

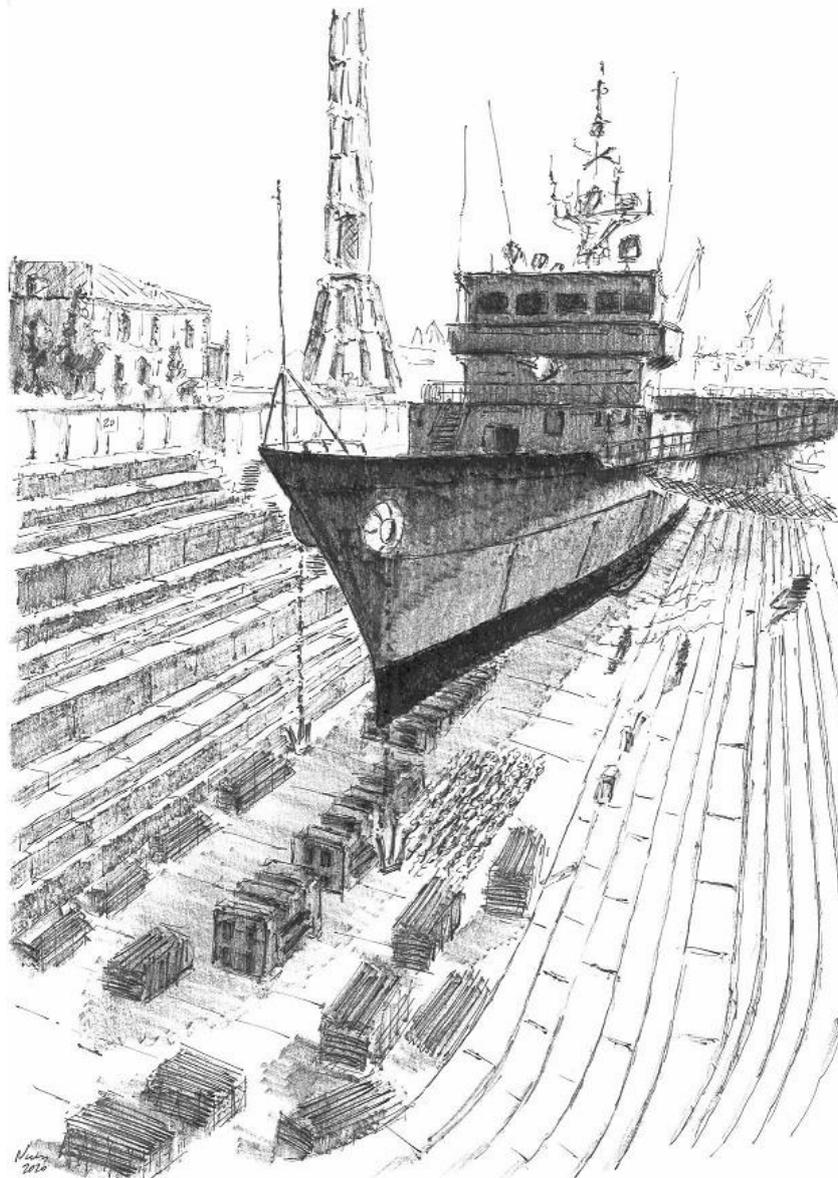


Escuela Técnica  
Superior de  
Ingeniería Naval  
y Oceánica



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

# PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE UN DIQUE SECO



**Autor: José Miguel Molero García**

**Director: D. Gregorio Munuera Saura**



**“Si crees que no puedes, es por eso que fallas.”**

Maestro Yoda, Star Wars



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1. Introducción .....	2
1.1. Estructura y objetivos del proyecto .....	2
<b>2. Sistemas de varada en astilleros</b> .....	<b>4</b>
2.1. Tipos de astilleros .....	5
2.2. Propiedades de los astilleros de reparación .....	6
2.3. Medios de varada. ....	7
2.3.1. Dique seco .....	8
2.3.2. Dique flotante .....	9
2.3.3. Synchronlift .....	15
2.3.4. Travel Lift .....	18
2.3.5. Varadero sobre rieles o vía de carena ferroviaria .....	20
<b>3. Dique Seco</b> .....	<b>23</b>
3.1. Historia del dique seco .....	24
3.2. Maniobra de entrada al dique seco .....	25
3.2.1. Inicio de la maniobra .....	26
3.2.2. Inundación .....	26
3.2.3. Apertura de compuertas .....	26
3.2.4. Remolque de la embarcación a la cámara del dique seco. ....	27
3.2.5. Servicio de buzos y secado del dique .....	29
3.3. Elementos que componen el dique seco .....	29
3.3.1. Compuerta del dique seco .....	29
3.3.2. Elementos estructurales del dique seco .....	36
3.3.3. Elementos dinámicos del dique seco .....	37
3.3.4. Sistemas de detección de fallos y mantenimiento en elementos estructurales y dinámicos .....	41
<b>4. Mantenimiento centrado en fiabilidad</b> .....	<b>48</b>
4.1. Introducción al mantenimiento .....	49
4.2. Metodología RCM .....	52
4.2.1. Herramienta FMECA .....	54
4.3. Realización del FMECA .....	60
4.3.1. Sistema de estudio: Dique Seco .....	60
4.3.2. Definición de las tablas de severidad, ocurrencia y detectabilidad .....	66
4.3.3. Realización de la hoja de trabajo .....	66
4.4. Análisis de resultados .....	69
4.5. Consideraciones y gamas de mantenimiento .....	72

