cartagena con múltiples destinos de lujo para los propietarios de estas embarcaciones. Además, la mayoría de estos yates montan motores que Navantia-Motores tiene homologación para construir, reparar o mantener. Todas estas razones hacen de Cartagena el destino ideal para reparar o hacer los mantenimientos necesarios a este tipo de embarcaciones.

Además de yates, al foso del Syncrolift también se acerca toda la flota de remolcadores con la que cuenta Boluda en el puerto de Escombreras.

Aunque las visitas de los yates se agrupan en los meses previos al verano, es necesario que Navantia sea capaz de proveer el servicio que estos clientes requieren, por lo que el Syncrolift debe estar operativo durante el año, esto acentúa la necesidad de una correcta planificación del mantenimiento.

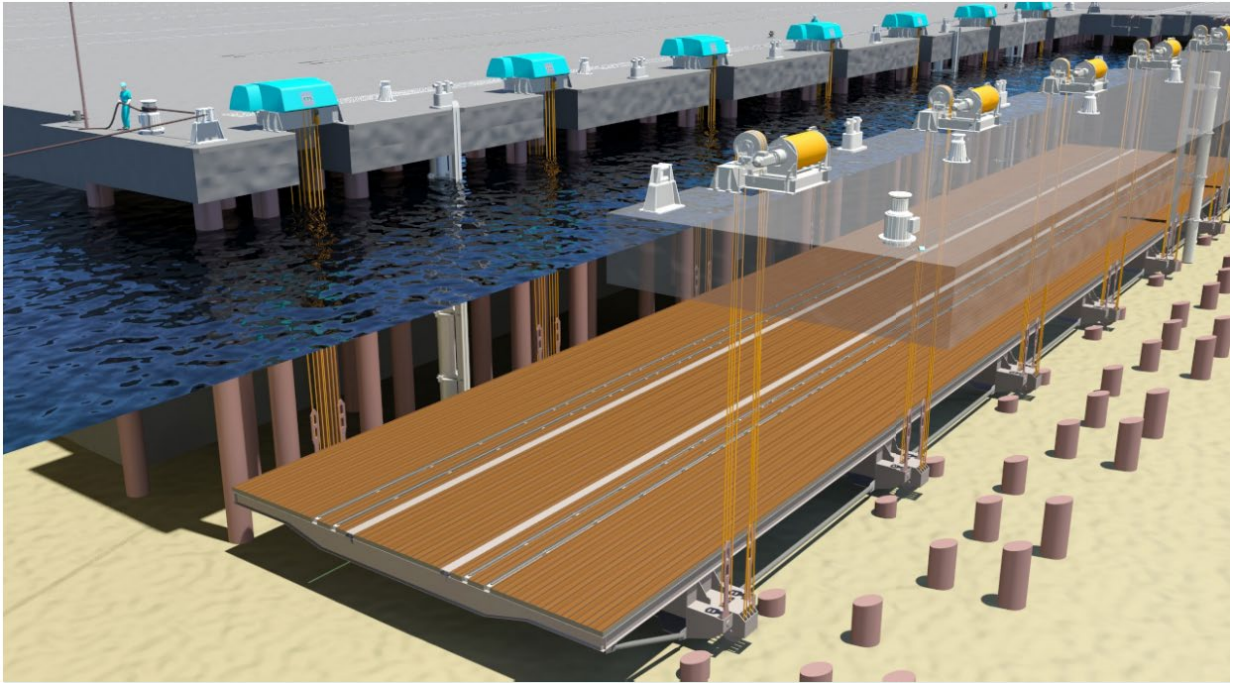
3.3 Necesidades logísticas del astillero de Cartagena.

Resultado del breve estudio sobre la flota de en Cartagena se puede determinar que el tamaño máximo de la plataforma que debe existir en el puerto ha de ser de al menos 94 metros y con una capacidad de izado de 3200 toneladas.

La plataforma existente actualmente cuenta con una capacidad de izado de 5000 Tn y 62 t/m, las capacidades dimensionales máximas son de 150x20,5x7,5m. En la grada junto al Syncrolift se pueden aparcar hasta 11 buques a la vez. ([12], s.f.)

Como conclusión principal del estudio de la flota podemos descartar al dique seco como la opción más viable para las tareas de reparación ya que una vez inundado y comenzadas las tareas de reparación, limitan la posibilidad de reparar otros buques, sin embargo, con un Syncrolift se reducen las esperas, se agiliza la puesta a tierra de los buques y se aprovecha todo el espacio disponible en la grada.

4. SYNCROLIFT.



([20], s.f.) ILUSTRACIÓN 14 ESTRUCTURA DEL SYNCROLIFT EN FUNCIONAMIENTO

4.1 Historia del Syncrolift.

La historia del Syncrolift no cuenta con muchos años pero si cuenta con una gran acogida en el mercado. El invento del ingeniero Raymond Pearlson vio la luz por primera vez en los astilleros de Miami en 1957 bajo la titularidad de la empresa Pearlson Engineering Company (PECO). Desde entonces más de 250 Syncrolifts han sido construidos según superyatchnews ([13], 2022).

En 1959 Northern Engineering Industries (NEI) compró PECO convirtiéndola en la filial NEI Syncrolift. Mas tarde, en 1989, el grupo Rolls Royce compró la empresa y la explotó hasta finales del 2015, fue entonces cuando su actual propietario Nekkar ASA compró la empresa siendo el propietario hoy en día.

4.2 Elementos que componen el Syncrolift.

El Syncrolift que se ha utilizado como referencia para el estudio cuenta con 50 grúas, 25 de ellas se distribuyen a una banda y las otras 25 en la banda contraria. La distancia que hay entre las grúas es de 3 metros.

Aunque existen muchas modificaciones a la plataforma de un Syncrolift moderno comparado con el conocido por el autor del trabajo, para ser lo más fiel posible a la realidad de un Syncrolift, la siguiente descripción de elementos, que posteriormente serán los evaluados para planificar el mantenimiento, serán los existentes en la plataforma mencionada.

4.2.1 Grúas y sus equipos.

El número de grúas que compone la estructura se divide en dos y serán siempre número par, la mitad queda en el lado derecho de la estructura y la otra mitad en el lado izquierdo, todas ellas ancladas a tierra y largando un cable de acero que conecta con la estructura que sirve de base para elevar y descender el buque.

Como se aprecia en la ilustración 19, la grúa se compone de los siguientes elementos:

4.2.1.1 *Tapa*

Cubre los mecanismos cuando están en funcionamiento. Esta tapa es abatible y está realizada en chapa de acero pintada. Dará acceso al cabirón que recoge el cable para una correcta inspección del mismo.

4.2.1.2 *Motor Eléctrico*

El motor eléctrico que proporciona el movimiento de la estructura es un motor síncrono de inducción. El motor seleccionado para nuestro Syncrolift es un motor de 11.18 kW (15 cv) a 1500 RPM. El motor eléctrico va acoplado mediante una transmisión a la reductora, para ello se utiliza un acoplamiento Falk y una junta de sello en cada extremo del acoplamiento. Todo este sistema de unión de ejes va cubierto por una carcasa que lo protege del ambiente salino.

4.2.1.3 *Reductora*

El eje que conecta con el motor eléctrico cuenta en su extremo contrario con un engranaje cónico que ayuda a transmitir la rotación del eje al sentido perpendicular, tal y como se aprecia en la siguiente ilustración:



([21], s.f.) ILUSTRACIÓN 15 ENGRANAJE CÓNICO, SIMILAR AL UTILIZADO EN LA REDUCTORA DEL SYNCROLIFT

Este primer tramo de eje se sella por una parte mediante un rodamiento de rodadura esférica y en la parte más cercana al engranaje con otro rodamiento muy similar. En la ilustración 16 se presenta el sistema completo de la reductora, este sistema cuenta con 5 engranajes que reducen el movimiento hasta una relación de 2240 a 1.

Como se aprecia en la ilustración 16, el elemento 1 es el primer engranaje cónico. Este engranaje transmite su rotación al engranaje número 2. En este mismo eje giran solidarios dos engranajes, el primero de ellos y más grande es el receptor del movimiento desde el motor eléctrico. El segundo engranaje de la posición 2 ya reduce mucho su tamaño. De esta manera, a tener un menor diámetro el número de dientes es menor con lo que se reduce en gran medida las vueltas que se transmiten al siguiente par.

El engranaje número 3 transmite al 4 y este a su vez al 5. Una vez llega el movimiento al número 5, el motor deberá girar a 2240 RPM para que equivalga a una sola vuelta del cabirón.

Todos los pares de engranajes se soportan en un eje que apoya en rodamientos cónicos, con juntas tóricas. Todos estos elementos van montados dentro de una carcasa metálica sellada y permanecen siempre lubricados para su mayor duración y para refrigerar el movimiento.

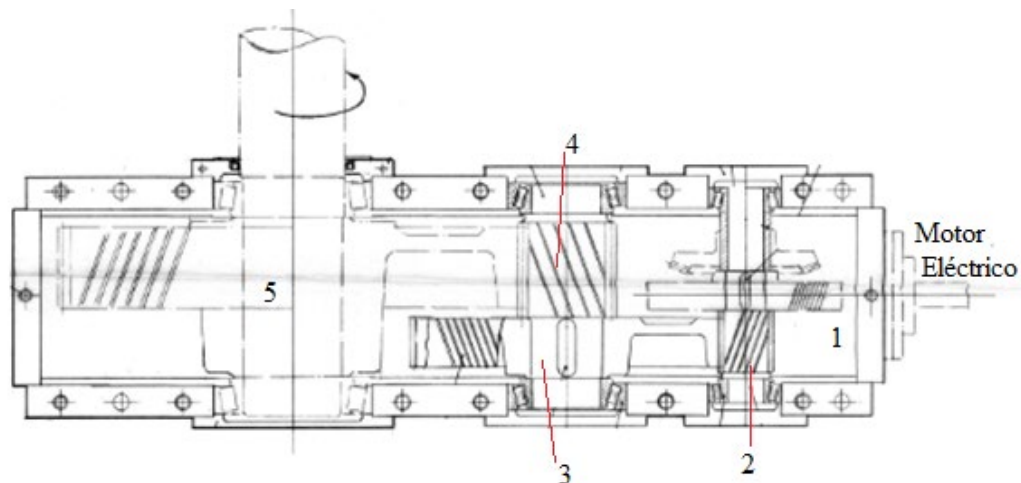


ILUSTRACIÓN 16 ESQUEMA DE LA REDUCTORA COMPLETA

4.2.1.4 Engranaje Intermedio

El engranaje intermedio va unido al eje que sale de la reductora, este sistema se puede identificar mediante la ilustración 17 y el eje será el que nace a partir del engranaje identificado como el número 2) mediante un acoplamiento elástico similar al que une el motor eléctrico y la reductora. El engranaje intermedio se elabora en acero blando, es una especie de engranaje de sacrificio, 1). Si la grúa está trabajando a una carga superior, en vez de romperse un engranaje interno, el que falla es el engranaje intermedio. Este sistema está diseñado así debido a la facilidad para acceder a este engranaje desde el exterior.

El eje que soporta el citado engranaje va sujeto mediante 6 rodamientos de rodadura esférica, número 4) en la ilustración 17. Los rodamientos van sellados mediante una junta tórica, todo el conjunto se ancla a la estructura mediante dos omegas de acero y quedan encerradas mediante una carcasa.

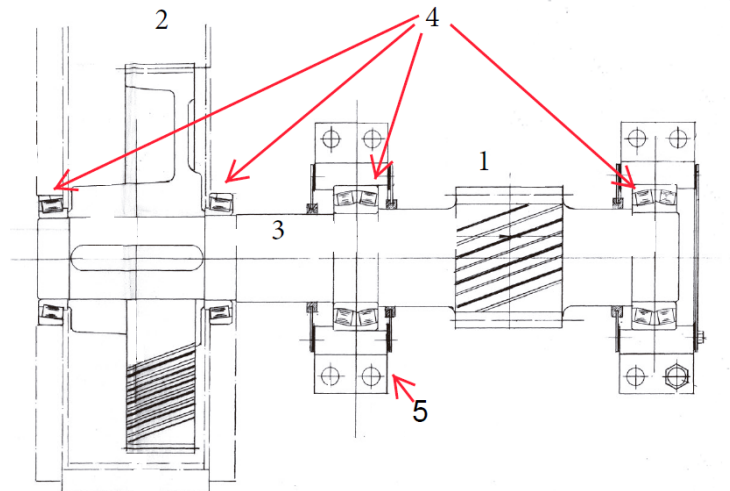


ILUSTRACIÓN 17 ENGRANAJE INTERMEDIO, EJE Y ENGRANAJE DE TRANSMISIÓN A CABIRÓN

4.2.1.5 Cabirón

El cabirón está elaborado en un cilindro hueco de acero, en la figura 18 se identifican los elementos, el cabirón será el 1). Por el centro le atraviesa el eje 6) que transmite el movimiento de rotación que le llega desde un helicoides de acero dulce muy blando, el engranaje que recibe el movimiento se identifica con el número 2). El cabirón tiene la longitud necesaria para estibar el cable sin que este se tenga que solapar, además, tiene engravadas hendiduras para guiar al cable a un correcto estibado, 3). En uno de los extremos del cabirón encontramos el engranaje que recibe el movimiento del engranaje intermedio, mientras que en el extremo opuesto, podemos encontrar la rueda con trinquete y uñeta que impiden el retroceso del sistema, no quedan representadas en este esquema pero más adelante se verán en un apartado aparte. En el final del

recorrido del cabirón, se encuentra un sistema que aprisiona el cable mediante un cepo atornillado al cabirón 4), aunque el sistema está diseñado para parar automáticamente una vuelta antes de que se desenrolle el cable del todo, si fallase, no se perdería la estructura en el fondo marino ya que el cable queda hecho fijo en este punto.

En nuestro caso el cable debe medir lo suficiente como para que, desde el reenvío que se encuentra a 1,650 m del eje del cabirón, baje a 13 metros de profundidad. El reenvío se tratará más adelante, el sistema del Syncrolift proyectado cuenta con tres reenvíos desde la estructura en tierra y cuatro reenvíos conectados a la plataforma del Syncrolift.

Teniendo el cable un diámetro de 35mm, con un cabirón de 813 mm de diámetro, el cable debe medir 104 m, teniendo en cuenta los reenvíos anteriormente mencionados. El cabirón deberá enrollar el cable en aproximadamente 41 vueltas. Teniendo un cable de 35mm de diámetro haría que teóricamente el cable quedase estibado si el cabirón midiese 1,43 metros. Por seguridad el cable tendrá una vuelta extra, es decir, medirá 106,55 metros y además el cabirón dejará un hueco de tres vueltas por si las hendiduras se desgastasen y el cable se saltase un hueco al estibar, poder corregir esta variación. Teniendo en cuenta estas consideraciones, el cabirón medirá 1,57 metros de longitud.

El eje del cabirón queda embebido en un rodamiento de rodadura esférica que a su vez apoya en una junta tórica 5), todo este sistema queda encapsulado mediante una tapa en forma de omega, con un sello en contacto directo con el eje y un pequeño tapón de engrasado en la cara exterior.

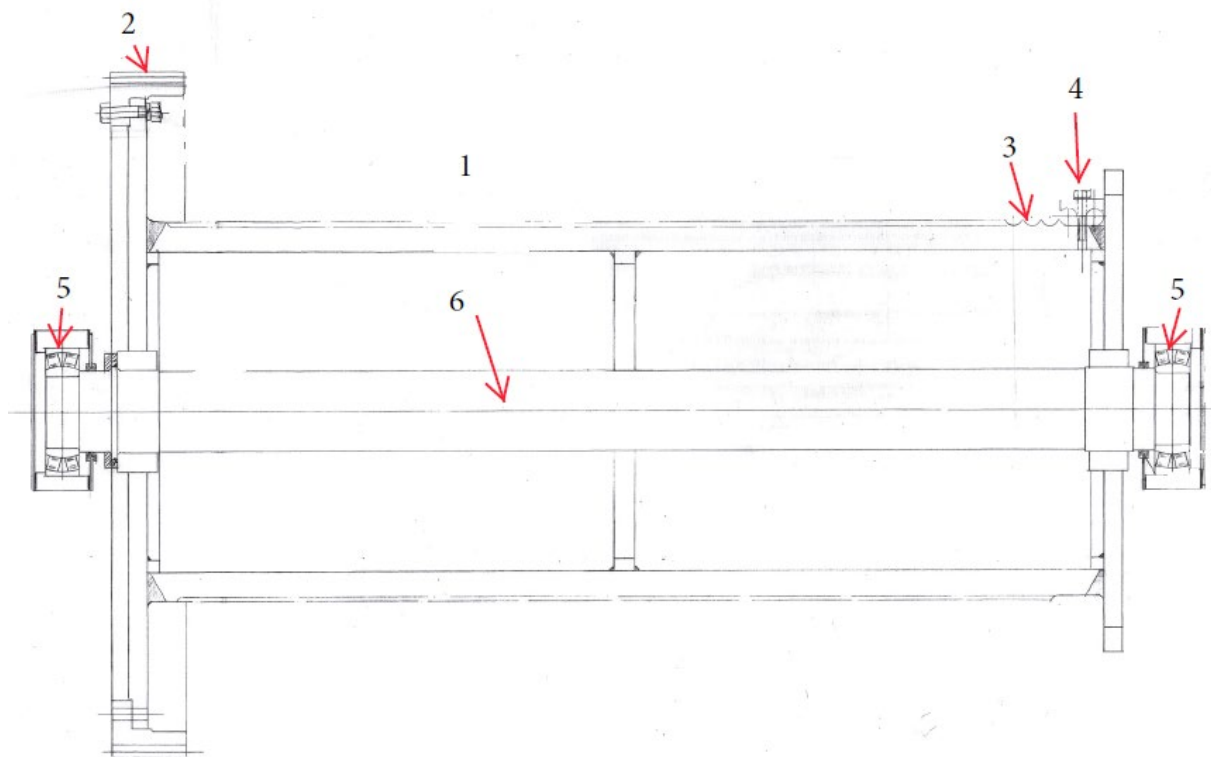
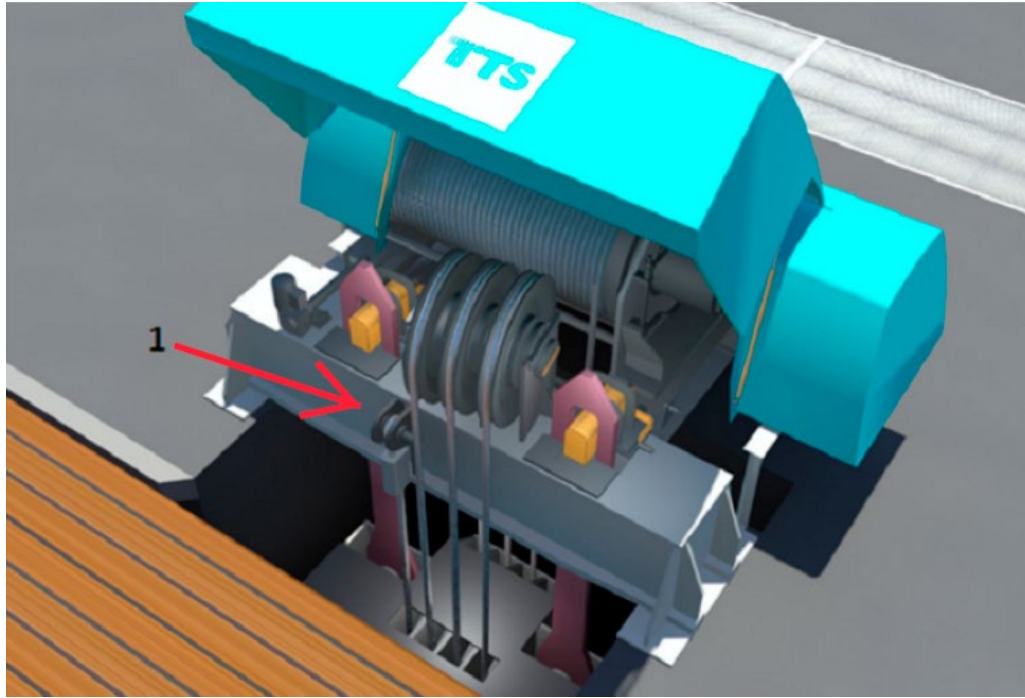


ILUSTRACIÓN 18 ESQUEMA DEL CABIRÓN INSTALADO EN EL SYNCROLIFT



([19], s.f.) ILUSTRACIÓN 19 VISTA SUPERIOR DE LA GRÚA DE UN SYNCROLIFT

Cada grúa tiene dos sistemas de frenado:

4.2.1.6 Freno de disco magnético integrado en el motor.

Este freno es el encargado de parar el movimiento vertical de la plataforma y soportarla en caso de necesidad de parar la maniobra temporalmente. El freno magnético se desactiva cada vez que el sistema recibe potencia eléctrica y activa automáticamente cada vez que la plataforma deja de recibir corriente.