4.5.1. Gamas de mantenimiento .....	73
4.5.2. Cronograma de la planificación del mantenimiento.....	77
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>80</b>
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>83</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación entre carga (TPM) y medio de varada.....	6
Tabla 2. Condiciones de estabilidad transversal.....	14
Tabla 3. Índices de severidad. ....	56
Tabla 4. Índices de ocurrencia.....	57
Tabla 5. Índices de detectabilidad. ....	57
Tabla 6. Índice de riesgo.....	59

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Dique seco en la Dársena de Cartagena, España.....	8
Ilustración 2. Dique flotante en el puerto de Hamburgo, Alemania.....	10
Ilustración 3. Tipos de diques flotantes según su diseño.....	12
Ilustración 4. Centro de carena en el plano diametral.....	13
Ilustración 5. Centro de carena fuera del plano diametral.....	13
Ilustración 6. Fases de varada en un dique flotante.....	14
Ilustración 7. Synchronlift en el astillero de Barcelona, España.....	15
Ilustración 8. Synchronlift del astillero Astican, en las Palmas, España.....	16
Ilustración 9. Muelles de soporte. Dársena de Cartagena, España.....	17
Ilustración 10. Travel Lift sobre ruedas transportando Yate.....	18
Ilustración 11. Buque saliendo del "pozo de elevación" mediante un travel lift.....	19
Ilustración 12. Grúa pórtico sobre ruedas.....	19
Ilustración 13. Grúa pórtico birrail.....	20
Ilustración 14. Varadero sobre rieles en el Salvador.....	21
Ilustración 15. Dique seco donde se construyó el Titanic, en Belfast, Irlanda.....	25
Ilustración 16. Remolcado de la compuerta.....	27
Ilustración 17. Buque realizando la maniobra de entrada al dique.....	27
Ilustración 18. Buque varado con puntales.....	28
Ilustración 19. Compuerta flotante o barco puerta.....	31
Ilustración 20. Compuerta de bisagra.....	32
Ilustración 21. Casco de un buque con una gran capa de incrustaciones marinas.....	33
Ilustración 22. Funcionamiento de un ánodo de sacrificio.....	34
Ilustración 23. Compuertas de inundación.....	38
Ilustración 24. Bomba centrífuga.....	39
Ilustración 25. Situación de las bombas en el dique seco.....	40
Ilustración 26. Casa de bombas del dique seco de Belfast, Irlanda.....	40
Ilustración 27. Ejemplo de posibles grietas encontradas en elementos estructurales del dique.....	41
Ilustración 28. Acelerómetro.....	42
Ilustración 29. Cámara termográfica.....	43
Ilustración 30. Detección de fugas en tuberías mediante pruebas acústicas.....	44
Ilustración 31. Acoplamiento entre la bomba y el motor.....	47
Ilustración 32. Concepto de disponibilidad. Fuente: TFM: “Análisis del coste operacional y de gestión de mantenimiento de un RO-PAX”, Jennifer Cruz Díaz.....	50

Ilustración 33. Parámetros que conforman la Fiabilidad Operacional. “Curso RCM” (2020) .....	51
Ilustración 34. Mejora continua.....	52
Ilustración 35. Ejemplo de matriz de criticidad. “Curso RCM” (2020).....	53
Ilustración 36. Ejemplo de hoja de trabajo.....	59
Ilustración 37. Elementos del barco puerta .....	61
Ilustración 38. Medidas de la compuerta.....	62
Ilustración 39. Bomba de achique para el lastre del barco puerta .....	62
Ilustración 40. Tipo de bomba elegida .....	63
Ilustración 41. Instalación de la bomba en la casa de bombas .....	64
Ilustración 42. Desglose de los elementos de la bomba .....	64
Ilustración 43. Dique seco en un astillero del País Vasco. ....	66
Ilustración 44. Matriz de riesgo.....	67
Ilustración 45. Ejemplo de trabajo con la matriz de riesgo .....	68
Ilustración 46. Matriz de criticidad .....	68
Ilustración 47. Distribución de pestañas en el Anexo 2 – Matrices de riesgo y criticidad. ....	68
Ilustración 48. Resultados de la matriz de riesgo .....	69
Ilustración 49. Resultados de la matriz de criticidad.....	71
Ilustración 50. Mantenimientos recomendados .....	73
Ilustración 51. Gama Semanal.....	74
Ilustración 52. Gama 6 meses.....	74
Ilustración 53. Gama Anual.....	75
Ilustración 54. Gama 2 años .....	76
Ilustración 55. Gama 3 años .....	76
Ilustración 56. Gama 5 años .....	77
Ilustración 57. Distinción de gamas en el cronograma.....	78
Ilustración 58. Cronograma de planificación del mantenimiento.....	78
Ilustración 59. "Symphony of the Seas" en el puerto de Navantia en Cádiz.....	82



# **1. Introducción**

# **1. Introducción**

Dentro de los astilleros de reparaciones, el dique seco se ha convertido desde hace cientos de años en un elemento fundamental para la varada y posterior reparación de cualquier buque u artefacto marino, desde cargueros o cruceros, hasta los submarinos más modernos.

Es por ello que resulta de vital importancia para el astillero como empresa, que esta gran infraestructura y sus equipos asociados se presenten en condiciones óptimas cuando sea necesario para recibir entre sus paredes a aquel que necesite ser reparado, o bien construido en el propio dique seco. Si existen deficiencias o complicaciones en las maniobras de entrada o salida al dique por un mal mantenimiento de los sistemas, el tiempo de estancia del buque en puerto aumentará, lo que traerá consigo aumento de costes o bien no generar imagen de buen competidor en el mercado de cara a posibles nuevos armadores.

## **1.1. Estructura y objetivos del proyecto**

Este trabajo final de grado tratará de estudiar en primer lugar, los diferentes tipos de diques de reparación que se utilizan en la actualidad, su funcionamiento y características principales. Pues además del dique seco, que es el centro de este estudio, también existen otro tipo de diques, los cuales operan de manera diferente. Siendo utilizado cada uno de ellos en función principalmente del tipo de buque con el que se trabaja, así como del espacio en cuanto a instalaciones se refiere con las que cuenta el astillero.

Posteriormente y centrandolo en el dique seco en concreto, se verá el gran recorrido y progresión que ha tenido este tipo de construcciones a lo largo de la historia. Hallándose grandes infraestructuras en épocas griegas o fenicias que bien podían ser definidas como “diques secos” a día de hoy. Se verán los elementos que componen un dique seco y el funcionamiento del mismo en la actualidad, centrándose sobre todo en los elementos que lo componen, desde la compuerta como elemento fundamental, hasta tuberías y otros elementos dinámicos encargados de realizar las maniobras de achique o entrada de agua al dique. Posteriormente se enlazará esta descripción de los elementos que componen el dique con aquellos modos de fallo, o posibles problemas que se puede encontrar en un dique seco y sus sistemas asociados y las soluciones o modos de detección de fallos que se puedan plantear.

Todo ello, finalizará con la búsqueda del objetivo fundamental del proyecto, como es el diseño del plan de mantenimiento con el que se consiga que el dique seco sea una estructura confiable y productiva siempre que se requiera. Para ello se introducirá la metodología RCM, en qué consiste, y cómo se puede aplicar en la planificación del mantenimiento a través de su representación numérica y gráfica gracias a la herramienta FMECA. Ésta permitirá por medio de matrices e índices obtener unos resultados objetivos a partir de los cuales, se podrá realizar un análisis de los mismos, se explicarán los tipos

de mantenimientos que se recomiendan implantar para el correcto funcionamiento de la infraestructura y sus sistemas, basándose en parte en criterio personal y en parte en los conocimientos adquiridos durante mi estancia como becario en el departamento de obra civil, mantenimiento y servicios, en el astillero de Cartagena. Diseñando así un plan con gamas de mantenimiento que permita al astillero gestionar de la forma más óptima posible sus recursos y lograr así el objetivo primero: la varada y reparación de embarcaciones, sean del tipo que sean, de forma efectiva y sin dificultades.

## **2. Sistemas de varada en astilleros**

## 2.1. Tipos de astilleros

El astillero se define como el espacio en el cual se lleva a cabo la construcción o reparación de embarcaciones o artefactos flotantes. La mayoría de astilleros dedican su actividad e instalaciones a la construcción y otra parte a la reparación de aquellos, estando estas dos líneas de negocio separadas y especializadas en su actividad económica principal. Por lo tanto, se pueden distinguir dos tipos de astilleros:

- Astilleros de reparación
- Astilleros de construcción

Los astilleros de reparación centran su actividad empresarial en la reparación de embarcaciones o artefactos flotantes. Dado el amplio abanico de tipos de embarcaciones que existen en la actualidad, este tipo de astilleros se especializan en un tipo concreto de embarcación, o bien, en un grupo parecido de estas. Aunque también es importante destacar, que existen astilleros que, aunque de manera separada dentro del mismo, sí que acogen buques de diferentes características, a efectos prácticos podría explicarse como dos astilleros diferentes dentro del mismo.

Ahora bien, centrando el estudio en aquellos que solo acogen un tipo de embarcación se puede decir que el motivo de ello, es que es muy complicado y poco atractivo para el cliente como ahora se explicará, tener un astillero de reparación que abarque diferentes tipos de buques, tanto por la formación del personal, como de los equipos necesarios para llevar tan diferentes tipos de reparaciones. Por ejemplo, no tiene nada que ver la reparación de submarinos con la de grandes buques graneleros. Para el cliente, así como para el astillero como tal, resulta más conveniente centrarse en un tipo concreto de embarcación o de similares características, pues esto permitirá adquirir el grado de experiencia necesario, así como los equipos adecuados para realizar la reparación de la forma más óptima y generar al mismo tiempo confianza en el cliente.

De forma genérica podemos distinguir tres tipos de astilleros de reparación, en función del tipo de buques que allí recalán:

- Astilleros de reparación de buques militares.
- Astilleros de reparación de buques de recreo o varaderos, si son pequeñas embarcaciones.
- Astilleros de reparación de buques comerciales.

Los astilleros de construcción centran su línea de negocio en la construcción de las embarcaciones o artefactos flotantes. Por los mismos motivos que en los astilleros de reparación, es conveniente que, por la complejidad que conlleva la construcción de una embarcación, tanto a nivel técnico como a nivel operativo, el astillero de construcción se centre en un tipo concreto de buque, o de características similares.