Se compone de un disco que, unido al eje del motor, genera fricción cuando se actúa eléctricamente sobre el solenoide que tiene equipado este freno. Al inducirse una corriente el eje es atraído contra el disco fijo y al rozar uno contra otro se frena el movimiento. El freno va acoplado en la parte posterior del motor eléctrico quedando así sellado del exterior y protegido del ambiente salino. Este sistema es autoajutable ya que la parte fija en el sentido de la rotación se va desplazando hacia delante mediante unos muelles según se va desgastando el disco, reduciendo así la necesidad de hacer mantenimiento sobre el equipo.

4.2.1.7 Freno de trinquete con uñeta.

Este freno se compone de una pieza metálica (uñeta), en la ilustración 20 queda representada por el número 1) que impide el retroceso de la rueda dentada (trinquete) 2). Esta rueda queda en uno de los laterales del cabirón. En situación de ascenso, la uñeta estará en permanente contacto con el trinquete para que en caso de fallo, esta quede bloqueada y no caiga la plataforma al fondo, esto se consigue mediante la instalación de unos muelles que comprimen la uñeta. En la operativa de descenso la uñeta debe ser retirada para que la rueda pueda girar con libertad, para ello existe un sistema neumático centralizado que mediante un cilindro con pistón 3) retira la uñeta. Cuando el cilindro retira la uñeta, un dispositivo electrónico 4) de seguridad se comprime por esta y lanza una señal al cuadro de control indicando que el sistema está desbloqueado.

Este sistema se utilizará también en caso de que el primer freno tenga que ser reparado, al cerrarse la uñeta el sistema queda completamente bloqueado con lo que permite hacer mantenimiento sobre la maquinaria.

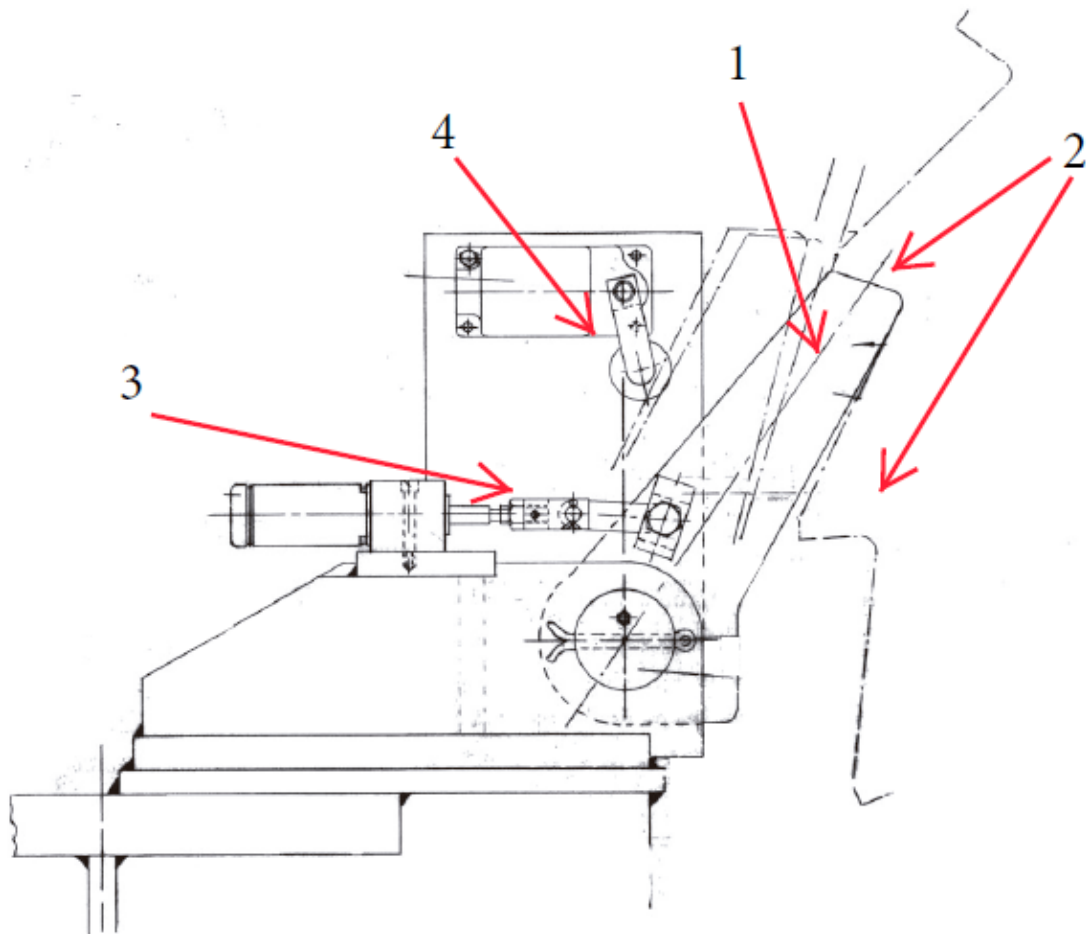


ILUSTRACIÓN 20 FRENO DE TRINQUETE CON UÑETA

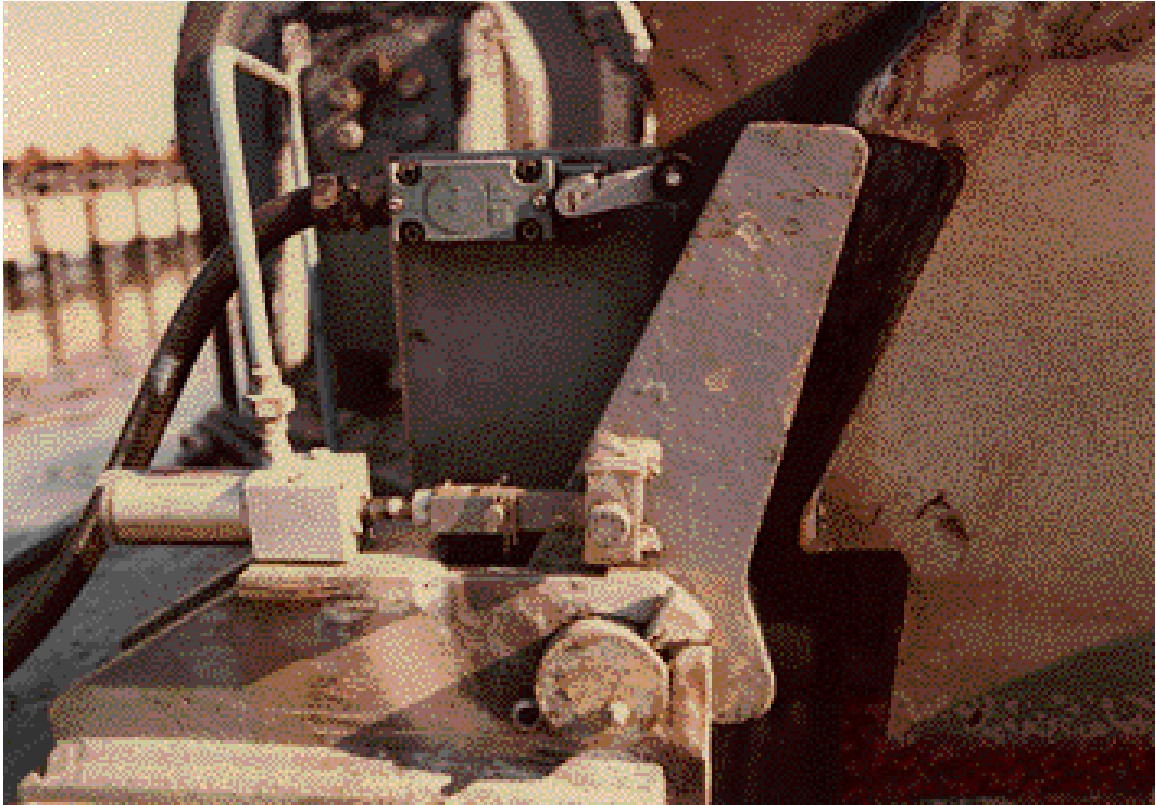


ILUSTRACIÓN 21 IMAGEN DEL SISTEMA DE TRINQUETE Y UÑETA

4.2.2 Plataforma.

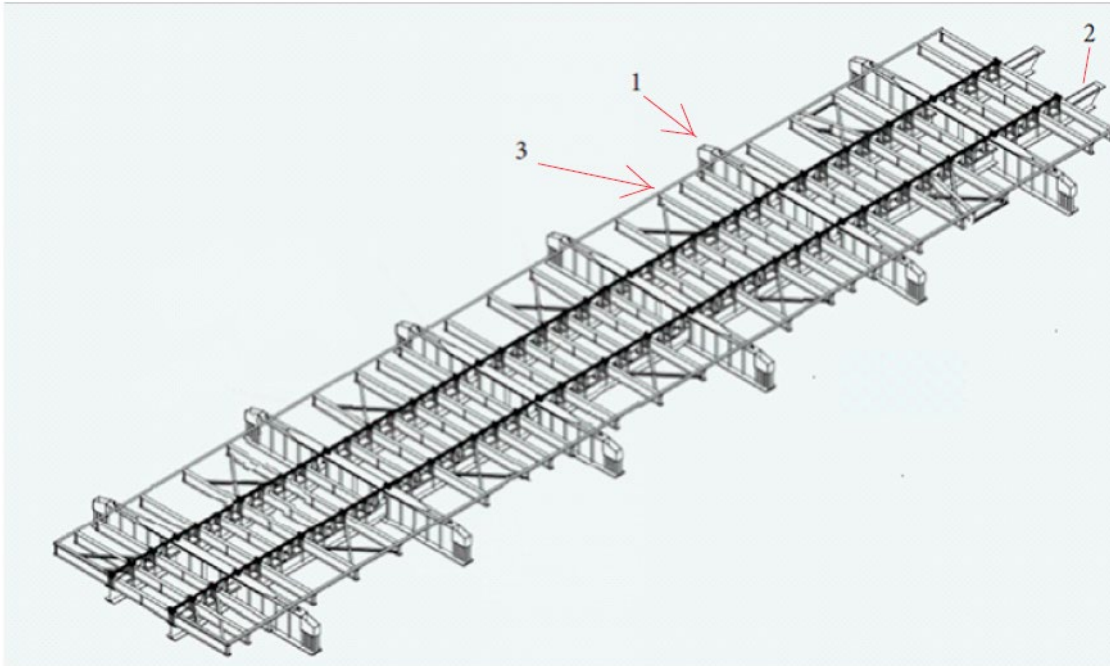


ILUSTRACIÓN 22 REPRESENTACIÓN DE LA PLATAFORMA DEL SYNCROLIFT

La plataforma consiste en vigas de acero transversales y longitudinales y un suelo enjaretado que permite la inundación con una resistencia mínima al elevar y sumergir.

Cada viga transversal principal, indicada en la ilustración 22 con el número 1), tiene una grúa en cada uno de sus extremos, serán estas vigas transversales, con su capacidad de carga, las que otorguen al sistema su capacidad de elevación total. Aunque teóricamente cada viga podría trabajar de manera independiente, es decir, no estar conectadas entre ellas, ya que todas subirían a la vez gracias al sistema sincronizado de elevación, se forma un conjunto mayor mediante un sistema de vigas longitudinales 2) y transversales intermedias 3).

En este sistema, las vigas se encuentran apoyadas en la estructura. Aportan cierta rigidez, pero su valor fundamental es el de poder anclar la cama en más de un punto en los momentos de izado y dar soporte a los raíles por los que se va a deslizar esta. Se dice que están apoyadas porque no quedan soldadas a las vigas transversales, apoyan en los refuerzos inferiores de estas tal y como se aprecia en la siguiente imagen. El elemento a) es una viga transversal principal, el elemento b) es una viga longitudinal intermedia, como se aprecia, esta apoya en el refuerzo inferior de la transversal principal, punto c). Sobre la viga longitudinal se apoyan las vigas transversales menores d), estas se encargan de dar soporte al suelo enjaretado y a los elementos anteriormente mencionados. En el caso de las vigas transversales menores, si van soldadas a la longitudinal. La soldadura de estos elementos se verificará mediante inspección visual y si se considerase, líquidos penetrantes, que sea un cordón continuo, evitando así en la medida de lo posible el generar huecos donde pueda entrar la humedad.

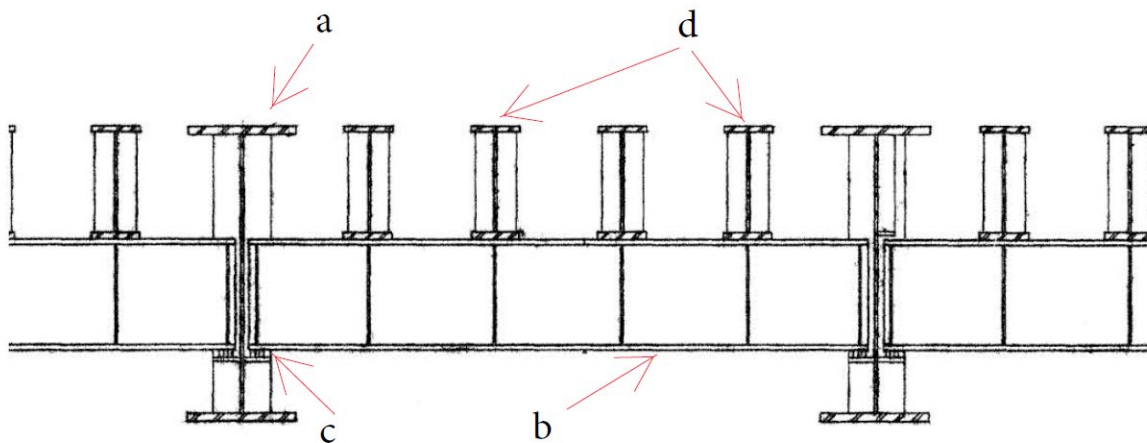
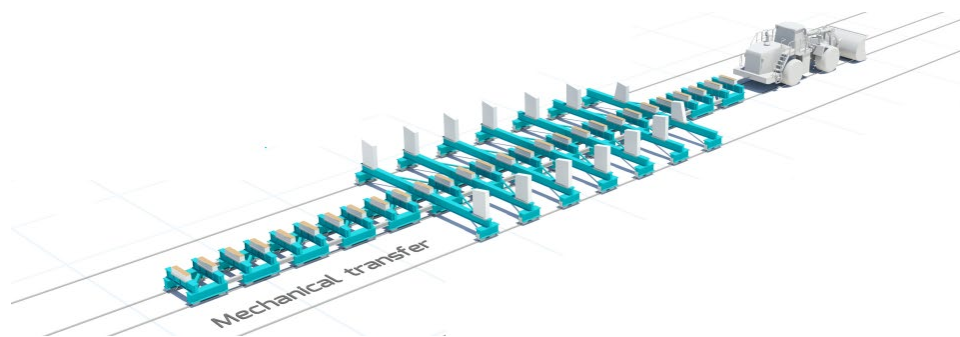


ILUSTRACIÓN 23 VISTA LATERAL DE LA DISPOSICIÓN DE VIGAS

Sobre la estructura, como se ha comentado, habrá un suelo enjaretado y unos railes, 6 en total, dispuestos longitudinalmente que permitirán montar la cama sobre unos ejes con ruedas aptas para estos railes. El Syncrolift proyectado no tiene un sistema propio para hacer avanzar el conjunto formado por el buque y la cama sobre los railes, por lo que una vez cargado, un sistema externo deberá tirar del conjunto, el sistema actual es muy similar a la ilustración 24 salvo que en el caso que nos atañe es propulsado por dos excavadoras en serie.



([16], s.f.) ILUSTRACIÓN 24 MOVIMIENTO DEL CONJUNTO A TRAVÉS DEL ASTILLERO

4.2.3 Winches, noraves y elementos de amarre.

El Syncrolift cuenta con cuatro winches. Estos están dispuestos en proa babor y estribor y en popa babor y estribor. Estos elementos ayudan a la operativa de amarre y a la entrada al Syncrolift. Normalmente un buque llega remolcado hasta las inmediaciones del dique y es entonces cuando, mediante una barca de apoyo, se amarra el buque primero a los winches que se encuentran en la entrada y más adelante a los siguientes. Cuando el buque está amarrado a los

primeros winches, estos se activan y se empieza a cobrar la amarra para ir haciendo avanzar al buque por dentro del dique. Los winches están compuestos por un motor eléctrico y un cabirón donde se dará un par de vueltas la amarra para ir cobrándola. A lo largo de los costados del Syncrolift hay dispuestos norayes, estos permitirán anclar un *Tractel* que los conectará con el buque a izar. Este sistema sirve para posicionar con más precisión el buque sobre la plataforma, se acciona manualmente. Existen 10 *tracteles* con lo que el impacto de un fallo en estos es bajo debido a su fácil sustitución.

La estructura del winche está formada por un motor eléctrico que gira a demanda del centro de mando y control. El motor tendrá un rotor y estator con un eje que transmite el movimiento a la copela exterior. El eje está soportado con unos rodamientos y estos sellados del exterior con juntas tóricas.

4.2.4 Reenvíos

El sistema del Syncrolift proyectado cuenta con dos reenvíos.

4.2.4.1 *Reenvío superior.*

El reenvío superior queda anclado a la grúa, específicamente a 1,65 metros por debajo del cabirón que enrolla el cable. Este reenvío cuenta con tres poleas iguales, en la ilustración 25 se identifican con el número 1), estas poleas sirven para multiplicar la fuerza que hace la grúa, reduciendo así la potencia que debe tener el motor eléctrico. Cada roldana cuenta con dos rodamientos de rodadura esférica 2) y un eje pasante común 3). Cada uno de los rodamientos cuenta con un tapón de engrase 4) para facilitar el mantenimiento sin necesidad de desmontar el conjunto entero.