## 2.2. Propiedades de los astilleros de reparación

Las propiedades o características de un astillero se definen como aquellos datos, intereses comerciales o valores sobre el buque a reparar, que el armador valora en el momento de la elección de un astillero de reparación u otro. Se pueden destacar como alguna de estas propiedades las siguientes:

- Localización del astillero
- Tamaño de las instalaciones
- Datos técnicos de los equipos
- Capacidad de puesta en seco

Si se clasifican los tipos o medios de varada en función de las toneladas de peso muerto (TPM), es decir, los pesos que transporta el buque, incluyendo cargamento, combustible, provisiones, agua de lastre, tripulación y sus equipajes, se establecen las siguientes relaciones:

<b>&lt; 20.000 TPM</b>	<b>Varaderos</b>
	<b>Diques Secos</b>
	<b>Diques Flotantes</b>
	<b>Synchrolift</b>
	<b>Travel Lift</b>
<b>20.000 - 100.000 TPM</b>	<b>Diques Secos</b>
	<b>Diques Flotantes</b>
	<b>Synchrolift</b>
<b>&gt; 100.000 TPM</b>	<b>Diques Secos</b>

*Tabla 1. Relación entre carga (TPM) y medio de varada.*

Cabe destacar la importancia que tiene la localización del astillero para competir en el mercado llamando la atención del cliente por las comodidades que pueda ofrecer, así como la ventaja enorme que supone no realizar desplazamientos innecesarios que supondrían gastos extras considerables. Es por ello que se pueden nombrar una serie de requisitos o premisas importantes a tener en cuenta en cuanto a la ubicación del astillero se refiere:

- En litorales donde exista alta actividad marítima como la pesca.
- Cerca de zonas donde existan ríos o canales y el dragado sea una actividad necesaria y periódica.
- En ríos interiores con una gran afluencia de navegación interior.
- Terminales de carga y descarga de derivados de crudo.
- En zonas de tránsito de las mayores rutas de navegación o en las proximidades de las mismas.
- En localidades o ciudades que tengan un importante entorno industrial capaz de abastecer al astillero de equipos, materiales o mano de obra necesaria en momentos puntuales o en el día a día.

## 2.3. Medios de varada.

Los medios de varada son aquellos elementos o sistemas fundamentales para llevar a cabo la tarea de reparación, o mantenimiento del buque. Dentro del proyecto de construcción de un astillero de reparación, es la infraestructura de mayor importancia, y la definición de su tipo y dimensiones son las que determinan cómo estará organizado el astillero y sus equipos e instalaciones. Todo esto hace que sea el elemento que supone la mayor inversión en la proyección de un astillero de reparación.

Esta gran inversión conlleva que los costes por su uso sean muy elevados para armadores y es por ello que éstos, intentan que en la medida de lo posible sus buques no tengan que pasar por ellos periódicamente o bien siempre y cuando no sea completamente necesario, reparando a flote, o incluso en reparaciones menores, durante la navegación.

Desde el punto de vista del astillero, como ya se comentó en la introducción, resulta vital conseguir que todos los equipos y sistemas que componen el medio de varada estén disponibles y funcionando correctamente en todo momento. Si se llega a alcanzar este objetivo, se conseguirán minimizar los tiempos o periodos de inundación, tener unos medios adecuados de acceso al buque (plataformas, andamios...) y de elevación (grúas, ...), recursos que faciliten y reduzcan tiempos en la entrada y salida del buque, etc. En definitiva, se reduciría el tiempo de estancia del buque en puerto pudiendo así acoger un mayor número de buques en el menor tiempo posible, lo que hará que resulte más rentable y, en consecuencia, se pueda competir en el mercado abaratando los precios.

Para la correcta elección y diseño del medio de varada a proyectar, hay que tener en cuenta una serie de condicionantes, que junto al aspecto económico determinarán el medio óptimo para la actividad económica que se pretenda llevar a cabo en el astillero. Entre esos condicionantes o características se pueden nombrar los siguientes:

- Tipo de embarcaciones a reparar.
- Facilidad o no de maniobrar del buque antes de entrar en el medio de varada, condicionado por el entorno geográfico.
- Lugar en el que se proyecte el medio de varada dentro del astillero. Es decir, la superficie ocupada por esta gran infraestructura será diferente en función del tipo de medio de varada elegido. Todos ellos, ya sea dique seco, dique flotante o syncrolift, serán de grandes dimensiones, pero hay que ser conscientes de que, cuando un buque entre al mismo, alrededor del medio de varada debe haber suficiente espacio como para que se pueda trabajar con comodidad con medios de gran envergadura como grúas de alto tonelaje, etc. Por ello se debe elegir muy bien el lugar dentro del astillero, que cumpla a su vez con las facilidades para poder acceder desde el mar para el buque.
- Ligado con el punto anterior, debe existir la posibilidad de conexión tanto de electricidad como los fluidos que sean necesarios, y que estas conexiones puedan llegar a todos los puntos del medio de varada. Todo ello teniendo en cuenta que la posición del buque con respecto al medio de varada, podrá variar en función del tipo de buque o tipo de medio, por tanto, las tomas deberán estar correctamente situadas.

### 2.3.1. Dique seco

En este apartado se definirá de forma general los aspectos más destacables del dique seco, dejando para el apartado tercero, la profundización en este medio de varada, el cual es el centro del estudio de este trabajo.

Se puede definir el dique seco como una gran dársena rectangular excavada bajo el nivel del suelo, revestida de hormigón y acero con dos paredes laterales verticales, una pared frontal o cabecera, un piso o solera, donde están colocados los picaderos centrales y laterales, también llamados picaderos de pantoque y que está separado de las aguas adyacentes del puerto, mediante una compuerta o barco puerta.



*Ilustración 1. Dique seco en la Dársena de Cartagena, España.*

Una vez abiertas las compuertas del dique, el nivel del agua en el interior se iguala con el exterior y el buque es remolcado hacia el interior del mismo para su varada sobre los picaderos. En las inmediaciones del dique, se encuentra la cámara de bombas, las cuales se encargan de vaciar el dique por medio de las bombas de achique una vez que el buque se haya situado correctamente sobre los picaderos. Para este proceso es común ver

a buzos que se encargan de confirmar que efectivamente el buque se encuentra en la posición correcta. Por su parte las bombas menores se encargarán de mantener el nivel freático (aquel donde se encuentran acumulaciones de agua subterránea que podrían causar problemas estructurales en el dique) y las aguas pluviales bajo control cuando el dique se encuentra vacío. Este procedimiento se revertirá para la desvarada del buque.

El avance en la tecnología de los buques modernos como, por ejemplo, la inclusión de la propulsión nuclear, sistemas electrónicos, radares, junto con el crecimiento en el tamaño de los mismos y la integración de apéndices en el casco del buque, han propiciado la modernización, ampliación y construcción de diques especiales para albergar todo tipo de casuísticas.

Ahora bien, como se diferenciaba al inicio de este apartado segundo entre astilleros de reparación y astilleros de construcción, son diferentes las tareas y equipos que requiere cada uno de ellos. Años atrás, los diques se utilizaban exclusivamente para reparaciones, dejando a las gradas de botadura como el espacio en los astilleros de construcción para tal fin, la construcción.

Sin embargo, en la actualidad, el desarrollo y construcción de enormes diques, así como los avances de las grúas de gran capacidad, permiten movilizar secciones del buque y terminar de ensamblarlas directamente en el dique, adquiriendo así el dique seco la capacidad de espacio para la construcción. Además, algunos diques cuentan con el suficiente espacio para albergar dos actividades a la vez, reparar en un lado y construir en el otro.

Por tanto, es evidente que la inversión inicial del astillero para construir este tipo de infraestructura es muy elevada, sin embargo, debido a la gran durabilidad de la estructura y el mantenimiento no muy complejo que conlleva como después se verá, es económicamente factible y rentable a largo plazo.

Además, la operación de varada y desvarada no es algo que suponga una gran dificultad para el personal encargado de estas acciones, debido al gran espacio que se tiene alrededor de estos diques. De hecho, en muchos de estos diques, se instalan una serie de “raíles” en las paredes del dique, por los que se llevan los cabos en la maniobra de varada o desvarada, lo que permite mantener la embarcación centrada, mejorando así el control sobre la misma y reduciendo el esfuerzo por parte de los operarios y en consecuencia el tiempo de operación. Lo cual como ya se ha explicado, será junto con la reparación o construcción del buque de manera correcta, el mayor objetivo del astillero.

### **2.3.2. Dique flotante**

El dique flotante basa su funcionamiento en la fuerza del empuje del agua para acometer las varadas o desvaradas. Más adelante se estudiará con algo más de detalle los pasos que se dan en la operación de varada, entendiendo así el papel que tiene el empuje del mar para este tipo de diques.

Como se vio en el punto anterior, el dique seco supone una de las mayores inversiones dentro del astillero, probablemente la que más, debido a sus grandes

dimensiones, entre otros requerimientos. El dique flotante a diferencia no tiene por qué tener una posición fija dentro del astillero, y de hecho se puede trasladar a cualquier punto del mismo donde sea necesario. De esta forma se puede llevar a un lugar que tenga el francobordo correspondiente para albergar buques de diferentes calados y tamaños.



*Ilustración 2. Dique flotante en el puerto de Hamburgo, Alemania*

### **2.3.2.1. Historia del dique flotante**

Según Policarpio Alfonso Machado C. en “Operaciones de varada, estadía y desvarada en diques secos”, el dique flotante tiene su inicio en Rusia, durante el reinado del Zar, Pedro el Grande, por el año 1700. Según relatan los historiadores, uno de los buques anclados en la costa del mar Báltico, necesitó de una urgente reparación, su capitán decidió comprar una vieja barcaza, modificó su interior y le acomodó una puerta en un extremo y dejando abierta la compuerta, llenó de agua la barcaza. Luego, introdujo el buque dentro de la barcaza, cerró la compuerta y achicó el agua del interior de la barcaza para poder realizar la operación. También se conoce el caso del inventor Christopher Watson en 1785, el cual obtuvo una patente para trabajar con una estructura muy parecida a la del dique flotante.

Existen otros casos posteriores a lo largo del mundo como en Portsmouth, Estados Unidos donde se construyó un dique con 350 pies de eslora, 105 pies de manga y con paredes laterales de 36 pies, o en Philadelphia, ambos a mediados del siglo XIX. Por esta época, las máquinas de vapor ya eran las encargadas de accionar las bombas de achique de los diques. Siguiendo en Estados Unidos, en la costa oeste se construyó y entró en operación el primer dique flotante en el año 1854.