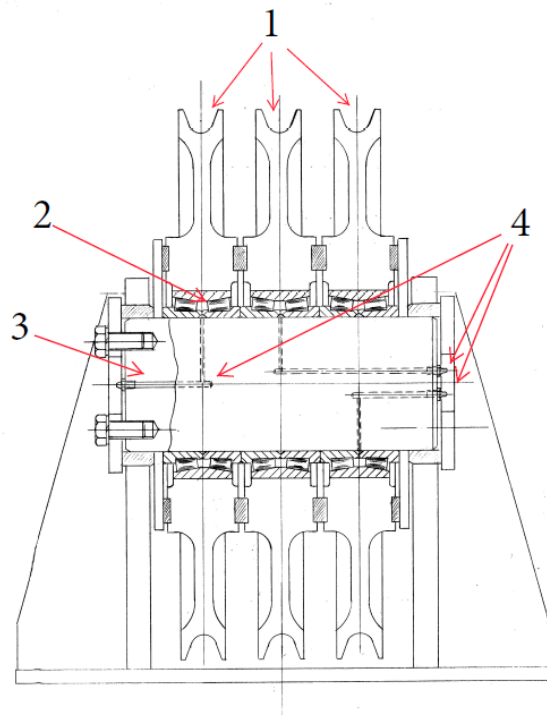


ILUSTRACIÓN 25 DISPOSICIÓN DEL REENVÍO SUPERIOR

4.2.4.2 Reenvío inferior

El reenvío inferior recoge el cable y se lo devuelve a su homólogo en tierra, los elementos que componen este reenvío se pueden identificar en la ilustración 26. Este dispositivo se encuentra anclado mediante soldadura a la estructura del Syncrolift en cada viga transversal principal, cuenta con cuatro roldanas 1). Como el reenvío superior, este cuenta con un eje pasante 3) y dos rodamientos de rodadura esférica por polea 2). La roldana que recibe el primer cable desde el cabirón es de mayor tamaño al diámetro al resto de roldanas. El sistema se sumerge con frecuencia y está expuesto a ambiente salino con lo que debe realizarse en un metal que no solo garantice su resistencia ante un uso intenso, sino que asegure que no se va a oxidar con facilidad. Este conjunto de roldanas se lubrica mediante unos conductos internos 4) con una toma desde el exterior, va sellado mediante una carcasa para que el agua no interfiera con este sistema de lubricación.

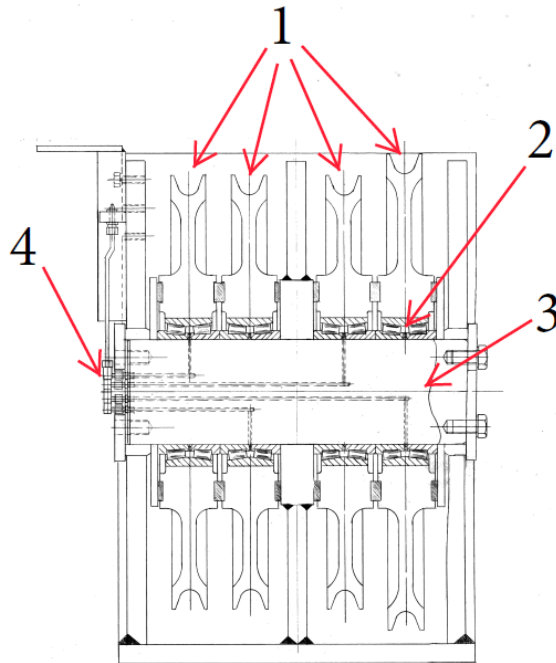


ILUSTRACIÓN 26 POLEA INFERIOR

4.2.5 Cepo del cable.

El cable queda fijo a la estructura mediante dos puntos. El primero de ellos ya se ha mencionado, se hace fijo al cabirón y se detalla en el punto 4.2.1.5 y en la ilustración 18 el elemento 4). El segundo medio de fijación del cable a la estructura es el cepo. Este punto queda inmóvil una vez se instala el cable, se puede observar en la Ilustración 19 indicado con el número 1).

4.2.6 Controles.

4.2.6.1 General

El control está centralizado y diseñado de manera que se pueda operar con facilidad por un único trabajador. En el panel de control el operario tiene a su disposición un interruptor selector principal, este interruptor permitirá elegir el modo de funcionamiento del sistema, una vez seleccionado el modo de funcionamiento, por ejemplo, automáticamente el sistema accionará el aire comprimido para levantar las uñetas si estamos en una operación de descenso o las bloqueará para proteger la plataforma de un descenso brusco si estamos en una operación de elevación.

El mando de control cuenta con un botón de parada de emergencia, un botón de inicio de funcionamiento, un botón de bloqueo de toda la estructura, botones que escogen si se eleva la plataforma o desciende, una bocina que el operador deberá accionar en caso de emergencia y un

botón de “hombre muerto” que deberá ser accionado cada 5 minutos para que la operativa no se pare automáticamente.

Además de los controles manuales de emergencia, el sistema está automatizado para entrar en parada de emergencia en caso de que uno o más de los motores se parasen, se detectase un voltaje inferior al normal o si un motor estuviese sujeto a una carga mayor de la diseñada. En estos casos se bloquearían los frenos de emergencia, freno descrito en punto 4.2.1.2. En caso de que se detectase una sobrecarga, el Syncrolift se bloqueará automáticamente y solo se podrá operar en descenso hasta que la sobrecarga se solucione.

Los finales de carrera dispuesto en cada grúa y el selector del puesto de mando aseguran que la plataforma se quede a nivel y se desconecte cada grúa llegado el momento para que no se exceda el límite permisible de elevación y descenso. Los finales de carrera se ajustan en obra debido a que cada Syncrolift tiene una operativa distinta, se debe medir la batimetría con relativa frecuencia para ajustar el final de carrera del descenso. De igual manera, se mide la altura relativa a la que queda la borda del astillero para ajustar correctamente la plataforma al elevar.

Aunque parezca una configuración demasiado simple para un sistema tan complejo, realmente estos son los únicos mandos que tiene a su disposición el operario. Además, tendrá una serie de pantallas que le transmitan la información que los sensores de cada grúa puede aportar, incluyendo alarmas de parada, carga unitaria a la que cada grúa esta sometida, etc. Todo el proceso está monitorizado mediante un sistema de videovigilancia que también estará a cargo del operador.



([17], s.f.) ILUSTRACIÓN 27 PUESTO DE MANDO DE UN SYNCROLIFT



([18], s.f.) ILUSTRACIÓN 28 PANTALLA DEL PUESTO DE MANDO MOSTRANDO CARGA POR GRÚA

Válvulas de solenoide operan automáticamente el aire que llega al actuador que incide sobre la uña del freno de emergencia para las operaciones de descenso. El panel de control cuenta con un indicador lumínico blanco por cada uña que tienen los sistemas de frenado de emergencia, así si falla uno, el operador podrá parar la operativa hasta que se de solución al problema. Independientemente, el sistema está diseñado para que se interrumpa el proceso de descenso si se detecta un fallo en el sistema neumático que impide la correcta actuación sobre una uñeta.

4.2.6.2 Operaciones de control.

Los modos con los que cuenta el sistema actual son los que siguen:

El modo *manual* elevará la plataforma de manera forzada hasta la altura que el operador requiera.

“*Automatic Up*”: Esta operativa corresponde a la elevación normal, corresponde al punto “normal limit up” (NLU) que da la información al límite de carrera para que detengan la operativa de cada grúa en cuanto sean accionados

“*Automatic Down*”: Esta operativa se utiliza siempre para hacer descender la plataforma, aunque el punto más bajo en el que pararía la plataforma de descender está programado, siempre se puede accionar el botón “Stop” para parar de bajar la plataforma en un momento dado.

“*Automatic Level*”: Esta operación es una operación de verificación del sistema, cada par de grúas suben la plataforma de manera individual hasta el final de carrera superior, esta función dejará la plataforma en la posición de “Transfer Level”. Se debe pasar por este proceso previo a la puesta en carga de la estructura, esto asegura que la plataforma ha quedado a nivel.

El modo *local* elevará únicamente las grúas que se hayan seleccionado, para esto, se tendrán que liberar los frenos manualmente de cada grúa a operar. Este modo se utiliza principalmente para realizar mantenimientos en una grúa individualmente. Aunque se puedan elevar grúas individualmente por pares, el final de recorrido seguirá activo para evitar daños provocados si no estuviese. Así mismo, se deberá tener cuidado de no elevar demasiado la estructura ya que esta arrastrará al resto, al funcionar como un sólido. Según el fabricante, no se debe desalinearse la estructura más de 10 cm.

4.2.6.3 Indicadores lumínicos y otros indicadores

Blanco: Este indicador, como ya se ha mencionado, hace saber al operador que las uñetas del bloqueo de seguridad se han liberado gracias al sistema neumático. Se iluminarán siempre con la operación “*Automatic Down*” y cuando se realice un descenso en la operación *local*. El operador debe asegurarse de que todas las luces están encendidas si se está realizando un descenso, en caso contrario el personal de mantenimiento deberá acudir a la grúa que no encienda la luz ya que no estará liberando la uñeta del trinquete para permitir el descenso.

Verde: Esta luz indica que una grúa está plenamente operativa para la operación seleccionada, si una luz no se enciende en verde se deberá a que esta grúa tiene una sobrecarga o que no se encuentra dentro de los límites de carrera.

Amperímetros: Cada grúa tendrá asignado un amperímetro que indicará la corriente que está utilizando cada motor, esta medida indicará la carga de trabajo que tiene cada grúa y servirá como referencia al operador para parar la operativa si fuese necesario.

4.2.6.4 Centro de control de Motores

Este centro de control es un centro independiente, contendrá los cuadros con los cortes de corriente, sensores de sobrecarga, transformadores de corriente desde la red de entrada y la salida y los propios conectores de cada grúa. Los interruptores se operarán manualmente.

4.2.7 Finales de carrera y actuadores

El Syncrolift cuenta con dos finales de carrera verticales que actúan en elevación y dos más que actúan en descenso por grúa. Todos los finales de carrera se accionan de manera mecánica mediante un tope que se encuentra con el final de carrera en elevación y al sumergir. Envían una señal eléctrica al cerrar el circuito. Además, las uñetas tienen un interruptor cableado en serie con los finales de carrera del descenso.

En los diagramas eléctricos se clasifican los finales de carrera como:

4.2.7.1 “Normal Limit Up” NLU

Estos finales de carrera se encargan de desactivar la operación de elevación de la grúa a la que comandan en el “*Transfer level*” nivel en el que la plataforma está a la altura a la que se puede transferir la carga al muelle. De esta manera, sabemos que cada vez que la plataforma se eleve hasta que el actuador NLU la desactive, estará nivelada con tierra.

4.2.7.2 “Final Limit Up” FLU

Estos finales de carrera desactivan la operativa de izado cuando la plataforma está en el punto más alto al que puede subir, hace falta poner el modo “local” para que la plataforma pueda subir hasta este punto. En cuanto una grúa se desactive por un actuador FLU, todos los interruptores de corte de corriente del resto de grúas saltarán.

4.2.7.3 “Final Limit Down” FLD

De manera análoga a los FLU, estos finales de carrera indican la posición más baja a la que puede llegar la plataforma. De igual manera, una vez uno se activa, el resto de motores paran debido a que salta el interruptor de protección individual de cada grúa.

4.2.7.4 “Pawl Limit Switch” PLS

Este interruptor, relé, previene a la estructura de descender si hay alguna uñeta que no ha sido retirada por el sistema neumático. Si se ha iniciado la maniobra estando todo correcto, pero el sistema neumático de una o varias uñetas fallan, el PLS cortará la corriente automáticamente, parando así la operativa.

Todos los interruptores y finales de carrera estarán montados en cajas impermeables que les permitirán seguir funcionando pese a encontrarse en un ambiente húmedo y salino.

4.2.8 Cables de acero Syncrolift.

Los cables de acero montados en el Syncrolift son de alambre galvanizado trefilado, confiriendo una fuerza excepcional, tenacidad y resistencia a la corrosión. Cada cable cuenta con un enchufe en un extremo y tanto esta unión como un tramo del cable que se ha servido para izar la plataforma ha sido probado por un verificador independiente, comprobando que cumplía al 100% las cualidades que se aseguraban documentalmente. Estos cables requieren estar

continuamente engrasados para su correcto funcionamiento y protección contra el desgaste y la corrosión.

4.2.9 Sistema de aire comprimido.

El sistema de aire comprimido está compuesto por un compresor eléctrico de pequeño tamaño con un calderín que mantiene la presión estable. El compresor solo debe mantener la presión de la línea y en cuanto caiga la presión las uñetas caerán y bloquearán la operativa de descenso. Es por esto que un pequeño compresor es ideal para este trabajo y no es necesario un gran grupo que no solo es más costoso, sino que tiene un mantenimiento mucho más laborioso.

Los elementos que componen el compresor son:

4.2.9.1 Cilindro.

El compresor tiene un solo cilindro con un pistón encargado de elevar la presión del aire en el calderín. Este cilindro va lubricado por aceite, el aceite se acumula en un pequeño depósito y debe ser repuesto cada cierto tiempo siguiendo las indicaciones del fabricante.

4.2.9.2 Calderín.

El calderín tendrá una capacidad suficiente como para mantener la presión en la línea y no necesitar que el compresor esté arrancado constantemente.

4.2.9.3 Ventilador.

Debido a que el aire se calienta al ser comprimido, el compresor debe ser refrigerado mientras esté en uso. La carcasa que contiene al cilindro y pistón está elaborada con aletas que permiten la disipación de calor por convección, un flujo de aire constante hará que el compresor aumente su rendimiento.

4.2.9.4 Motores eléctricos.

Existen dos motores eléctricos. El primero mueve el pistón, se trata de un motor eléctrico que recibe la corriente de la red (220V) y mediante un transformador convierte la energía eléctrica en el movimiento alternativo del pistón.

El segundo motor eléctrico hace rotar un eje que conduce el movimiento a través de una correa al anteriormente mencionado ventilador.

4.2.9.5 Otros elementos.

Para facilitar la operativa el compresor cuenta con ruedas para su traslado.

El compresor cuenta con un tapón de vaciado. Al ser un compresor simple, no tiene deshidratador. El tapón de vaciado permite sacar el agua que se condensa durante el proceso de compresión, muy importante en ambientes tan húmedos como es el entorno de un puerto.

4.2.9.6 Línea.

La línea que conduce la presión de aire desde el compresor hasta el pistón está compuesta por tubo galvanizado.



ILUSTRACIÓN 29 COMPRESOR SIMILAR AL EXISTENTE

4.2.10 Carro de transferencia

La función del carro de transferencia es la de mover el buque desde el Syncrolift hasta la zona de trabajo sobre la grada. Previo a la varada del buque, el armador debe informar al departamento técnico de la empresa propietaria del Syncrolift, proporcionándole los datos del desplazamiento del buque a varar, eslora, manga, calado, además de todos los datos correspondientes al trimado del buque y el asiento con el que navega. Es crucial tener estos datos correctamente identificados y donde están los refuerzos del buque para poder apoyar correctamente este sobre la cama. Como

ha pasado en múltiples ocasiones, una cama mal diseñada puede hacer que el barco escore tanto estando en seco que acabe volcando. El carro de transferencia variará en tamaño dependiendo del buque que se vaya a cargar sobre él. A grandes rasgos, este carro se compone de unos ejes con las mismas ruedas que utiliza un tren convencional. Estos ejes se componen de:

4.2.10.1 Ruedas.

Las ruedas del carro de transferencia son metálicas y solidas (de una pieza) no cuentan con sistemas de amortiguación ya que la grada sobre la que discurre el Syncrolift y la grada en tierra es lisa.

4.2.10.2 Eje.

El eje de las ruedas es de acero y está rodeado por dos rodamientos de anillo exterior fijo, como se puede comprobar en la ilustración 30. Se cierra en sus extremos con guardapolvos que sellan el eje del exterior y se engrasará con grasa de litio como marque el fabricante del rodamiento.



([23], S.F.) ILUSTRACIÓN 30 RODAMIENTO CON ANILLO EXTERIOR FIJO

4.2.10.3 Vigas.

Los elementos que unen toda la estructura y que servirán de apoyo a la cama de madera sobre la que apoyará el buque son vigas IPN de acero S355J2 pintado para que resista la corrosión del ambiente en el que se encuentra. En los extremos se une una viga de menor tamaño de forma oblicua. Esta viga permitirá soportar el pantoque del buque e incluso dar apoyo a los costados. Las uniones entre vigas irán soldadas con hilo continuo para evitar porosidades que den lugar a

zonas propensas a la corrosión. En la ilustración 31 se puede ver el modelo de carro con mayor anchura con la que cuenta nuestro astillero base.



ILUSTRACIÓN 31 CARRO DE TRANSFERENCIA

4.2.10.4 *Railes.*

El carro discurre longitudinalmente por los raíles dispuestos para su uso. La plataforma cuenta con seis carriles, dependiendo del buque que vaya a varar sobre la plataforma, se proyectará una cama u otra, la elección de la cama necesaria para poder varar con seguridad el buque será lo que haga decantarse por un carro de transferencia u otro. Cuanto mayor sea la manga del buque a varar, mayor será el carro de transferencia y por lo tanto más separados estarán los carriles que utilizará dicho carro.

Durante la transferencia del buque entre el Syncrolift y tierra, puede ocurrir que al descargar de peso a la plataforma esta varíe su altura, para esto un operador experimentado tomará el control de la plataforma y la irá elevando o descendiendo manualmente según sea necesario.

4.2.11 Traslado del conjunto carro-buque.

La operativa del Syncrolift no termina al elevar o sumergir un buque. La utilidad del Syncrolift es la de poder ser liberado en pocas horas para dar paso al siguiente buque mientras el primero está en la grada dispuesto a repararse. En el Syncrolift proyectado, el carro no se puede autopropulsar, el medio para trasladar el conjunto carro-buque es mediante dos excavadoras en serie. Los elementos que componen las excavadoras y que están sujetos a mantenimientos son los siguientes.

4.2.11.1 *Chasis.*

El chasis de la excavadora está realizado en plancha, cuadradillo y tubular, normalmente de acero y cubierto por imprimación y pintura. El mantenimiento de este elemento pasará por una inspección visual y pintado en caso de ser necesario. Si se ha recibido un golpe se deberá evaluar la severidad para repararlo y en todo caso se debe repintar.

4.2.11.2 *Bastidor.*

El bastidor se podría asemejar al esqueleto de un vehículo. Este elemento es el elemento estructural principal, como el chasis, debe ser pintado para evitar problemas de corrosión, y más en el ambiente en el que opera este vehículo.

4.2.11.3 *Cabina de operación.*

La cabina de operación tendrá equipos que salvo que los sensores propios de estos equipos indiquen lo contrario, no necesitan mantenimiento programado salvo aquellos que pertenecen a un sistema más grande, véase el aire acondicionado, que se mencionarán más adelante.

4.2.11.4 *Sistema motor.*

El motor de la máquina será uno de los sistemas más críticos y que precisen de un mantenimiento más detallado. El motor cuenta con una cadena de distribución que deberá ser tensada periódicamente según indique el fabricante. Si se observa por parte del operador que cualquier junta del motor rezuma aceite, deberá ser cambiada, en caso contrario y siempre que los sistemas que se van a mencionar a continuación no fallen, el bloque motor debe evitar abrirse.

El sistema de lubricación deberá tener una programación de mantenimiento periódica, en la que se revisen los sellos de la bomba de aceite y además, se deberá cambiar los líquidos lubricantes según indique el fabricante de los mismos, por lo general cada 5.000 km o 6 meses de uso.