También existieron casos durante la segunda guerra mundial, demostrando aquí el factor diferencial de los diques flotantes, su versatilidad, ya que se remolcaba el propio dique al lugar donde se encontraba el buque, incluso se conocen casos de buques

reparados en medio del océano a través de este sistema. El libro de Norman Polmar “The Naval Institute Guide to the Ships and Aircraft of the US Fleet, 18th Edition”, muestra datos de buques estadounidenses que eran construidos en secciones, transportados al lugar de operación para ensamblarlos. Se habla de diques de 10 secciones con capacidades de 90.000 toneladas y también diques de 3 piezas con capacidades entre 14.000 y 18.000 toneladas.

En la actualidad, se están construyendo diques, como el de Portland, Oregon, en Estados Unidos, conocido con el nombre de “The Vigorous”, con una capacidad de 80.000 toneladas, 293 metros de eslora y 57 metros de manga, llevándose a cabo la operación de secado de su plataforma de varada en 2,5 horas, conociéndose, así como el dique flotante más grande de Estados Unidos.

### **2.3.2.2. Partes del dique flotante**

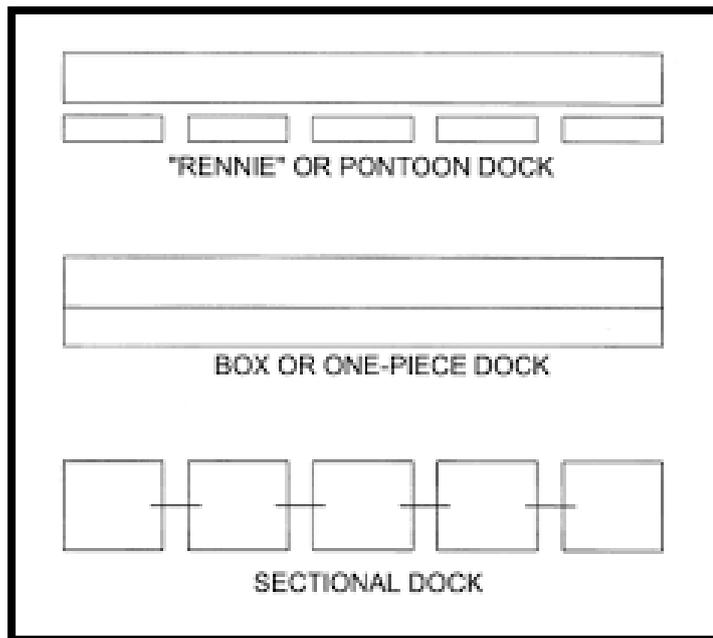
Las partes principales que componen los diques flotantes son:

- Pontones: Es aquella estructura que se situaría por debajo del casco del buque. Otorga la capacidad de levante del dique, desplazando el peso del buque y de dique en su conjunto. Estos distribuyen la carga concentrada del buque a lo largo del centro del dique por el efecto del empuje hidrostático. Poseen grandes tanques de lastre que permiten el hundimiento del dique, para que posteriormente entre el buque y se sitúe sobre la plataforma de varada. A continuación, se bombea el lastre para sacar fuera del agua la embarcación. Para levantar el buque de manera adecuada, sin escora o adrizado, la fuerza de empuje que se produce al eliminar el lastre, ocasiona una fuerza igual y de sentido opuesto a la distribución de todo el peso del buque y de su centro de gravedad.
- Muros laterales: Los muros laterales forman la estructura longitudinal que genera la estabilidad cuando los pontones comienzan a sumergirse. Así mismo, ayuda en gran medida a la resistencia longitudinal necesaria para la distribución irregular del peso del buque en oposición a la fuerza uniforme del empuje.

### **2.3.2.3. Tipos de diques flotantes**

Los diques flotantes se pueden clasificar por su diseño en tres tipos diferentes:

- Diques de pontones o “Rennie”
- Diques tipo cajón o de una sola pieza
- Diques Seccionados



*Ilustración 3. Tipos de diques flotantes según su diseño*

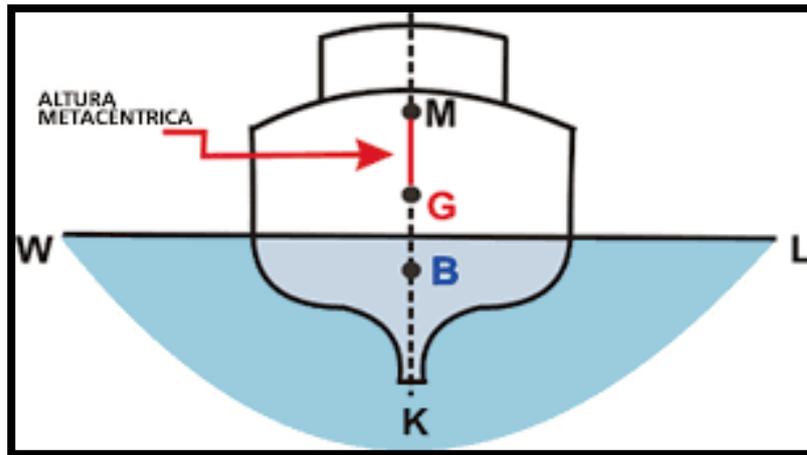
Diques de pontones o “Rennie”: Estos diques se componen de una estructura de paredes laterales continuas no seccionadas mientras que los pontones son secciones independientes y extraíbles, permitiendo así varar cada sección de pontón a la vez para su mantenimiento, separando el uno del otro.

Diques tipo cajón: Estos están contruidos en una sola pieza, teniendo la estructura de pontones y paredes continua. Debido a esta estructura continua, tienen mejor resistencia longitudinal, y no podría ser auto varado, como el tipo Rennie.