Admisión de aire: El sistema de admisión se compone del filtro de aire, colector de admisión y válvulas de entrada al motor. Las válvulas se regulan mediante el sistema de levas, que va arrastrado por la cadena de distribución y perfectamente sincronizado con el cigüeñal para que la mezcla sea la correcta. El filtro del aire debe ser revisado al menos anualmente, este elemento es comercial y asegura que el aire entra a la admisión y tras ella al motor con las mínimas impurezas posibles para que no se dañen los pistones y cilindros.

Sistema de combustible: A grandes rasgos, se compone de la bomba de combustible, filtro e inyectores. La máquina proyectada tiene cierta longevidad con lo que no estamos hablando de inyección electrónica "*common rail*". El sistema de inyección estará acoplado mediante la correa de distribución al ser una bomba rotativa (mecánica), se puede consultar un diseño aproximado en la ilustración 32. Con lo que por lo que a este sistema respecta, el mantenimiento será cada 1000 horas o 6 meses de uso para el filtro. Operaciones de recorrido para la bomba, tales como

cambio de juntas y limpieza general cada 2 años y limpieza por ultrasonidos para los inyectores cada 5 años.

El sistema de refrigeración debe revisarse periódicamente, tanto los niveles del vaso de expansión como cualquier tubería que lleve al radiador y de este al bloque motor. Es de imperativa necesidad que el nivel del refrigerante se mantenga entre los valores admitidos, y que se utilice un refrigerante acorde al ambiente en el que se encuentra el Syncrolift. Este sistema se compone de:

- a) Vaso de expansión.
- b) Tubos y gomas que llevan el líquido a su destino.
- c) Bomba de refrigerante: por lo general es una bomba directamente acoplada al motor o arrastrada por una polea de distribución
- d) Radiador: Elemento que intercambia el calor con el aire del ambiente.
- e) Ventilador: Comúnmente en ambientes muy calurosos, se instala un ventilador delante del radiador para aumentar el flujo de aire que le llega a este y así aumentar la efectividad del sistema.
- f) Termostato: Se trata de una válvula regulada por la temperatura del fluido. Un muelle se contrae o expande dejando paso a más o menos caudal de refrigerante en función de la temperatura a la que se ve expuesto.

Los elementos que no se han mencionado se revisarán de manera periódica en inspecciones visuales realizadas por el operador que maneje el sistema.

4.2.11.5 Caja de cambios y diferencial.

Tanto la caja de cambios como el diferencial necesitarán un cambio del líquido lubricante (valvulina) cada 2000 horas cuando el vehículo se vea expuesto a grandes cargas de trabajo.

4.2.11.6 Neumáticos.

Para asegurar un correcto agarre, los neumáticos deben ser los indicados por el fabricante. El ambiente salino y la constante exposición al sol hacen que estos elementos sufran un gran desgaste, por ello es importante mantener la presión indicada por el fabricante, llegando a revisarla una vez a la semana y realizar los cambios de rueda cuando la goma llegue al marcador.

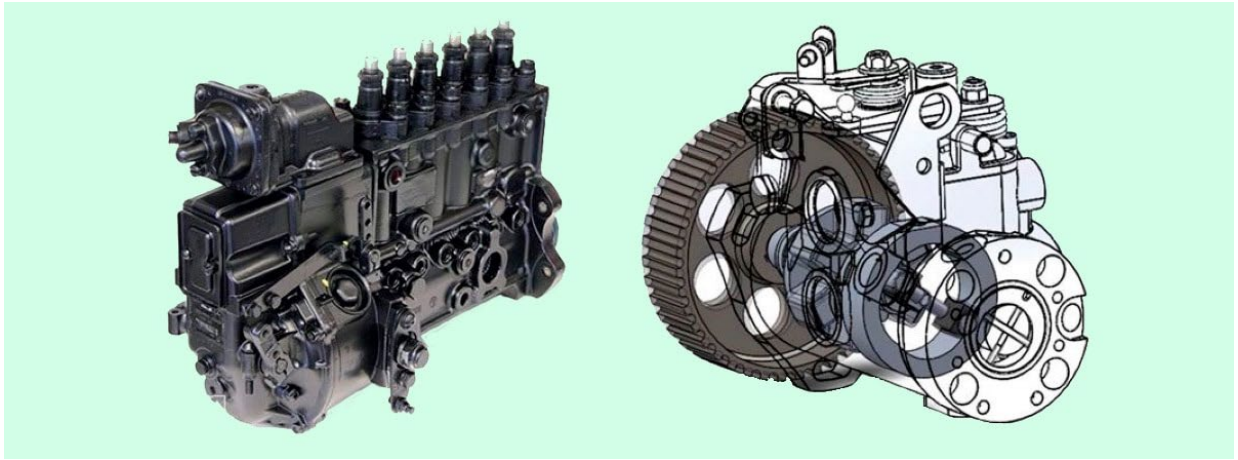


ILUSTRACIÓN 32 BOMBA ROTATIVA DE INYECCIÓN.

([22], s.f.)

4.2.11.7 Cables.

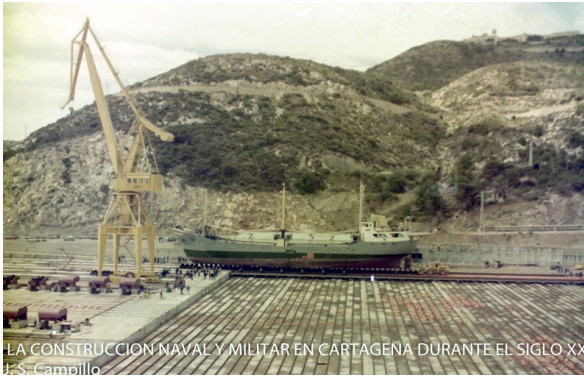
La excavadora transferirá su movimiento al carro mediante un cable trefilado, se deberá medir la longitud de este cable y su sección periódicamente, ante variaciones importantes en estas magnitudes se deberá cambiar por riesgo de rotura.

4.2.12 Grada.

Una vez el conjunto abandona la plataforma del Syncrolift, pasa por unos railes intermedios hasta que llega a la grada.

La grada se compone de una plataforma longitudinal que se desplaza transversalmente dando acceso al buque a una amplio varadero. La plataforma longitudinal se mueve transversalmente mediante los mismos cables que antes hacían desplazar al carro de transferencia y propulsado por la misma excavadora.

La plataforma cuenta con carro homólogo al carro de transferencia, son ejes con ruedas similares a las ruedas de tren como las del carro y se mueve encima de railes, la diferencia radica en la cantidad de elementos, pues la grada mide aproximadamente 200 metros. Para ahorrar espacio a lo ancho, existe una polea por la que pasa el cable que tira de la plataforma en sentido transversal, de esta manera la máquina que se encarga del posicionamiento de la plataforma solo tiene que tirar del cable en sentido longitudinal, sentido en el que tiene mucho más espacio que transversalmente. Esta polea de gran tamaño cuenta con una estructura similar a la polea del reenvío del Syncrolift con lo que los componentes se tomarán de esa descripción (apartado 4.2.4.1).



4.3 Maniobra de entrada al Syncrolift

4.3.1 Pasos previos.

Previo a la varada en el Syncrolift se deberá comprobar que tanto en los alrededores como en el dique provisto para la operación del Syncrolift no hay ningún objeto que vaya a entorpecer el funcionamiento.

Desde el punto de vista del operador, se debe asegurar de que los siguientes pasos estén comprobados antes del inicio de cualquier operativa:

- a) Asegurar que la corriente está conectada y todos los interruptores automáticos de seguridad están cerrados.
- b) Comprobar que la opción Test/Normal está en modo Normal, para que la operativa que se realice sea la correcta.
- c) Cerciorarse de que el compresor que mantiene la presión en la línea está funcionando y que el calderín tiene la presión correcta.
- d) Elección del correcto modo de funcionamiento, se verifica que el cuadro de mando ha recibido la señal interpretando las señales lumínicas que emite.
- e) En este punto se debe resetear el sistema. Al ser un sistema antiguo hay equipos que realizan sus actualizaciones con cierta cadencia, al pulsar “*reset*” se comprueba que todo está funcionando correctamente.

Desde el punto de vista de capitán del buque se debe aproximar la embarcación lentamente hacia la bocana del dique. Se deben largar dos amarras por proa, una a babor y otra a estribor para que los marineros en tierra vayan cobrando de ellas ayudados por los cabestrantes. Una vez vaya el buque avanzando por el dique se cambiarán las amarras entre los norayes que hay

entre cada grúa y el buque irá avanzando por sus propios medios. Cuando la distancia a los siguientes cabestrantes lo permitan se largarán dos amarras más a ellos. En este momento el buque quedará amarrado de al menos 4 puntos, esto permite un centrado bastante preciso para poder posicionarlo sobre la cama elaborada. Si fuese necesario, tal y como se ha comentado previamente, el buque puede ser guiado añadiendo unos *trakteles* que tiren de una banda y otra.

Desde el punto de vista de marinero en tierra, este se comunicará con todos sus compañeros, siguiendo las instrucciones tanto del capitán, como del operador del Syncrolift y probablemente el elemento más importante, los submarinistas que indican realmente como está elevando la cama y si va a encajar como está planificado.

4.3.2 Operativa de funcionamiento.

Una vez hechas las comprobaciones de seguridad y seleccionado el modo en el que se va a trabajar, se pulsa el botón “*Start*” y se está pendiente de la carga que refleja cada chigre y la lectura de cada amperímetro para que no sobrepase el umbral admitido.

El fabricante recomienda que se utilice el modo manual en caso de que la carga a elevar sea muy pesada.

Cuando la plataforma llegue a la altura del muelle o en la operativa de descenso a la profundidad deseada, se detiene automáticamente la plataforma. Es en este momento cuando se colocan los últimos calzos en caso de que sea necesario. Se enganchan los carros de transferencia mediante los cables descritos en el apartado 4.2.11.7.

5. Mantenimiento centrado en fiabilidad.

5.1 Introducción al mantenimiento.

El mantenimiento se podría definir como el conjunto de acciones realizadas sobre un equipo o sistema para preservar el correcto funcionamiento de este a lo largo de su vida útil. Se puede dividir el mantenimiento en dos grupos generales de los cuales emanan subcategorías.

5.1.1 Mantenimiento preventivo:

El mantenimiento preventivo es el conjunto de acciones realizadas sobre un equipo o sistema previo al fallo del mismo buscando evitar el citado fallo. Definimos fallo como la pérdida de capacidad de un elemento para realizar la función para la que ha sido diseñado.

Estas acciones serán planificadas y sistemáticas tales como lubricación, sustitución de componentes, calibración, limpieza, etc. Se sabe que elementos son en los que se debe centrar este mantenimiento gracias a la subcategoría mantenimiento según condición.

El mantenimiento según condición (también conocido como predictivo) trata de anticipar que elementos son los que van a fallar, para poder tomar acción durante la fase de mantenimiento preventivo. Se podría decir que es un conjunto de estudios realizados sobre los elementos críticos de la maquinaria para conocer sus modos de fallo. Por ejemplo, la instalación de sensorica en la maquinaria detectando las vibraciones de un motor rotativo. Se puede anticipar un desgaste en rodamientos o en el eje de transmisión que lleve a un fallo total de la maquinaria o a que quede inutilizada durante un periodo prolongado de tiempo.

Tras el estudio del mantenimiento según condición, se obtendrán unas soluciones que se aplicarán en las gamas de mantenimiento preventivo. En el caso del ejemplo se podrían instalar reductores de vibración como cojinetes o en el caso de que no sea posible, estudiar cada cuantas horas falla el sistema y anticiparse al repuesto de los componentes que fallarán.

5.1.2 Mantenimiento correctivo.

El mantenimiento correctivo se realiza una vez el sistema ya ha fallado. Es de gran importancia conocer el sistema en toda su extensión para saber que pieza puede haber fallado cuando el sistema deja de funcionar. De esta manera, ya que el sistema va a quedar inutilizado, se puede ahorrar tiempo de parada si se conoce que elemento hay que reponer o reparar.

De un correcto seguimiento al mantenimiento correctivo se puede desarrollar un mantenimiento según condición, pues si un elemento falla de manera recurrente, se puede determinar en qué momento falla y anticiparse a este.

En definitiva, el mantenimiento se realiza con el objetivo de tener disponible el sistema sobre el cual se realiza dicho mantenimiento. Un correcto mantenimiento sobre una sistema puede ahorrar mucho dinero a una empresa tanto en reparaciones inesperadas como en paradas por roturas catastróficas.

5.2 Herramienta FMECA.

Para poder realizar el plan de mantenimiento se ha utilizado la herramienta FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) o en Español, Análisis de Modos de Fallo, de sus Efectos y Criticidad (AMFEC).

La herramienta permite evaluar los modos de fallo potenciales en un sistema, esta herramienta se puede considerar como una extensión de la FMEA añadiendo la evaluación de la criticidad de cada modo de fallo.

5.2.1 Información necesaria para comenzar el FMECA.

Para poder empezar a utilizar la herramienta FMECA, es necesario tener una relación completa de los elementos que componen al sistema. En esta relación se detallarán características, prestaciones y funciones de estos. Esta parte se ha realizado en el apartado 4 del presente trabajo.

A la información aportada se deberá añadir el nivel de redundancia que existe en cada elemento, cuanta más redundancia haya menor será la criticidad del sistema, pues ante un fallo se podrá cambiar un elemento por su homólogo y continuar con la operativa mientras se repara el original.

Es primordial conocer el alcance del sistema, término conocido en la metodología como los “Límites del sistema para el análisis”. Habitualmente el sistema al que se le está realizando un FMECA forma parte de una estructura mayor con lo que, para centrar el tiro, será necesario fijar unos límites del estudio. Se deberán describir las entradas y salidas del sistema y los cambios en la estructura del sistema para los distintos modos operativos.

Se dividirá cada elemento en sus subsistemas, por ejemplo, un motor eléctrico se compondrá de un eje, rotor, estator, rodamientos, etc. El sistema global será el motor eléctrico y de este emanarán subsistemas hasta la completa definición del sistema global en los límites que se hayan fijado previamente.

Aunque no sea información necesaria, ayuda en gran medida a realizar un correcto FMECA conocer un histórico de modos de fallo en la estructura base del estudio. En base a este histórico, si lo hubiese y la información que debemos conocer sobre operatividad del sistema y los elementos que lo componen, se deben clasificar los elementos mediante los siguientes criterios:

- Utilidad dentro del sistema.
- Modo de funcionamiento.
- Especificaciones técnicas y operativas.
- Esfuerzos operativos y ambientales.

5.2.2 Modos de fallo.

Los modos de fallo pueden clasificarse en dos grupos de efectos:

- Efectos locales: Efecto que genera el fallo en el subsistema que se está tratando. Por ejemplo, la rotura de un rodamiento en un motor eléctrico. Es importante conocer como afectará este rodamiento al funcionamiento del motor para poder determinar la criticidad de que este elemento falle.
- Efectos globales: Se estudia que impacto tendrá el fallo del rodamiento en el sistema completo. Por ejemplo, si el rodamiento da servicio al eje del motor eléctrico y este deja de girar, no podrá funcionar la grúa a la que corresponde el rodamiento y parará la operativa completa del Syncrolift. Este elemento de insignificante apariencia es capaz de detonar un fallo de una dimensión mucho más grande.

En definitiva, los modos de fallo describirán que ha pasado con el sistema, será la forma en que se observa el problema en el sistema, siguiendo con el ejemplo dado, el modo de fallo sería “El motor eléctrico de la grúa 2B ha dejado de girar.”.

5.2.3 Causas de fallo.

Para poder realizar el FMECA, que clasifica los indicadores en severidad, probabilidad y detectabilidad, necesitamos analizar las causas de fallo. Para esto deben identificarse y describirse las causas más probables de fallo para cada modo de fallo potencial.

Una vez analizados los modos de fallo para cada sistema, se identificarán cuales son las causas más probables de fallo. Este análisis se puede extender todo lo que el investigador deseé, pero para ser prácticos, se analizarán los fallos que realmente generen una inoperatividad del sistema, son estos los más críticos y por tanto merecen la pena invertir tiempo en su desarrollo y paliación.

En el ejemplo planteado en el apartado 5.2.2, la causa del fallo será la rotura del rodamiento. En un análisis en mayor profundidad y basándose en un histórico de fallos, se podría determinar por qué se ha roto el rodamiento, investigando cuando se podrá romper otra vez para poder evitar que inutilice el sistema y determinando el causante de dicha rotura.

5.2.4 Método de detección.

Se debe identificar el método de por el cual se ha detectado el fallo. En caso de que haya sido durante una operativa probablemente será inspección visual, pero se puede deber también a una detección mediante algún sensor. Por ejemplo, un sensor de viscosidad de aceite que identifique que hay agua dentro del depósito de aceite de lubricación. Esta acción debe realizarse para cada modo de fallo.

En adelante se analizarán los indicadores que darán como resultado el NPR (Número de Prioridad de Riesgo). Este valor permite ordenar los modos de fallo según la criticidad con la que impactaría su aparición.

5.2.5 Severidad (S).

El primer valor de la fórmula del NPR es la severidad. Es una valoración de la importancia del efecto del modo de fallo en el funcionamiento del elemento.

Se considerarán valores como:

- Efectos sobre usuarios o sobre el medio ambiente como resultado del fallo.
- Funcionalidad del sistema o proceso.
- Requisitos contractuales impuestos por el cliente.
- Requisitos relacionados con una garantía.

La tabla de severidad no es de valores universales, se estudiará la severidad para cada instalación a la que se le esté realizando un estudio FMECA y se adaptará para ello.

La tabla de severidad clasifica el efecto en 10 valores, siendo 1 el de menor severidad y 10 el de mayor.

Se adjunta la tabla que se va a utilizar posteriormente en el cálculo.

ÍNDICE	EFEECTO	SEVERIDAD DEL EFECTO
10	Peligroso sin aviso	El fallo resulta en efectos peligrosos casi ciertos
9	Peligroso con aviso	El fallo resulta en efectos peligrosos muy probables
8	Muy alto	Sistema inoperable pero seguro
7	Alto	Función del sistema afectada severamente
6	Moderado	Sistema operable y seguro pero con función degradada
5	Bajo	Se reduce la función con una degradación gradual
4	Muy bajo	Efectos mínimos en la función del sistema

3	Menor	Ligeros efectos en la función. Se notan fallos no vitales la mayoría del tiempo
2	Muy menor	Efectos insignificantes en la función del sistema
1	Ninguno	Sin efecto

TABLA 1 ÍNDICES DE SEVERIDAD

5.2.6 *Ocurrencia (O)*

Se determina la frecuencia o probabilidad de ocurrencia de cada modo de fallo para evaluar adecuadamente la criticidad del efecto del mismo. Este valor se puede determinar en base a los datos que tenemos de sistemas similares o del histórico del sistema ya instalado. En caso de que el sistema sea novedoso y no se conozca la ocurrencia de los fallos, se determinará en base a predicciones que el grupo de trabajo realice o en base a datos de ensayo de la vida del componente proporcionados por el proveedor.

En adelante se muestra un ejemplo de tabla de frecuencia de ocurrencia que se utilizará en apartados posteriores. En este caso igual que en el valor de severidad, 10 representa un fallo muy alto y 1 uno muy improbable, de manera que agrandaré el valor del NPR a mayor probabilidad de ocurrencia.

ÍNDICE	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	PROBABILIDAD DEL POSIBLE FALLO
10	Muy alta: Fallo casi inevitable	
9		1/3
8	Alta: Fallos repetitivos	1/8
7		1/20
6	Moderada: Fallos ocasionales	1/80
5		1/400
4		1/2000
3	Baja: Relativamente pocos fallos	1/15000
2		1/150000
1	Remota: Fallo improbable	

TABLA 2 ÍNDICES DE OCURRENCIA

5.2.7 *Detectabilidad (D)*

La detectabilidad (D) representa la capacidad que existe sobre un sistema de predecir mediante las inspecciones que se realizan los posibles fallos. Las inspecciones pueden ser inspección visual, pruebas o mediciones. En este caso la numeración sigue siendo del 1 al 10, pero invirtiendo la escala de valor. Algo muy probable de ser detectado es el número 1 mientras que algo que no se detectará nunca se ve representado por el número 10.

En adelante se muestra un ejemplo de tabla de detectabilidad que se utilizará en apartados posteriores.

ÍNDICE	DETECCIÓN	CRITERIOS
10	Absolutamente imposible	Los controles ni detectan ni pueden detectar la posible causa y el posterior fallo
9	Muy remota	Un cambio muy remoto en los controles detecta la posible causa y el posterior fallo
8	Remota	Un cambio remoto en los controles detecta la posible causa y el posterior fallo
7	Muy baja	Un cambio muy pequeño en los controles detecta la posible causa y el posterior fallo
6	Baja	Un pequeño cambio en los controles detecta la posible causa y el posterior fallo
5	Moderada	Un cambio moderado en los controles detecta la posible causa y el posterior fallo
4	Moderadamente alta	Un cambio moderadamente grande en los controles detecta la posible causa y el posterior fallo
3	Alta	Un gran cambio en los controles detecta la posible causa y el posterior fallo
2	Muy alta	Un cambio muy grande en los controles detecta la posible causa y el posterior fallo
1	Casi segura	Los controles pueden detectar la posible causa y el posterior fallo de forma casi segura

TABLA 3 ÍNDICES DE DETECTABILIDAD.

5.2.8 *Nivel de prioridad de riesgo (NPR).*

La fórmula que describe el valor numérico que permite ordenar los modos de fallo queda como sigue:

$$NPR = S \times O \times D \quad (7)$$

Se aplica esta fórmula en base a los puntos descritos desde el 5.2.1 hasta el 5.2.4 y se ordenan de forma que los valores más altos describirán los sistemas de mayor riesgo, en los cuales se deberá actuar para bajar el índice de riesgo ya sea mediante mantenimientos predictivos más frecuentes o sustituyendo el sistema por uno más fiable.

TABLA DE ÍNDICE DE RIESGO
Riesgo bajo (insignificante) – $1 < \text{NPR} < 100$
Riesgo moderad (tolerable) – $101 < \text{NPR} < 180$
Riesgo significativo (Se deben tomar ciertas medidas) – $181 < \text{NPR} < 299$
Alto riesgo (intolerable) – $300 < \text{NPR} < 1000$

TABLA 4 CLASIFICACIÓN ÍNDICES DE RIESGO

A modo de resumen y antes de adjuntar toda la información en la hoja de trabajo, el procedimiento del FMECA queda en los siguientes pasos:

- Definir los límites del sistema que se va a analizar.
- Conocer y describir las características y el funcionamiento del sistema.
- Definir las condiciones ambientales y de operación del sistema.
- Definir los criterios de éxito y de fallo.
- Determinar los modos de fallo, efectos y consecuencias.
- Definir la tabla de severidad valorando la severidad de cada modo de fallo en función de sus efectos.
- Definir la tabla de probabilidad de ocurrencia, valorando la probabilidad de ocurrencia de cada modo de fallo.
- Definir la tabla de detectabilidad, valorando la detectabilidad en función de las capacidades del sistema.
- Obtener los valores del NPR.
- Construir la matriz de criticidad con la severidad y el NPR.
- Proponer acciones correctoras y de mejora.
- Hacer un informe que contemple los detalles del análisis.

5.2.9 Hoja de trabajo

La hoja de trabajo recoge los detalles analizados en una matriz como la que sigue.

SUBSISTEMA			MODO POTENCIAL DE FALLO	EFECTO POTENCIAL DEL FALLO		SEVERIDAD	MECANISMO POTENCIAL DEL FALLO	OCURENCIA	CONTROL DEL PROCESO	DETECCIÓN	NPR	ACCIÓN RECOMENDADA
MONTAJE	SUBMONTAJE	COMPONENTE		EFECTO LOCAL	EFECTO FINAL							

TABLA 5 PLANTILLA HOJA DE TRABAJO FMECA

5.2.10 Beneficios del FMECA.

Uno de los beneficios del FMECA es que obliga al grupo de trabajo a conocer perfectamente la estructura, todos los elementos que lo componen y su funcionamiento en profundidad. En el proceso de investigación de la estructura se identificarán modos de fallos potenciales y mejoras de diseño adaptandolo a un diseño actual.

Se revelarán aspectos relacionados con problemas de seguridad y responsabilidad del producto o el incumplimiento de requisitos legales.

Tras la realización del FMECA se obtendrá un estudio detallado de los modos de fallo y como evitarlos que se podrá implementar en el sistema de estudio para ahorrar costes de reparaciones y los grandes costes de tener una infraestructura parada a la espera de reparación.

5.3 Herramienta FMEA en el Syncrolift.

5.3.1 Matriz de riesgo.

La matriz de riesgo nos ayuda a representar las severidades del fallo junto a la ocurrencia de este fallo, cada matriz debe adaptarse al sistema que se valora, en este caso queda como sigue:

MATRIZ DE RIESGO							
SEVERIDAD	9 A 10	5	M	M	A	A	A
	7 A 8	4	M	M	A	A	A
	5 A 6	3	B	M	M	A	A
	3 A 4	2	B	B	M	M	A
	1 A 2	1	B	B	B	M	A
	INDICADOR		1	2	3	4	5
	INDICES		1 A 2	3 A 4	5 A 6	7 A 8	9 A 10
			OCURRENCIA				

TABLA 6 MATRIZ DE RIESGO

La categoría B se establecerá como un evento intrascendente, la categoría M como un evento no deseable y en rojo, la categoría, A será un evento inaceptable.

La matriz de riesgo elaborada queda como sigue:

Punto en documento	Agrupador	Elemento	CAUSAS	INDICADORES		RESULTADO MATRIZ
				SEVERIDAD	OCURRENCIA	
4.2.1.2	Grúas	Motor eléctrico	Desalineación del motor	6	4	24
4.2.1.2	Grúas	Motor eléctrico	Sobrecalentamiento del motor por desgaste de rodamientos	5	3	15
4.2.1.2	Grúas	Motor eléctrico	Grieta por fatiga	9	1	9
4.2.1.2	Grúas	Motor eléctrico	Corrosión en el motor	6	5	30
4.2.1.2	Grúas	Motor eléctrico	Rotura de la conexión eléctrica	8	2	16
4.2.1.2	Grúas	Motor eléctrico	Rotura del acoplamiento Falk y pérdida de transmisión	7	2	14
4.2.1.3	Grúas	Reductora	Desalineación del engranaje del motor y planetario de la reductora por vibraciones del motor	7	2	14
4.2.1.3	Grúas	Reductora	Rotura del soporte que ancla la reductora.	8	2	16

Punto en documento	Agrupador	Elemento	CAUSAS	INDICADORES		RESULTADO MATRIZ
				SEVERIDAD	OCURRENCIA	
4.2.1.3	Grúas	Reductora	Desgaste de los rodamientos que soportan el eje de la reductora	5	4	20
4.2.1.3	Grúas	Reductora	Desgaste de engranajes en reductora	7	8	56
4.2.1.3	Grúas	Reductora	Fuga de aceite en reductora por junta tórica en mal estado	3	6	18
4.2.1.4	Grúas	Engranaje intermedio	Desgaste de los rodamientos que soportan el eje del engranaje intermedio	3	3	9
4.2.1.4	Grúas	Engranaje intermedio	Calentamiento del engranaje intermedio y desgaste excesivo por falta de grasa lubricante	5	5	25
4.2.1.6	Grúas	Freno eléctrico	Desgaste de los discos de freno	10	2	20

Punto en documento	Agrupador	Elemento	CAUSAS	INDICADORES		RESULTADO MATRIZ
				SEVERIDAD	OCURRENCIA	
4.2.1.7	Grúas	Freno de trinquete con uñeta	Fallo en freno por pérdida de presión en actuador neumático por desgaste de sellos	10	4	40
4.2.1.7	Grúas	Freno de trinquete con uñeta	Fallo en freno por oxidación de muelles que mantienen la uñeta pegada al trinquete	10	2	20
4.2.1.7	Grúas	Freno de trinquete con uñeta	Fallo en el dispositivo que notifica el accionamiento de la uñeta	7	2	14
4.2.1.7	Grúas	Freno de trinquete con uñeta	Gripado de la uñeta por falta de lubricación	5	4	20
4.2.2	Plataforma	Viga Transversal principal	Deformación de la viga por esfuerzos superiores a los permitidos por pérdida de espesor por corrosión	5	7	35
4.2.2	Plataforma	Viga Transversal principal	Fractura en la viga a causa de corrosión no tratada	10	2	20

Punto en documento	Agrupador	Elemento	CAUSAS	INDICADORES		RESULTADO MATRIZ
				SEVERIDAD	OCURRENCIA	
4.2.2	Plataforma	Viga Transversal principal	Fractura en soldaduras debido a corrosión	10	2	20
4.2.2	Plataforma	Vigas	Deformación de la viga por esfuerzos superiores a los permitidos por pérdida de espesor por corrosión	4	7	28
4.2.2	Plataforma	Vigas	Corrosión por desgaste de pintura	2	10	20
4.2.3	Winches, norays y elementos de amarre	Winche	Sobrecalentamiento por rodamientos defectuosos	4	2	8
4.2.3	Winches, norays y elementos de amarre	Winche	Rotura o deformación de la copela del winche por oxido	4	4	16
4.2.3	Winches, norays y elementos de amarre	Winche	Gripado del winche por falta de lubricación de sus componentes	5	5	25

Punto en documento	Agrupador	Elemento	CAUSAS	INDICADORES		RESULTADO MATRIZ
				SEVERIDAD	OCURRENCIA	
4.2.3	Winches, norays y elementos de amarre	Winche	Desconexión por bornas en mal estado debido al ambiente salino	5	5	25
4.2.4.1	Reenvíos	Reenvío superior	Desgaste de polea por falta de lubricación del cable	7	3	21
4.2.4.1	Reenvíos	Reenvío superior	Gripado del sistema por falta de lubricación en los rodamientos	7	3	21
4.2.4.1	Reenvíos	Reenvío superior	Oxidación de las poleas por falta de pintura y grasa protectora	3	8	24
4.2.4.1	Reenvíos	Reenvío superior	Penetración de cuerpos extraños por sellos en mal estado	3	8	24
4.2.4.1	Reenvíos	Reenvío superior	Rotura del anclaje del reenvío por oxidación de soldadura	10	3	30
4.2.4.2	Reenvíos	Reenvío inferior	Desgaste de polea por falta de lubricación del cable	7	3	21

Punto en documento	Agrupador	Elemento	CAUSAS	INDICADORES		RESULTADO MATRIZ
				SEVERIDAD	OCURRENCIA	
4.2.4.2	Reenvíos	Reenvío inferior	Gripado del sistema por falta de lubricación en los rodamientos	7	3	21
4.2.4.2	Reenvíos	Reenvío inferior	Oxidación de las poleas por falta de pintura y grasa protectora	3	8	24
4.2.4.2	Reenvíos	Reenvío inferior	Penetración de cuerpos extraños por sellos en mal estado	3	8	24
4.2.4.2	Reenvíos	Reenvío inferior	Rotura del anclaje del reenvío por oxidación de soldadura	10	3	30
4.2.4.2	Reenvíos	Reenvío inferior	Penetración de agua en conductos de lubricación por sello defectuoso	3	4	12
4.2.5	Cepo del cable	Cepo del cable	Oxidación del cepo por falta de recubrimiento con grasa protectora	10	2	20
4.2.6.3	Controles	Indicadores lumínicos	Falsos contactos de bornas por filtraciones de humedad	3	5	15

Punto en documento	Agrupador	Elemento	CAUSAS	INDICADORES		RESULTADO MATRIZ
				SEVERIDAD	OCURRENCIA	
4.2.6.4	Controles	Centro de control de motores	Rotura de cortes de sobretensión	8	3	24
4.2.7	Controles	Finales de carrera y actuadores	Rotura del final de carrera debido a generación de óxido	10	2	20
4.2.7	Controles	Finales de carrera y actuadores	No actuación del final de carrera por desconexión eléctrica de las bornas	10	2	20
4.2.8	Cables de acero Syncrolift	Cables de acero Syncrolift	Estirado del cable por sobrecargas continuas	4	6	24
4.2.8	Cables de acero Syncrolift	Cables de acero Syncrolift	Pérdida de espesor por oxidación debido a falta de engrase	7	5	35
4.2.8	Cables de acero Syncrolift	Cables de acero Syncrolift	Fricción excesiva con reenvíos debido a falta de engrase	6	5	30
4.2.9.6	Sistema de aire comprimido	Sistema de aire comprimido	Picadura de conducto de aire comprimido	7	6	42

Punto en documento	Agrupador	Elemento	CAUSAS	INDICADORES		RESULTADO MATRIZ
				SEVERIDAD	OCURRENCIA	
4.2.9.3	Sistema de aire comprimido	Sistema de aire comprimido	Calentamiento del compresor por falta de limpieza de aletas y ventilador	3	6	18
4.2.9.2	Sistema de aire comprimido	Sistema de aire comprimido	Perdidas de presión en calderín por sellos en mal estado	3	7	21
4.2.9.5	Sistema de aire comprimido	Sistema de aire comprimido	Pérdida de capacidad de almacenamiento por falta de vaciado del calderín	3	7	21
4.2.9.6	Sistema de aire comprimido	Sistema de aire comprimido	Pérdidas de presión en juntas de unión por oxidación de soldadura en conducto	4	7	28
4.2.10.2	Carro de transferencia	Eje	Holgura en ejes por sobrecargas	5	3	15
4.2.10.2	Carro de transferencia	Eje	Gripado de los rodamientos de los ejes de las ruedas por falta de lubricante	4	6	24

Punto en documento	Agrupador	Elemento	CAUSAS	INDICADORES		RESULTADO MATRIZ
				SEVERIDAD	OCURRENCIA	
4.2.10.3	Carro de transferencia	Vigas	Deformación de la viga por esfuerzos superiores a los permitidos por pérdida de espesor por corrosión	8	3	24
4.2.10.4	Carro de transferencia	Railes	Pérdida de capacidad de carga por pérdida de espesor por oxido	5	6	30
4.2.10.4	Carro de transferencia	Railes	Deformaciones por pérdida de puntos de anclaje debido a corrosión	6	8	48
4.2.10.4	Carro de transferencia	Railes	Deformación de la banda de rodadura debido a ataque de corrosión.	6	8	48
4.2.11.6	Traslado del conjunto carro-buque	Neumáticos	Pérdida de capacidad de tracción por ruedas en mal estado	4	8	32

Punto en documento	Agrupador	Elemento	CAUSAS	INDICADORES		RESULTADO MATRIZ
				SEVERIDAD	OCURRENCIA	
4.2.11.4	Traslado del conjunto carro-buque	Motor	Pérdida de aceite lubricante por juntas, posible fallo de gripado	7	5	35
4.2.12	Grada	Railes	Pérdida de capacidad de carga por pérdida de espesor por oxido	5	6	30
4.2.13	Grada	Railes	Deformaciones por pérdida de puntos de anclaje debido a corrosión	6	8	48
4.2.14	Grada	Railes	Deformación de la banda de rodadura debido a ataque de corrosión.	6	8	48
4.2.15	Grada	Viga Transversal principal	Deformación de la viga por esfuerzos superiores a los permitidos por pérdida de espesor por corrosión	5	7	35
4.2.16	Grada	Viga Transversal principal	Fractura en la viga a causa de corrosión no tratada	10	2	20

Punto en documento	Agrupador	Elemento	CAUSAS	INDICADORES		RESULTADO MATRIZ
				SEVERIDAD	OCURRENCIA	
4.2.17	Grada	Viga Transversal principal	Fractura en soldaduras debido a corrosión	10	2	20
4.2.18	Grada	Vigas	Deformación de la viga por esfuerzos superiores a los permitidos por pérdida de espesor por corrosión	4	7	28
4.2.19	Grada	Vigas	Corrosión por desgaste de pintura	2	10	20
4.2.20	Grada	Eje	Holgura en ejes por sobrecargas	5	3	15
4.2.21	Grada	Eje	Gripado de los rodamientos de los ejes de las ruedas por falta de lubricante	4	6	24
4.2.22	Grada	Eje	Gripado de los rodamientos de los ejes de las ruedas por rotura del sello	4	6	24

TABLA 7 MATRIZ DE RIESGO SYNCROLIFT

5.3.2 Relación entre FMEA y FMECA

La tabla presentada en la sección anterior muestra el resultado de analizar la severidad y la ocurrencia de los fallos que puedan ocurrir con el sistema del Syncrolift dentro de los límites que se han explicado en apartados previos. Para relacionar el FMEA con el FMECA se debe introducir el concepto comentado en el punto 5.2.7, la detectabilidad.

El grupo de trabajo debe obtener un valor numérico que permita ordenar los modos de fallo según su criticidad, este será el NPR. El NPR será el producto de la severidad, la ocurrencia y en tercer lugar el nuevo factor, la detectabilidad.

A modo de refresco de información, la detectabilidad valora si los modos de fallo pueden predecirse utilizando algún parámetro de medida, prueba, inspección visual, etc.

De igual manera al apartado anterior, se realiza una matriz que añade el valor de la detectabilidad, esta se valora de forma inversa a los anteriores indicadores, siendo 10 la mínima detectabilidad y 1 la máxima, agravando así el valor si la detectabilidad es muy baja y mejorando si la detectabilidad es alta.

En adelante se adjunta el análisis que relaciona el FMEA y el FMECA, este análisis profundiza todos los elementos considerados en el punto 5.2.8 ya que evalúa los límites del sistema, describe las características y funcionamiento del sistema, determina y describe los modos de fallo y sus consecuencias. Todo esto queda plasmado en una tabla que además incluye la severidad, ocurrencia y detección junto al mecanismo que genera el fallo y como se controlaría el proceso. Por último, la tabla que se presenta a continuación plasma el NPR y recoge una serie de pautas recomendadas para solucionar los modos de fallo potenciales.