Diques seccionados: Este tipo de diques se construye en secciones. Sus pontones y paredes están unidos por planchas en la parte superior e inferior de las paredes. El funcionamiento es similar al de los diques tipo cajón, con la diferencia en que los diques seccionados, se tiene la posibilidad de auto varar cada una de sus secciones.

#### **2.3.2.4. Conceptos básicos de la estabilidad transversal**

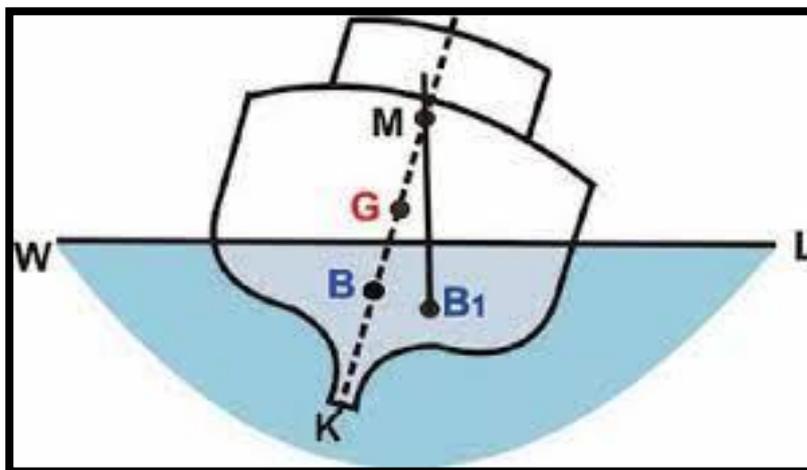
Antes de comenzar con la descripción de las fases de funcionamiento del dique flotante, conviene recordar los conceptos básicos de estabilidad transversal del buque, ya que serán necesarios para comprender lo que está ocurriendo en cada una de las fases de varada del buque. Este apartado es de aplicabilidad dentro de la varada del dique seco.



*Ilustración 4. Centro de carena en el plano diametral*

La primera condición básica para que un buque se mantenga en equilibrio es que la fuerza resultante de su peso, que actúa en el centro de gravedad (G) y en dirección hacia abajo, y la resultante de la fuerza de empuje que actúa hacia arriba aplicada en el centro de carena (B) deben estar en la misma línea vertical.

Cuando se altera este equilibrio y el buque se inclina transversalmente, por el efecto de alguna fuerza exterior, el centro de carena se mueve de su posición inicial y queda en una nueva posición (B<sub>1</sub>), de tal forma que interseca al plano diametral en un punto conocido como metacentro (M).



*Ilustración 5. Centro de carena fuera del plano diametral*

La medida de la estabilidad transversal depende de la distancia entre el metacentro y el centro de gravedad, conocida como altura metacéntrica (GM). Cuanta mayor sea esta distancia más rápido será el retorno del buque a su posición de equilibrio, y cuanto menor sea más lentos serán los balanceos del buque. Por tanto, se deduce que cuanto mayor sea la altura metacéntrica, mayor será la estabilidad del buque.

Ahora bien, para la determinación de la altura metacéntrica (GM), habrá que obtener primero de las curvas hidrostáticas o cuadernillo de estabilidad, las distancias KM y KG, siendo K el punto donde se encuentra la quilla. Por tanto, GM será:

$$GM = KM - KG$$

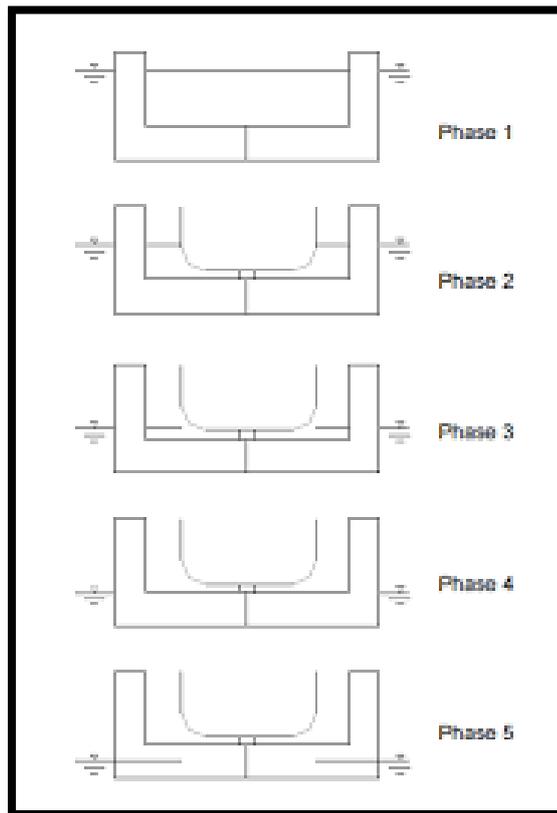
Una vez conocida la altura metacéntrica (GM) y su definición, se podrán dar una serie de premisas para considerar si el buque se encuentra en una posición de estabilidad o, por el contrario, se encuentra inestable:

Buque Estable	$GM > 0$	$KM > KG$
Buque Inestable	$GM < 0$	$KM < KG$
Buque Indiferente	$GM = 0$	$KM = KG$

*Tabla 2. Condiciones de estabilidad transversal*

### 2.3.2.5. Funcionamiento

Una vez conocidos los conceptos básicos para comprender la estabilidad transversal en buques, se van a describir las diferentes fases para llevar a cabo la varada utilizando como medio de varada el dique flotante según describe Policarpio Alfonso Machado C. en “Operaciones de varada, estadia y desvarada en diques secos”. Esta operación constaría de cinco fases, tal y como se observa en la ilustración 6:



*Ilustración 6. Fases de varada en un dique flotante*

- Fase 1: El dique se encuentra sumergido a la profundidad suficiente de acuerdo a los calados del buque, respetando la distancia que se requiera entre la quilla y los picaderos del buque. La altura metacéntrica (GM), es elevada y se considera estable la situación del dique.