HOJA DE TRABAJO													
SUBSISTEMA: SYNCROLIFT				MODO POTENCIAL DE FALLO	EFECTO POTENCIAL DEL FALLO		SEVERIDAD	MECANISMO POTENCIAL DEL FALLO	OCURENCIA	CONTROL DEL PROCESO	DETECCIÓN	NPR	ACCIÓN RECOMENDADA
MONTAJE	SUBMONTAJE	FUNCIÓN DEL ELEMENTO	COMPONENTE		EFECTO LOCAL	EFECTO FINAL							
Grúas	Motor eléctrico	Transmite el giro a la reductora	Eje	Desalineación del motor	Vibraciones y desgaste prematuro de engranajes	Pérdida de capacidad de elevación en grúa afectada	6	Vibraciones en el motor	4	Medición de las vibraciones	8	192	Medir vibraciones e instalar soportes antivibratorios adecuados
Grúas	Motor eléctrico	Soporta el eje y le permite rotar	Rodamientos	Sobrecalentamiento del motor por desgaste de rodamientos	Pérdida de potencia y vibraciones	Pérdida de capacidad de elevación en grúa afectada	5	Falta de reposición de rodamientos	3	Medir cada cuanto falla el rodamiento	8	120	Medición de periodicidad de fallos del rodamiento cambio antes de lo calculado. Engrasado periódico o considerar un sistema de lubricación automático.
Grúas	Motor eléctrico	Transmite el giro a la reductora	Eje	Grietas por fatiga	Pérdida de la función motriz	Pérdida de capacidad de elevación en grúa afectada	9	Vibraciones en el motor	1	Control de modos de fallo ante vibraciones del eje	9	81	Medir vibraciones e instalar soportes antivibratorios adecuados

Grúas	Motor eléctrico	Transforma energía eléctrica en movimiento de rotación	Motor eléctrico	Corrosión en el motor	Penetración de elementos externos	Pérdida de capacidad de elevación en grúa afectada	6	Filtraciones de agua salobre	5	Control de protecciones ante corrosión	5	150	Diseño de un nuevo encapsamiento del motor.
Grúas	Motor eléctrico	Transmite la corriente eléctrica al motor	Conexión eléctrico	Rotura de la conexión eléctrica	Pérdida de la función motriz	Pérdida de capacidad de elevación en grúa afectada	8	Vibraciones en el motor	2	Medición de las vibraciones	4	64	Aplicar grasa protectora de bornes y encapsular la conexión.
Grúas	Motor eléctrico	Transmite el giro a la reductora	Acoplamiento Falk	Rotura del acoplamiento Falk y pérdida de transmisión	Pérdida de la función motriz	Pérdida de capacidad de elevación en grúa afectada	7	Falta de reposición de acoplamiento/D esajuste por vibración.	2	Control correcto ajuste acoplamiento, medición de vibraciones	9	126	Medición de vibraciones y chequeo frecuente del acoplamiento.
Grúas	Reductora	Encargado de transmitir el giro del motor a la reductora	Engranaje del motor	Desalineación del engranaje del motor y planetario de la reductora por vibraciones del motor	Vibraciones y desgaste prematuro de engranajes	Pérdida de capacidad de elevación en grúa afectada	7	Vibraciones en el motor	2	Medición de las vibraciones	9	126	Medición de vibraciones en motor eléctrico y en reductora.
Grúas	Reductora	Encargado de dar estabilidad y bloquear movimientos a la reductora	Soporte de la reductora	Rotura del soporte que ancla la reductora.	Vibraciones y elevada carga en elementos que unen la reductora a sistemas colindantes	Rotura completa del sistema de engranajes y elementos colindantes, fallo total catastrófico	8	Corrosión	2	Control de protecciones ante corrosión	2	32	Medición de vibraciones e instalación de soportes antivibratorios entre reductora y soporte anclado.

Grúas	Reductora	Soporta el eje y le permite rotar	Rodamientos	Desgaste de los rodamientos que soportan el eje de la reductora	Pérdida de potencia y vibraciones	Pérdida de capacidad de elevación en grúa afectada	5	Falta de reposición de rodamientos	4	Control acústico de rodamientos	9	180	Medición de periodicidad de fallos del rodamiento cambio antes de lo calculado. Engrasado periódico o considerar un sistema de lubricación automático.
Grúas	Reductora	Encargado de reducir el número de vueltas del motor para adaptarlo a velocidad de recogida	Engranaje de la reductora	Desgaste de engranajes en reductora	Vibraciones y aumento de temperatura	Pérdida de capacidad de elevación en grúa afectada	7	Vibraciones	8	Medición de las vibraciones	9	504	Medición de vibraciones y cambio frecuente de aceite lubricante de la reductora para evitar desgastes prematuros. Instalación de tapones con imán que recojan partículas para detectar desgastes.
Grúas	Reductora	Lubricación de la reductora	Junta tórica	Fuga de aceite en reductora por junta tórica en mal estado	Aumento de temperatura y vibraciones	Gripado de la reductora, pérdida de capacidad de elevación en grúa afectada	3	Falta de reposición de juntas tóricas	6	Control de fugas en juntas	3	54	Elaboración de plan de recorridos para las juntas tóricas según indique el fabricante o en base a estudio de fallos.

Grúas	Engranaje intermedio	Transmite rotación de la reductora a cabirón	Rodamientos	Desgaste de los rodamientos que soportan el eje del engranaje intermedio	Vibraciones y desgaste de engranajes	Gripado de la reductora, pérdida de capacidad de elevación en grúa afectada	3	Falta de reposición de rodamientos	3	Control acústico de rodamientos	9	81	Correcta lubricación de los rodamientos. Medición de vibraciones y reposición de rodamientos según indique el fabricante o en base a estudio de fallos.
Grúas	Engranaje intermedio	Transmite rotación de la reductora a cabirón	Engranaje intermedio	Calentamiento del engranaje intermedio y desgaste excesivo por falta de grasa lubricante	Desgaste de engranaje intermedio	Pérdida de capacidad de elevación en grúa afectada	5	Falta de grasa lubricante	5	Revisión de correcta lubricación	3	75	Engranaje exterior, permite engrasado con gran facilidad.
Grúas	Freno eléctrico	Encargado de frenar el movimiento de la grúa	Discos de freno	Desgaste de los discos de freno	Incapacidad de frenar	Fallo total del sistema, dependiente de sistema de seguridad del cabirón.	#	Falta de reposición de discos de freno	2	Control de frenado previo a operativa	9	180	Estudio del desgaste de discos, desmontaje aleatorio periódico para comprobar estado.
Grúas	Freno de con trinquete uñeta	Encargado de retirar uñeta	Actuador neumático	Fallo en freno por pérdida de presión en actuador neumático por desgaste de sellos	Bloqueo repentino de la grúa	Fallo total del sistema. Posible desestabilización de la carga	#	Falta de reposición de sellos	4	Control de fugas en juntas	4	160	Elaboración de plan de recorridos para las juntas tóricas según indique el fabricante o en base a estudio de fallos. Implementación del plan.

Grúas	Freno trinquete de con	Encargado de mantener en contacto uñeta y trinquete	Muelles	Fallo en freno por oxidación de muelles que mantienen la uñeta pegada al trinquete	Pérdida de capacidad de frenado de emergencia	Fallo total del sistema.	#	Falta de mantenimiento a los muelles	2	Verificación estado muelles previo a operativa	4	80	Protección de los muelles mediante grasa protectora o correcto encapsulado.
Grúas	Freno trinquete de con	Encargado de notificar accionamiento del trinquete	Sensor posición del trinquete	Fallo en el dispositivo que notifica el accionamiento de la uñeta	Pérdida de conocimiento de posición de la uñeta	Parada de la elevación.	7	Falta de actualización del dispositivo	2	Control de la movilidad del sensor de posición	2	28	Actualización del dispositivo, correcta lubricación de sus componentes móviles y correcto conexionado.
Grúas	Freno trinquete de con	Permite la rotación de la uñeta alrededor del mismo	Eje uñeta	Gripado de la uñeta por falta de lubricación	Pérdida de capacidad de frenado de emergencia	Fallo total del sistema.	5	Falta de lubricación	4	Revisión de correcta lubricación	3	60	Engrasado periódico o considerar un sistema de lubricación automático.
Plataforma	Viga Transversal principal	Soporta la carga del buque	Viga transversal principal	Deformación de la viga por esfuerzos superiores a los permitidos por pérdida de espesor por corrosión	Pérdida de capacidad de carga	Fallo total del sistema	5	Falta de protección contra la corrosión	7	Control de protecciones ante corrosión	5	175	Repaso de pintura frecuente en zonas desconchadas. Medición de espesores para evitar una pérdida excesiva.
Plataforma	Viga Transversal principal	Soporta la carga del buque	Viga transversal principal	Fractura en la viga a causa de corrosión no tratada	Viga inutilizada	Fallo catastrófico del sistema.	#	Falta de protección contra la corrosión	2	Control de protecciones ante corrosión	9	180	Controles visuales frecuentes en zonas afectadas por corrosión sin tratar. Repaso de pintura frecuente en zonas desconchadas.

Plataforma	Viga Transversal principal	Soporta la carga del buque	Viga transversal principal	Fractura en soldaduras debido a corrosión	Pérdida de capacidad de carga	Fallo catastrófico del sistema.	#	Falta de protección contra la corrosión	2	Control de protecciones ante corrosión	9	180	Repaso de pintura frecuente en zonas desconchadas. Repaso de soldaduras en caso de mal estado
Plataforma	Vigas	Soporta la carga del buque	Vigas	Deformación de la viga por esfuerzos superiores a los permitidos por pérdida de espesor por corrosión	Pérdida de capacidad de carga	Fallo catastrófico del sistema.	4	Falta de protección contra la corrosión	7	Control de protecciones ante corrosión	7	196	Repaso de pintura frecuente en zonas desconchadas. Medición de espesores para evitar una pérdida excesiva.
Plataforma	Vigas	Soporta la carga del buque	Vigas	Corrosión por desgaste de pintura	Pérdida de espesor y capacidad de carga	Fallo catastrófico del sistema.	2	Falta de protección contra la corrosión	#	Control de protecciones ante corrosión	4	80	Controles visuales frecuentes en zonas afectadas por corrosión sin tratar. Repaso de pintura frecuente en zonas desconchadas.
Winches, norays y elementos de amarre	Winche	Da soporte al eje del winche	Rodamientos	Sobrecalentamiento por rodamientos defectuosos	Pérdida de potencia y vibraciones	Pérdida de capacidad de tensionar la amarra	4	Falta de reposición de rodamientos	2	Medición de las vibraciones	9	72	Medición de periodicidad de fallos del rodamiento cambio antes de lo calculado. Engrasado periódico o considerar un sistema de lubricación automático.

Winc hes, noray es y elemen tos de amarr e	Winche	Alrededor de ella se tensa da vueltas a la amarra para cobrarla	Copela	Rotura o deformación de la copela del winche por oxido	Pérdida de área para dar vueltas a la amarra	Rotura del elemento y pérdida de servicio.	4	Falta de limpieza y necesidad de cubrir la copela tras uso	4	Control de limpieza del compresor	4	64	Recambio de la copela cuando se haya perdido la capa protectora o esté dañada.
Winc hes, noray es y elemen tos de amarr e	Winche	Se utiliza para cobrar la amarra	Winche	Gripado del winche por falta de lubricación de sus componentes	Pérdida de movilidad del winche	Pérdida de servicio	5	Falta de lubricación	5	Revisión de correcta lubricación	9	225	Engrasado periódico o considerar un sistema de lubricación automático.
Winc hes, noray es y elemen tos de amarr e	Winche	Transmiten la electricidad del cableado al winche	Bornas	Desconexión por bornas en mal estado debido al ambiente salino	Desconexión de la red eléctrica	Pérdida de servicio	5	Falta de protección contra la corrosión	5	Control de protecciones ante corrosión	9	225	Aplicar grasa protectora de bornes y encapsular la conexión.
Reen víos	Reenvío superior	Reduce la fuerza que debe hacer el motor por su factor multiplicador	Polea	Desgaste de polea por falta de lubricación del cable	Desgaste de la polea	Rotura de la polea y/o cable. Fallo catastrófico.	7	Falta de lubricación	3	Revisión de correcta lubricación	3	63	Engrasado periódico o considerar un sistema de lubricación automático.

Reenvíos	Reenvío superior	Reduce la fuerza que debe hacer el motor por su factor multiplicador	Reenvío superior	Gripado del sistema por falta de lubricación en los rodamientos	Frenado repentino del sistema.	Fallo catastrófico al dejar de elevar sincronizado	7	Falta de lubricación	3	Revisión de correcta lubricación	10	210	Medición de periodicidad de fallos del rodamiento cambio antes de lo calculado. Engrasado periódico o considerar un sistema de lubricación automático.
Reenvíos	Reenvío superior	Reduce la fuerza que debe hacer el motor por su factor multiplicador	Polea	Oxidación de las poleas por falta de pintura y grasa protectora	Desgaste de la polea	Rotura de la polea y/o cable. Fallo catastrófico.	3	Falta de protección contra la corrosión	8	Control de protecciones ante corrosión	4	96	Engrasado periódico o considerar un sistema de lubricación automático.
Reenvíos	Reenvío superior	Crea un cierre hermético del exterior	Sello	Penetración de cuerpos extraños por sellos en mal estado	Recalentamiento por partículas	Gripado del reenvío. Fallo catastrófico.	3	Falta de reposición de sellos	8	Control de fugas en juntas	9	216	Elaboración de plan de recorridos para las juntas tóricas según indique el fabricante o en base a estudio de fallos. Implementación del plan.
Reenvíos	Reenvío superior	Fija el reenvío a la estructura	Anclaje	Rotura del anclaje del reenvío por oxidación de soldadura	Elevada carga en elementos que unen la reductora a sistemas colindantes	Rotura completa del sistema reenvío y elementos colindantes, fallo total catastrófico	#	Falta de protección contra la corrosión	3	Control de protecciones ante corrosión	4	120	Repaso de pintura frecuente en zonas desconchadas. Repaso de soldaduras en caso de mal estado

Reenvíos	Reenvío inferior	Reduce la fuerza que debe hacer el motor por su factor multiplicador	Polea	Desgaste de polea por falta de lubricación del cable	Desgaste de la polea	Rotura de la polea y/o cable. Fallo catastrófico.	7	Falta de lubricación	3	Revisión de correcta lubricación	4	84	Engrasado periódico o considerar un sistema de lubricación automático.
Reenvíos	Reenvío inferior	Reduce la fuerza que debe hacer el motor por su factor multiplicador	Reenvío superior	Gripado del sistema por falta de lubricación en los rodamientos	Frenado repentino del sistema.	Fallo catastrófico al dejar de elevar sincronizado	7	Falta de lubricación	3	Revisión de correcta lubricación	9	189	Engrasado periódico o considerar un sistema de lubricación automático.
Reenvíos	Reenvío inferior	Reduce la fuerza que debe hacer el motor por su factor multiplicador	Polea	Oxidación de las poleas por falta de pintura y grasa protectora	Desgaste de la polea	Rotura de la polea y/o cable. Fallo catastrófico.	3	Falta de protección contra la corrosión	8	Control de protecciones ante corrosión	3	72	Repaso de pintura en zonas desconchadas. Engrasado periódico o considerar un sistema de lubricación automático.
Reenvíos	Reenvío inferior	Crea un cierre hermético del exterior	Sello	Penetración de cuerpos extraños por sellos en mal estado	Recalentamiento por partículas	Gripado del reenvío. Fallo catastrófico.	3	Falta de reposición de sellos	8	Control de fugas en juntas	9	216	Elaboración de plan de recorridos para las juntas tóricas según indique el fabricante o en base a estudio de fallos. Implementación del plan.

Reenvíos	Reenvío inferior	Fija el reenvío a la estructura	Anclaje	Rotura del anclaje del reenvío por oxidación de soldadura	Elevada carga en elementos que unen la reductora a sistemas colindantes	Rotura completa del sistema reenvío y elementos colindantes, fallo total catastrófico	#	Falta de protección contra la corrosión	3	Control de protecciones ante corrosión	3	90	Repaso de pintura frecuente en zonas desconchadas. Repaso de soldaduras en caso de mal estado
Reenvíos	Reenvío inferior	Crea un cierre hermético del exterior	Sello	Penetración de agua en conductos de lubricación por sello defectuoso	Oxidación de rodamientos	Gripado del reenvío. Fallo catastrófico.	3	Falta de reposición de sellos	4	Control de fugas en juntas	10	120	Chequeo de sello de conducto previo a operativa de inmersión.
Cepo del cable	Cepo del cable	Fija una punta del cable. Soporta la tensión de la estructura.	Cepo	Oxidación del cepo por falta de recubrimiento con grasa protectora	Pérdida de capacidad de carga	Rotura del cepo, fallo catastrófico.	#	Falta de protección contra la corrosión	2	Control de protecciones ante corrosión	3	60	Aplicar grasa protectora y encapsular el cepo.
Contrales	Indicadores lumínicos	Transmiten la electricidad del cableado	Bornas	Falsos contactos de bornas por filtraciones de humedad	Cortocircuitos	Pérdida de capacidad de leer la información del indicador	3	Falta de reposición de sellos	5	Verificación correcto sellado	9	135	Aplicar grasa protectora de bornes y encapsular la conexión.
Contrales	Centro de control de motores	Cortan el circuito eléctrico cuando hay una sobretensión	Interruptores automáticos	Rotura de cortes de sobretensión	Se generan sobretensiones	Se queman los motores eléctricos. Fallo catastrófico.	8	Falta de renovación de equipos obsoletos	3	Control cortes de sobretensión en ON al iniciar la operativa	4	96	Renovar equipos o controlar la humedad del ambiente para evitar degradación.
Contrales	Finales de carrera de actuadores	Detienen la operativa de izado y descenso al llegar al punto seleccionado	Final de carrera	Rotura del final de carrera debido a generación de óxido	Se eleva la estructura por encima del límite de seguridad	Rotura del sistema de elevación. Fallo catastrófico.	#	Falta de protección contra la corrosión	2	Control de protecciones ante corrosión	3	60	Aplicar grasa protectora y pintar.

Control es	Finales carrera actuadores de y	Transmiten electricidad del cableado al final de carrera	Bornas	No actuación del final de carrera por desconexión eléctrica de las bornas	Se eleva la estructura por encima del límite de seguridad	Rotura del sistema de elevación. Fallo catastrófico.	#	Filtraciones de agua salobre	3	Control del conexionado a la red	9	270	Aplicar grasa protectora de bornas y encapsular la conexión.
Cables de acero Syncrolift	Cables de acero Syncrolift	Eleva o desciende la plataforma soportando la tensión	Cable	Estirado del cable por sobrecargas continuas	Se estira el cable	Se rompe el cable por pérdida de sección. Fallo catastrófico.	4	Falta de entrenamiento del personal	6	Control de la longitud del cable	7	168	Formación al personal para no exceder límites de diseño. Medición de cables y secciones, cambio cuando exceda nivel permitido.
Cables de acero Syncrolift	Cables de acero Syncrolift	Eleva o desciende la plataforma soportando la tensión	Cable	Pérdida de espesor por oxidación debido a falta de engrase	Pérdida de espesor y capacidad de carga	Rotura del cable. Fallo catastrófico.	7	falta del lubricación	5	Control estado del cable contra corrosión. Control lubricación	7	245	Engrasado periódico o considerar un sistema de lubricación automático. Medición de espesores periódica.
Cables de acero Syncrolift	Cables de acero Syncrolift	Eleva o desciende la plataforma soportando la tensión	Cable	Fricción excesiva con reenvíos debido a falta de engrase	Calentamiento del cable	Rotura del cable. Fallo catastrófico.	6	Falta de lubricación	5	Control lubricación	3	90	Engrasado periódico o considerar un sistema de lubricación automático.

Sistema de aire comprimido	Sistema de aire comprimido	Transmite la presión del compresor	Conducto	Picadura de conducto de aire comprimido	Fuga de aire comprimido	No se repliega el cilindro del conducto afectado. Fallo catastrófico	7	Falta de protección contra la corrosión	6	Control de protecciones ante corrosión	10	420	Control de presión mediante manómetros por tramos de tubería para identificar pérdidas. Pintado de conductos para evitar picaduras.
Sistema de aire comprimido	Sistema de aire comprimido	Genera presión para el sistema	Compresor	Calentamiento del compresor por falta de limpieza de aletas y ventilador	Calentamiento del compresor, pérdida de eficiencia y rendimiento.	Quemado del motor del compresor	3	Falta limpieza del compresor	6	Control de limpieza del compresor	4	72	Limpieza periódica y medición de temperatura para evitar quemado del compresor
Sistema de aire comprimido	Sistema de aire comprimido	Sella el sistema para alcanzar la presión necesaria	Sellos	Pérdidas de presión en calderín por sellos en mal estado	Pérdida de presión	Falta de presión en el circuito general. Fallo catastrófico	3	Falta de reposición de sellos	7	Control de sellos	9	189	Elaboración de plan de recorridos para las juntas tóricas según indique el fabricante o en base a estudio de fallos. Implementación del plan.
Sistema de aire comprimido	Sistema de aire comprimido	El calderín se llena de agua al condensar la humedad del aire	Calderín	Pérdida de capacidad de almacenamiento por falta de vaciado del calderín	Pérdida de capacidad de almacenar presión	Falta de presión en el circuito general. Fallo catastrófico	3	Falta de mantenimiento al compresor	7	Control del nivel de líquido en el calderín	10	210	Instalar sistema de vaciado automático o planificar vaciado cada ciertas horas de uso. Controlar humedad del ambiente para reducir condensación al máximo.

Sistema de aire comprimido	Sistema de aire comprimido	Transmite la presión del compresor	Uniones del conducto	Pérdidas de presión en juntas de unión por oxidación de soldadura en conducto	Pérdida de capacidad de almacenar presión	Falta de presión en el circuito general. Fallo catastrófico	4	Falta de protección contra la corrosión	7	Control de protecciones ante corrosión	10	280	Repaso de soldaduras en caso de degradación. Pintado para evitar corrosión.
Carro de transferencia	Eje	Transmite el movimiento de las ruedas al carro	Eje	Holgura en ejes por sobrecargas	Vibraciones	Rotura del eje. Fallo catastrófico.	5	Falta de formación al personal	3	Medición de las vibraciones	10	150	Formación al personal para no exceder límites de diseño.
Carro de transferencia	Eje	Soporta el eje y le permite rotar	Rodamientos	Gripado de los rodamientos de los ejes de las ruedas por falta de lubricante	Gripado del eje	Parada del transporte	4	Falta de lubricación	6	Control acústico de rodamientos	8	192	Engrasado periódico o considerar un sistema de lubricación automático.
Carro de transferencia	Vigas	Soporta el peso del buque	Viga	Deformación de la viga por esfuerzos superiores a los permitidos por pérdida de espesor por corrosión	Pérdida de capacidad de carga	Fallo catastrófico del sistema.	8	Falta de formación al personal	3	Control de la corrosión	7	168	Pintado y medición de espesores en zonas dañadas.
Carro de transferencia	Railes	Transfiere el carro a lo largo del Syncrolift	Rail	Pérdida de capacidad de carga por pérdida de espesor por oxido	Pérdida de capacidad de carga	Fallo catastrófico del sistema.	5	Falta de protección contra la corrosión	6	Control de protecciones ante corrosión	4	120	Pintado y medición de espesores en zonas dañadas.
Carro de transferencia	Railes	Transfiere el carro a lo largo del Syncrolift	Rail	Deformaciones por pérdida de puntos de anclaje debido a corrosión	Desalineamiento del rail	Fallo catastrófico del sistema.	6	Falta de protección contra la corrosión	8	Control de protecciones ante corrosión	7	336	Repaso de pintura frecuente en zonas desconchadas. Repaso de soldaduras en caso de mal estado

Carro de transferencia	Railes	Transfiere el carro a lo largo del Syncrolift	Rail	Deformación de la banda de rodadura debido a ataque de corrosión.	Desalineamiento del rail	Fallo catastrófico del sistema.	6	Falta de protección contra la corrosión	8	Control de protecciones ante corrosión	4	192	Pintado y medición de espesores en zonas dañadas. Rectificación de zona dañada.
Traslado del conjunto carro-buque	Neumáticos	Punto de contacto de máquina tractora con el suelo	Neumáticos	Pérdida de capacidad de tracción por ruedas en mal estado	Patinado de rueda	Parada operativa de traslado	4	Desgaste de ruedas debido a ambientes extremos	8	Verificación estado ruedas	2	64	Cambio de neumáticos según indique el fabricante
Traslado del conjunto carro-buque	Motor	Transmite la energía química del combustible en movimiento	Juntas	Pérdida de aceite lubricante por juntas, posible fallo de gripado	Aumento de temperatura y vibraciones	Gripado del sistema, pérdida capacidad de transporte.	7	Pérdida de aceite	5	Medición de las vibraciones	2	70	Cambio de juntas según indique el fabricante. Chequeo de nivel de aceite para no rebasar límites inferiores.
Grada	Railes	Transfiere el carro a lo largo del Syncrolift	Rail	Pérdida de capacidad de carga por pérdida de espesor por oxido	Pérdida de capacidad de carga	Fallo catastrófico del sistema.	5	Falta de protección contra la corrosión	6	Control de protecciones ante corrosión	4	120	Pintado y medición de espesores en zonas dañadas. Rectificación de zona dañada.
Grada	Railes	Transfiere el carro a lo largo del Syncrolift	Rail	Deformaciones por pérdida de puntos de anclaje debido a corrosión	Desalineamiento del rail	Fallo catastrófico del sistema.	6	Falta de protección contra la corrosión	8	Control de protecciones ante corrosión	4	192	Pintado y medición de espesores en zonas dañadas. Rectificación de zona dañada.
Grada	Railes	Transfiere el carro a lo largo del Syncrolift	Rail	Deformación de la banda de rodadura debido a ataque de corrosión.	Desalineamiento del rail	Fallo catastrófico del sistema.	6	Falta de protección contra la corrosión	8	Control de protecciones ante corrosión	4	192	Pintado y medición de espesores en zonas dañadas. Rectificación de zona dañada.

Grada	Viga Transversal principal	Soporta el peso del buque	Viga transversal principal	Deformación de la viga por esfuerzos superiores a los permitidos por pérdida de espesor por corrosión	Pérdida de capacidad de carga	Fallo total del sistema	5	Falta de protección contra la corrosión	7	Control de protecciones ante corrosión	7	245	Repaso de pintura frecuente en zonas desconchadas. Medición de espesores para evitar una pérdida excesiva.
Grada	Viga Transversal principal	Soporta el peso del buque	Viga transversal principal	Fractura en la viga a causa de corrosión no tratada	Viga inutilizada	Fallo catastrófico del sistema.	#	Falta de protección contra la corrosión	2	Control de protecciones ante corrosión	7	140	Controles visuales frecuentes en zonas afectadas por corrosión sin tratar. Repaso de pintura frecuente en zonas desconchadas.
Grada	Viga Transversal principal	Soporta el peso del buque	Viga transversal principal	Fractura en soldaduras debido a corrosión	Pérdida de capacidad de carga	Fallo catastrófico del sistema.	#	Falta de protección contra la corrosión	2	Control de protecciones ante corrosión	7	140	Repaso de pintura frecuente en zonas desconchadas. Repaso de soldaduras en caso de mal estado
Grada	Vigas	Soporta el peso del buque	Vigas	Deformación de la viga por esfuerzos superiores a los permitidos por pérdida de espesor por corrosión	Pérdida de capacidad de carga	Fallo catastrófico del sistema.	4	Falta de protección contra la corrosión	7	Control de protecciones ante corrosión	7	196	Repaso de pintura frecuente en zonas desconchadas. Medición de espesores para evitar una pérdida excesiva.
Grada	Vigas	Soporta el peso del buque	Vigas	Corrosión por desgaste de pintura	Pérdida de espesor y capacidad de carga	Fallo catastrófico del sistema.	2	Falta de protección contra la corrosión	#	Control de protecciones ante corrosión	4	80	Controles visuales frecuentes en zonas afectadas por corrosión sin tratar. Repaso de pintura frecuente en zonas desconchadas.

Grada	Eje	Transmite el giro de la rueda	Eje	Holgura en ejes por sobrecargas	Vibraciones	Rotura del eje. Fallo catastrófico.	5	Sobrecargas por falta de adiestramiento al personal	3	Calcular las cargas y contrastar con admitidas	10	150	Formación al personal para no sobrecargar el sistema, apoyar la carga en más carros.
Grada	Eje	Soporta el eje y le permite rotar	Rodamientos	Gripado de los rodamientos de los ejes de las ruedas por falta de lubricante	Gripado del eje	Parada del transporte	4	Falta de lubricación	6	Control del lubricante en el sistema	10	240	Lubricar cada 3 operativas o dos semanas
Grada	Eje	Soporta el eje y le permite rotar	Rodamientos	Gripado de los rodamientos de los ejes de las ruedas por rotura del sello	Recalentamiento por partículas	Gripado del reenvío. Fallo catastrófico.	4	Rotura del sello	6	Control de los sellos	10	240	Estudio caducidad de los sellos por tipo y cambio antes de la última fecha

5.3.3 Análisis de datos obtenidos de la hoja de trabajo.




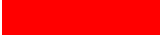
De la hoja de trabajo se obtiene como conclusión general que los dispositivos tienen mucha falta de detección de fallos. El máximo multiplicador, de media, en la fórmula NPR es el valor D, esto indica que el sistema de estudio tiene pocos sistemas de detección de fallo y muy pocos controles rutinarios.

Además de la baja detectabilidad, se detecta un bajo mantenimiento programado. Esta conclusión se obtiene debido a que hay muchos sistemas que perderían su riesgo de fallo si se hiciese un control rutinario de sus partes móviles, como por ejemplo rodamientos y ejes.

Uno de los fallos más frecuentes detectados es el gran impacto que tiene en la estructura el ambiente salino y los climas extremos. La gran humedad del ambiente que rodea al Syncrolift unido a las altas temperaturas en verano y a las relativamente bajas temperaturas en invierno, crean un ambiente excelente para que proliferen la corrosión y las tensiones por dilatación en verano y contracción en invierno. Este problema puede solucionarse mediante un tratamiento de las superficies metálicas expuestas y un posterior pintado, que de manera recurrente se revise para que no se agrave con el tiempo.

Agrupando los indicadores y para tener una visión clara se presenta la tabla 4 junto a la tabla que muestra la cantidad de fallos que hay por rango de riesgo:

TABLA DE ÍNDICE DE RIESGO	
Riesgo bajo (insignificante) – $1 < \text{NPR} < 100$	
Riesgo moderado (tolerable) – $101 < \text{NPR} < 180$	
Riesgo significativo (Se deben tomar ciertas medidas) – $181 < \text{NPR} < 299$	
Alto riesgo (intolerable) – $300 < \text{NPR} < 1000$	

	25	36%
	21	30%
	21	30%
	3	4%

Aunque a priori, un 36% de los fallos se consideren de bajo riesgo, esto se debe a la baja ocurrencia y estos datos son obtenidos a partir de un histórico. En el momento en el que el sistema se envejezca hasta cierto punto en el que los sistemas empiecen a fallar, la ocurrencia subirá, dando lugar a un riesgo incipiente, dado que la detectabilidad es prácticamente nula y la severidad en gran parte de los fallos es alta/muy alta. Teniendo esto en cuenta ha de establecerse un plan de mantenimiento que cree una conciencia en los trabajadores del Syncrolift de que el único modo en el que el sistema siga funcionando es dedicando esfuerzo en sus componentes para que no se produzcan los fallos estudiados.

5.4 Plan de mantenimiento.

5.4.1 Consideraciones generales.

El plan de mantenimiento que se detalla a continuación será meramente mantenimiento preventivo. Además del plan que se genere en base a lo expuesto anteriormente en este estudio, debe haber un equipo de trabajo experimentado y multidisciplinar que realice el mantenimiento correctivo que surja de las inspecciones programadas en este mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo es una estrategia proactiva de gestión y cuidado del sistema que se está tratando. Esto incluye maquinarias, equipos, instalaciones y en general todo sistema que quede englobado en los límites que se han establecido en el FMECA. De esta manera, se realizan intervenciones y tareas planificadas de forma periódica y sistemática, con el fin de mantener el sistema operativo, reducir costes de reparaciones y reducir costes de inoperatividad.

Como se ha mencionado, la piedra angular de un mantenimiento preventivo tiene dos vértices. El primer eje vertebrador es una correcta planificación, elemento que queda completo con el plan realizado en el FMECA. El segundo eje es la obtención de un equipo multidisciplinar experimentado en estructuras similares a la que es objeto de este mantenimiento. Un equipo con experiencia será capaz no solo de realizar las tareas programadas, sino de implementar nuevas rutinas de inspección, y detectar fallos que no estén identificados en el FMECA en base a su experiencia en el trabajo.

Tras finalizar cada fase de mantenimiento, es de crucial importancia recopilar la información necesaria sobre las condiciones y averías que se han detectado y realizado. De esta manera se programarán reuniones en las que los encargados de realizar el mantenimiento comunicarán los fallos graves y tras sus jornadas laborales recopilarán los datos en el programa informático del que disponga la empresa.

5.4.2 Gamas de mantenimiento.

La presentación del mantenimiento de cada elemento de la estructura está enfocado a minimizar los modos de fallo que se han detectado, para esto, se van a dividir los sistemas en las siguientes categorías agrupadoras por subsistemas:

- Grúas
- Plataforma
- Winches, norayes y elementos de amarre
- Reenvíos
- Cepo del cable
- Controles
- Cables de acero Syncrolift

- Sistema de aire comprimido
- Carro de transferencia
- Traslado del conjunto carro-buque
- Grada

A nivel organizativo, se pueden distinguir tres tipos de planificaciones:

- Dividir las gamas de mantenimiento por sistemas: tuberías, electricidad, soldadura, elementos estructurales.
- Dividir las gamas por intervalos de tiempo: se planifica una serie de tareas que se deben realizar con una periodicidad fijada y se aplica sobre un equipo.
- Dividir las gamas por el personal que va a realizar el trabajo: gremio de tuberos, gremio de eléctricos, etc.

En el presente estudio se ha escogido dividir las gamas por intervalos de tiempo. De esta manera se escoge un sistema, se estudian los mantenimientos que le afectan y se decide una periodicidad en la que se deben realizar. Además de esto, se ha programado un estudio continuo del sistema mediante los siguientes procedimientos, con el fin de detectar los fallos antes de que se produzcan.

5.4.2.1 Sistemas de detección de fallos.

- a) Inspección visual: La inspección visual es el medio de detección de fallos menos invasivo que hay. Requiere de un inspector con amplia experiencia en el sistema o en sistemas similares, que haya visto fallar el equipo de estudio en múltiples ocasiones y que sea capaz de predecir un posible fallo en base al comportamiento que observa.
- b) Estudio de vibraciones: El estudio de vibraciones es un procedimiento de mayor complejidad. No puede iniciarse en un sistema que ha trabajado durante cierto tiempo, al menos no debe, lo ideal es tomar mediciones de vibraciones de un equipo que se sabe a ciencia cierta que se encuentra en las condiciones óptimas de funcionamiento. Las vibraciones se medirán mediante equipos como acelerómetros, que generan una señal de voltaje proporcional a la frecuencia de vibración que tiene el equipo en estado normal de funcionamiento. Evidentemente se debe medir el equipo en todas las situaciones que trabaje, tanto a plena carga como al ralentí. Esta señal será almacenada por un sistema informático que la comparará con una medición continua sobre los sistemas que la requieran. Se detectará un posible fallo de manera automática cuando el acelerómetro marque una frecuencia fuera del rango aceptado como normal. En este caso se valorará parar la operativa y desmontar la máquina a la que haga referencia para evaluar cual es el posible fallo.

Estos estudios de vibraciones pueden detectar fallos como los listados a continuación:

- Resonancias por desequilibrios.
- Rodamientos defectuosos o degradados.
- Cavitación.
- Soportes mal anclados.
- Ejes desalineados.

Se deberá formar al personal en la colocación, uso e interpretación de los datos para que sean de alguna utilidad.

c) Termografía infrarroja: Este método mide la temperatura que desprende un sistema, puede ayudar a detectar fricciones que generen calor fuera del rango permitido. De la misma manera que el estudio de vibraciones, para que los resultados del análisis térmico tengan algún valor, se deben comparar con una máquina en perfecto estado trabajando a plena carga.

Este estudio, aunque es muy poco invasivo, requiere de cierta formación al personal que lo realice, pues debe ser capaz de identificar una zona con fallo comparando los resultados obtenidos con el histórico.

d) Medición con manómetros: La medición con manómetros se hace sobre sistemas hidráulicos o neumáticos. En el caso de este estudio se utilizan para monitorizar la línea de aire comprimido. Se deben instalar en varios tramos para poder ir cerrando las secciones y poder acotar la fuga.

A continuación, se presenta la tabla de mantenimientos preventivos programados para los fallos detectados:

PREVENTIVO							
		BIMENSUAL	MENSUAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	4AÑOS
4.2.1.1	TAPA			ENGRASADO BISAGRAS		PINTADO	
4.2.1.2	MOTOR ELÉCTRICO				- REVISIÓN AISLAMIENTO ELÉCTRICO MEDIANTE MEDICIÓN DE CORRIENTE EN TOMA DE TIERRA	- APERTURA MOTOR INSPECCIÓN VISUAL DE TODOS SUS ELEMENTOS, ENGRASADO ELEMENTOS MÓVILES (EJE Y RODAMIENTOS) - PINTADO CARCASA EXTERIOR - ENGRASADO ACOPLAMIENTO FALK - ENGRASADO CONEXIONADO ELÉCTRICO	
4.2.1.3	REDUCTORA	INSPECCIÓN VISUAL				- CAMBIO DE ACEITE Y REVISIÓN DE TAPÓN IMANTADO - PINTADO CARCASA EXTERIOR	APERTURA Y RECAMBIO ENGRANAJES
4.2.1.4	ENGRANAJE INTERMEDIO	INSPECCIÓN VISUAL		ENGRASADO ENGRANAJE		- ENGRASADO RODAMIENTOS - AFILADO	
4.2.1.5	CABIRÓN	INSPECCIÓN VISUAL		ENGRASADO ENGRANAJE		- ENGRASADO RODAMIENTOS - PINTADO	
4.2.1.6	FRENO DE DISCO MAGNÉTICO					REVISIÓN ESPESOR DISCO DE FRENO	
4.2.1.7	FRENO DE TRINQUETE CON UÑETA	INSPECCIÓN VISUAL		ENGRASADO EJE		- CAMBIO DE SELLOS EN CILINDRO ACTUADOR - PINTADO - ENGRASADO CONEXIONES ELÉCTRICAS - PINTADO - REVISIÓN CORRECTA ALINEACIÓN CONJUNTO	DESMONTAJE COMPLETO CILINDRO SISTEMA NEUMÁTICO

PREVENTIVO							
		BIMENSUAL	MENSUAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	4AÑOS
4.2.2	PLATAFORMA	INSPECCIÓN VISUAL				- COMPROBACIÓN ESPESORES VIGAS Y RAILES - COMPROBACIÓN SOLDADURAS - CHORREADO Y PINTADO VIGAS	
4.2.3	WINCHES, NORAYS Y ELEMENTOS DE AMARRE	INSPECCIÓN VISUAL				- ENGRASADO ENGRANAJES - ENGRASADO RODAMIENTOS	CAMBIO ENGRANAJES Y RODAMIENTOS
4.2.4.1	REENVÍO SUPERIOR	INSPECCIÓN VISUAL		- ENGRASADO EXTERIOR - RELLENADO CONDUCTOS DE ENGRASADO		- REVISIÓN HOLGURAS EN EJES - PINTADO	DESMONTAJE COMPLETO Y REVISIÓN COMPONENTES
4.2.4.2	REENVÍO INFERIOR	INSPECCIÓN VISUAL		- ENGRASADO EXTERIOR - RELLENADO CONDUCTOS DE ENGRASADO		- REVISIÓN HOLGURAS EN EJES - PINTADO	DESMONTAJE COMPLETO Y REVISIÓN COMPONENTES
4.2.5	CEPO DEL CABLE	INSPECCIÓN VISUAL		ENGRASADO		COMPROBACIÓN ESPESORES Y ESTIRAMIENTO	
4.2.6.3	INDICADORES LUMÍNICOS					REVISIÓN CONEXIONES Y BOMBILLAS	
4.2.7	FINALES DE CARRERA	INSPECCIÓN VISUAL		ENGRASADO CONEXIONES		- COMPROBACIÓN AISLAMIENTO CABLEADO - PINTADO	
4.2.8	CABLES DE ACERO SYNCROLIFT	INSPECCIÓN VISUAL		ENGRASADO CABLE		COMPROBACIÓN ESPESORES Y ESTIRAMIENTO	CAMBIO DE CABLES
4.2.9.1	CILINDRO	INSPECCIÓN VISUAL					
4.2.9.2	CALDERIN						

		PREVENTIVO					
		BIMENSUAL	MENSUAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	4AÑOS
4.2.9.3	VENTILADOR	- INSPECCIÓN VISUAL - LIMPIEZA					
4.2.9.4	MOTORES ELÉCTRICOS	INSPECCIÓN VISUAL					
4.2.9.5	TAPÓN DE VACIADO	VACIADO REVISIÓN TAPÓN IMANTADO					
4.2.9.6	LÍNEA	INSPECCIÓN VISUAL			PINTADO		
4.2.10.1	RUEDAS	INSPECCIÓN VISUAL		ENGRASADO RODAMIENTOS		- PINTADO - CAMBIO RODAMIENTOS - CAMBIO SELLOS	
4.2.10.2	EJE	INSPECCIÓN VISUAL		- REVISIÓN HOLGURAS EN EJES - ENGRASADO EJE - PINTADO			
4.2.10.3	VIGAS	INSPECCIÓN VISUAL		- COMPROBACIÓN ESPESORES VIGAS Y RAILES - COMPROBACIÓN SOLDADURAS - CHORREADO Y PINTADO VIGAS			
4.2.10.4	RAILES	INSPECCIÓN VISUAL		- COMPROBACIÓN ESPESORES VIGAS - COMPROBACIÓN SOLDADURAS - COMPROBACIÓN PLANITUD Y RECTITUD			
4.2.11.1	CHASIS						

PREVENTIVO							
		BIMENSUAL	MENSUAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL	4AÑOS
4.2.11.2	BASTIDOR					INSPECCIÓN VISUAL	
4.2.11.3	CABINA DE OPERACIÓN						
4.2.11.4	SISTEMA MOTOR					- INSPECCIÓN VISUAL - CAMBIO DE ACEITE	
4.2.11.5	CAJA DE CAMBIOS Y DIFERENCIAL					INSPECCIÓN VISUAL	CAMBIO DE ACEITE
4.2.11.6	NEUMÁTICOS		HINCHADO			INSPECCIÓN VISUAL	
4.2.11.7	CABLES DE ACERO TRANSPORTE			- INSPECCIÓN VISUAL - ENGRASADO		MEDICIÓN ESPESORES Y LONGITUD	CAMBIO CABLE
4.2.12	RUEDAS	INSPECCIÓN VISUAL		ENGRASADO RODAMIENTOS		- PINTADO - CAMBIO RODAMIENTOS - CAMBIO SELLOS	
4.2.12	EJE	INSPECCIÓN VISUAL				- REVISIÓN HOLGURAS EN EJES - ENGRASADO EJE - PINTADO	
4.2.12	VIGAS	INSPECCIÓN VISUAL				- COMPROBACIÓN ESPESORES VIGAS Y RAILES - COMPROBACIÓN SOLDADURAS - CHORREADO Y PINTADO VIGAS	
4.2.12	RAILES					- COMPROBACIÓN ESPESORES VIGAS - COMPROBACIÓN SOLDADURAS - COMPROBACIÓN PLANITUD Y RECTITUD	

A continuación una planificación de toma de mediciones para los sistemas de detección de fallos:

PREDICTIVO			
		CONTINUO	SEMESTRAL
4.2.1.1	TAPA	MEDICIÓN VIBRACIONES	TERMOGRAFÍA INFRARROJA
4.2.1.2	MOTOR ELÉCTRICO		
4.2.1.3	REDUCTORA		
4.2.1.4	ENGRANAJE INTERMEDIO		
4.2.1.5	CABIRÓN		
4.2.1.6	FRENO DE DISCO MAGNÉTICO		
4.2.3	WINCHES, NORAYS Y ELEMENTOS DE AMARRE	MEDICIÓN VIBRACIONES	TERMOGRAFÍA INFRARROJA
4.2.9.6	LÍNEA	MEDICIÓN CON MANÓMETROS	

Estas mediciones son bastante caras de realizar, con lo que no todos los equipos serán objeto de estudio, solamente los que sean críticos para el funcionamiento de la estructura.

Concluyendo el apartado de mantenimientos se describirá brevemente el mantenimiento que se debe realizar. Prácticamente todas las tareas son homólogas en los elementos del Syncrolift, por lo que se van a describir las tareas generales y ahondar en aquellas que sean específicas de un solo elemento.

1. Inspección visual: La inspección visual se debe realizar en cada operativa y de manera regular dos veces al mes (bimensual). Esta tarea pretende identificar futuros fallos. Un fallo que se puede identificar durante una ronda de inspección visual es el apriete de una turca, si se ve que la tuerca se ha desviado de su posición de apriete (marcada en el momento del montaje) se debe notificar para volver a apretar al par indicado por el fabricante.
2. Engrasado de bisagras: La tapa abatible de la grúa del Syncrolift cuenta con bisagras en su parte trasera que le permiten rotar para poder ser abierta y acceder a los mecanismos de movimiento. Para permitir que estas tapas se puedan abrir en cualquier momento, y además prevenir la corrosión que se podría producir en esta zona de fricción, se propone un engrasado trimestral de esta zona.
3. Pintado (Anual): Como todos los pintados, esta operación es un trabajo largo ya que se debe chorrear la estructura a pintar, limpiar químicamente, pintar con imprimación y posteriormente pintar con una pintura resistente a las condiciones adversas a las que se ve expuesto cualquier elemento del Syncrolift. Dado que el pintado de todos los elementos es anual, se debe analizar cuando el astillero tendrá una baja carga de trabajo, ya que estas labores pueden llegar a durar hasta un mes, con lo que se genera un riesgo de pérdida de beneficios si no se programa en una bajada de trabajo. Un buen momento para realizar estos mantenimientos es en verano ya que la temporada de reparación de yates es, principalmente, en invierno.
4. Engrasado de acoplamientos: El engrasado de acoplamientos debe hacerse anualmente. La operativa de engrasado en si no es larga, pero llegar al acoplamiento si tiene cierta complejidad, es por esto que se debe coordinar este engrasado con las labores de pintura para que la parada productiva por engrasado no afecte a la planificación de varadas.
5. Revisión aislamiento eléctrico: Cualquier dispositivo conectado a corriente debe ser comprobado contra derivaciones que pongan en riesgo a los operarios y a otros elementos eléctricos. Esta operativa es de carácter semestral y se realizará por electricistas experimentados.

6. Motor eléctrico:

6.1 Apertura motor e inspección visual de todos sus elementos, engrasado elementos móviles. Este mantenimiento, al igual que todos los que paren la actividad del Syncrolift, se debe coordinar. El motor debe funcionar correctamente siempre y es de crucial importancia que se encuentre engrasado para evitar calentamientos. Como este mantenimiento se realiza anualmente, se intercala con una revisión termográfica cada seis meses para asegurar que todo funciona correctamente.

6.2 Engrasado conexión eléctrico: el engrasado del conexión del motor, igual que cualquier otro elemento que reciba corriente, debe hacerse para evitar que la humedad del ambiente genere un puente salino entre ambas conexiones, resultando en un cortocircuito. Se aplicará grasa dieléctrica en los bornes de la conexión. Tras el engrasado esta conexión debe sellarse.

7. Cambios de aceite: los elementos que contienen aceite (reductoras y carteres húmedos) en este sistema no llevan varilla de comprobación de nivel al tener cierta antigüedad. Es por esto que se programa una inspección visual a las juntas de los sistemas lubricados por aceite, para identificar fugas. El cambio de aceite se debe hacer anualmente, además, durante el cambio se revisará el tapón imantado para comprobar que no se ha desgastado el elemento a lubricar. Previo al llenado, se debe cambiar la junta de cobre del tapón que hará que este asiente correctamente. Se llenará el nivel hasta el rebose del tapón de llenado, según indica el fabricante.

8. Apertura y recambio engranajes: Esta tarea es muy cara por lo que se ha programado cada cuatro años. Se deben medir tolerancias y acoplar correctamente todos los engranajes. Todos los mantenimientos de esta envergadura deben ser llevados a cabo en un taller externo y sometidos a una prueba FAT antes del montaje definitivo.

9. Engrasado de rodamientos: Los rodamientos que no vayan bañados por aceite deben ser lubricados con grasa de litio. Esta grasa tiene propiedades anticorrosivas y un buen comportamiento ante altas temperaturas. Se debe realizar de anualmente salvo en los rodamientos de las ruedas de carros ya que estos se encuentran expuestos al agua de mar cuando se sumergen, en este caso será trimestral la operativa. Para evitar que los rodamientos internos de los sistemas fallen, se realizará un control de vibraciones que indicarán si están trabajando de manera incorrecta o hay indicio de que vayan a fallar.

10. Cambio de rodamientos: El cambio de rodamientos se realizará anualmente para los carros. Esto es debido a los grandes esfuerzos a los que están sometidos y al ambiente extremo en el que trabajan, sumergidos y posteriormente expuestos a altas

temperaturas. Los rodamientos que no estén en ruedas se cambiarán cada 4 años o cuando dejen de funcionar correctamente.

11. Revisión espesor disco de freno: Esta tarea anual se realiza para no perder la capacidad de frenado del freno magnético acoplado al motor. Se sincronizará con el desmontaje y apertura del motor y se hará una predicción de si los discos aguantarán un año más montados. En caso contrario se desmontarán y cambiarán. Una vez más, se someterá a una prueba FAT antes del montaje definitivo.
12. Cambio de sellos: Tarea anual que se hará coincidir con el engrasado de rodamientos. Se cambian los sellos, juntas tóricas, etc. para garantizar el sellado del conjunto.
13. Comprobación espesores vigas y railes: Dado que estos elementos tienden a perder la pintura por golpes o tensiones que la descascarilla, se debe medir el espesor en varios puntos de la viga para comprobar que sigue siendo estructuralmente confiable. En caso de que haya perdido un espesor considerable se debe cambiar la viga o recortar y añadir el trozo afectado. Tras esto se pintarán las zonas afectadas siguiendo los procedimientos de pintado.
14. Engrasado de cables y engranajes exteriores: Esta tarea se realiza para evitar el desgaste por fricción y para proteger estos elementos de la corrosión. Se utilizará una grasa apropiada y recomendada por el fabricante y se aplicará de manera generosa sobre las superficies en contacto.
15. Revisión holguras en ejes: Se revisará la holgura que haya podido adquirir un eje debido a sobrecargas o a su uso habitual. Cuando la holgura exceda cierto límite se cambiará el eje para evitar su fractura. La holgura se medirá con galgas para evitar el desmontaje del mismo.
16. Comprobación estiramiento: Se medirán los cables y su espesor para cerciorarse de que no se está estirando el cable. El espesor no debe reducirse de manera crítica pues puede dar lugar a una deformación plástica que finalice con una estricción (concentración de tensiones en zona con menor sección que genera un fallo catastrófico). Estas comprobaciones serán anuales o cuando una inspección visual levante un aviso.
17. Cambio de cables: Según indica el fabricante, los cables se cambiarán completamente cada cuatro años. Para esto se bloqueará la estructura y se irán retirando cada cable de manera independiente.

18. Limpieza: Se debe mantener una limpieza, sobre todo en elementos que vayan refrigerados por aire para permitir una máxima eficiencia de refrigeración y evitar un posible quemado.
19. Comprobación de soldaduras: Se realizará una inspección visual de las soldaduras y, en caso de que el técnico lo considere, un ensayo no destructivo (END) de líquidos penetrantes para comprobar que las soldaduras están en perfecto estado y no presentan fisuras ni poros. Tras las comprobaciones se pintarán o se pulirá y volverá a soldar para corregir el defecto.
20. Comprobación rectitud: Los railes pueden verse afectados por golpes que generen su deformación. Una deformación en el rail podría generar un descarrilamiento del carro y la caída del buque de su transporte. Para evitar esto se hará un control dimensional, referenciando las medidas a un punto de la grada y tomando distancias con un medidor láser. Si se comprueba una deformación en el rail se procederá a enderezar el mismo o a su cambio.

5.4.3 Propuestas de mejora.

Entre la amplia gama de propuestas de mejora posibles, se va a ahondar en aquellas que radiquen en una necesidad menor de mantenimiento, aunque existan sistemas más modernos que el proyectado, y una modernización completa de los sistemas de izado, transporte y control reduciría a la larga los gastos de mantenimiento, queda fuera del alcance de este trabajo ese estudio.

5.4.3.1 *Sistema de corriente impresa.*

Un sistema de corriente impresa podría resolver muchos de los posibles fallos que se generan en el Syncrolift de estudio. La corriente impresa funciona mediante la aplicación de una corriente eléctrica externa a la estructura metálica que se desea proteger. Este sistema se regula a si mismo, con lo que tiene un menor mantenimiento que, por ejemplo, los ánodos de sacrificio. Además, al no necesitar estar en un electrolito, cuando la plataforma se encuentre fuera del agua, el sistema de corriente impresa seguirá protegiendo a la estructura.

5.4.3.2 *Control de la humedad.*

Un sistema de control de humedad en los locales de servidores, compresor y cortes automáticos de corriente reducirían la posibilidad de corrosión y el llenado de agua por condensación durante la compresión de aire en el compresor. El sistema de control de humedad se puede hacer mediante un aire acondicionado que mantenga el ambiente controlado.

6. CONCLUSIONES

Como conclusiones a este estudio se puede determinar que el Syncrolift es un sistema que ha sentado las bases de una nueva forma de varar buques y aprovechar todo el espacio que dispone un astillero. Es el sistema que más rápido es capaz de elevar buques de gran tonelaje con un consumo de energía menor al de un dique seco.

La única forma en la que el Syncrolift perdure en el tiempo es a través de un elaborado plan de mantenimiento. El sistema que ha servido de inspiración para este trabajo queda lejos de realizar y registrar un mantenimiento que le permita reducir sus costes, por lo que se han propuesto mejoras tanto al mantenimiento preventivo, como a la detectabilidad y dos mejoras del sistema.

La conclusión final para cualquier lector de este trabajo debe ser que el desempeño y desarrollo económico y comercial de cualquier empresa está en la calidad del mantenimiento que se provea a cada uno de sus elementos. De nada sirve dedicar millones de euros en los sistemas más novedosos si no se dedica esfuerzo y tiempo en mantenerlos.

7. Bibliografía

[1], s.f. <https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:FRAGATABLINDADAINDEPENDENCIA02.jpg>. [En línea].

[10], s.f. <https://armada.defensa.gob.es/>. [En línea] Available at: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessubmarinos/prefLang-es/03s70--01galerna-s-71>

[11], s.f. <https://www.larazon.es/>. [En línea] Available at: <https://www.larazon.es/espana/20210724/cq4glsuftfgdblz34elz4a67za.html>

[12], s.f. <https://yachts.navantia.es/>. [En línea] Available at: <https://yachts.navantia.es/#hotspot-ancla>

[13], 2022. <https://www.superyachtnews.com/>. [En línea] Available at: <https://www.superyachtnews.com/business/pearlson-a-legacy-of-excellence>

[14], s.f. <https://www.tboake.com>. [En línea] Available at: <https://www.tboake.com/SSEF1/pin.shtml>

[15], s.f. <https://nekkar.com/>. [En línea] Available at: <https://nekkar.com/assets/pdfs/Syncrolift-Shipyard-Solutions.pdf>

[16], s.f. <https://nekkar.com/>. [En línea] Available at: <https://nekkar.com/assets/pdfs/Syncrolift-Shipyard-Solutions.pdf>

[17], s.f. <https://nekkar.com/>. [En línea] Available at: <https://nekkar.com/assets/pdfs/Syncrolift-Shiplifting.pdf>

[18], s.f. <https://www.youtube.com/>. [En línea] Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=TiDYH3p-B4Y>

[19], s.f. <https://nekkar.com/>. [En línea] Available at: <https://nekkar.com/assets/pdfs/Syncrolift-Shiplifting.pdf>

[2], s.f. jtintore.wordpress.com. [En línea] Available at: <https://jtintore.wordpress.com/2021/01/12/el-vapor-tintore-en-dique-flotante/>

[20], s.f. <https://nekkar.com/>. [En línea] Available at: <https://nekkar.com/assets/pdfs/Syncrolift-Shiplifting.pdf>

[21], s.f. <https://www.crossmorse.com/>. [En línea]
Available at: <https://www.crossmorse.com/es/nuestros-productos/engranajes/engranajes-conicos>

[22], s.f. <https://www.motor.mapfre.es/>. [En línea]
Available at: <https://www.motor.mapfre.es/consejos-practicos/consejos-de-mantenimiento/bomba-inyector-diesel/>

[23], s.f. <https://el-blog-del-taller-mecanico.repxpert.es/>. [En línea]
Available at: <https://el-blog-del-taller-mecanico.repxpert.es/blog/tecnologia/como-funciona-un-rodamiento-de-rueda/>

[3], s.f. <https://www.wartsila.com/>. [En línea]
Available at: <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/syncrolift>

[4], s.f. www.portofalaska.com. [En línea]
Available at: https://www.portofalaska.com/port_history/folio1/section2/1_2_84_156.pdf

[5], s.f. <https://www.shipyards.gr>. [En línea]
Available at: <https://www.shipyards.gr/shipyards/ship-repair-shipyards/shiprepairs-europe-med/spain/navantia-cartagena-dock-spain/print?tmpl=com>

[6], s.f. armada.defensa.gob.es. [En línea]
Available at: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/07medidas-contraminas--021-escuadrilla-mcm>

[7], s.f. <https://armada.defensa.gob.es>. [En línea]
Available at: https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenosnoticias/prefLang-es/00noticias--2016--01--NT-001-TAMBRE-es?_selectedNodeID=2436018&_pageAction=selectIte

[8], s.f. <https://armada.defensa.gob.es/>. [En línea]
Available at: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/12buques-investigacion-oceanografia--01buque-investigacion-oceanografica-hesperides>

[9], s.f. <https://armada.defensa.gob.es/>. [En línea]
Available at: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquessuperficie/prefLang-es/10buques-accion-maritima--01buque-accion-maritima-meteoro-p-41>