- Fase 2: Las bombas comienzan a deslastrar el dique, comenzando a levantar levemente el buque. La altura metacéntrica (GM) debe mantenerse positiva mientras se asienta el buque correctamente sobre los picaderos.
- Fase 3: En esta fase, el dique soporta su propio peso más aproximadamente el 50% del peso de la embarcación, por tanto, KG se aproxima a su máximo valor.
- Fase 4: La línea de flotación se encuentra aproximadamente en el mismo nivel de los pontones. En esta fase el buque se encuentra con la mínima estabilidad, ya que, al achicarse el plano de agua, se reduce la estabilidad del sistema combinado dique – buque.
- Fase 5: La plataforma con el dique sobre los picaderos emerge del agua hasta llegar al francobordo de operación normal del dique. Los pontones se encuentran parcialmente fuera del agua y aumenta la altura metacéntrica (GM).

### 2.3.3 Synchronlift

El Synchronlift o elevador vertical de buques está compuesto por una plataforma que se suspende a través de motores sincronizados anclados a dos muelles de hormigón en ambos lados de la plataforma.

Sobre la plataforma se encuentran varias líneas de rieles por donde circulan los carros varaderos, con los picaderos dispuestos según la forma del buque a varar. Inicialmente los motores hacen descender la plataforma junto con los carros varaderos. Una vez colocado el buque en la posición correcta y mediante la acción de unos elementos conocidos como guinches, que son elementos hidráulicos o eléctricos, encargados de levantar pesos, los cuales están conectados a la fuerza motriz sincronizada, asciende la plataforma junto con el peso del buque y los carros varaderos.



*Ilustración 7. Synchronlift en el astillero de Barcelona, España*

### 2.3.3.1. Historia del Synchrolift

Según Policarpio Alfonso Machado C. en “Operaciones de varada, estadía y desvarada en diques secos”, los medios de varada conocidos como Synchrolift, son una creación del Arquitecto Naval, Raymond Pearlson. Quien ideó un primer prototipo en Miami, Florida en 1957 y utilizado para la construcción y reparación de los yates Bertram, que es una internacionalmente conocida fabricante de yates.

Actualmente, el sistema se encuentra en operación en diversos países, con capacidades que van desde los 100 hasta las 10.000 toneladas de peso muerto. Entre los más grandes se encuentra el de las Palmas en las Islas Canarias, España, con una plataforma de 172 metros de longitud y 30 metros de ancho, operado con 64 motores sincronizados y un sistema de transferencia de buques, con un área de carena capaz de acomodar 15 embarcaciones a la vez.



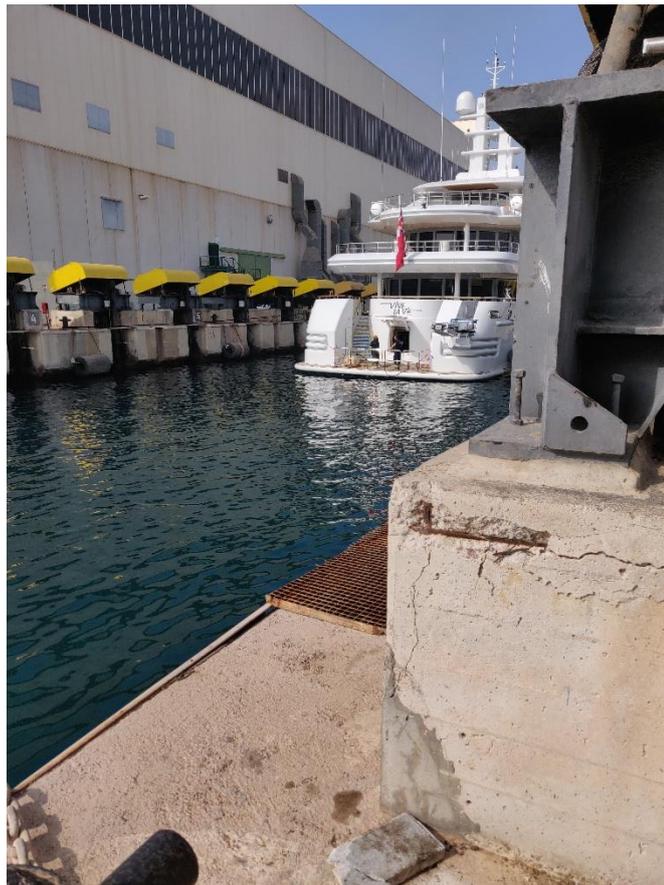
*Ilustración 8. Synchrolift del astillero Astican, en las Palmas, España.*

### 2.3.3.2. Partes y funcionamiento del Synchrolift

El sistema se compone de seis elementos principales que se describen a continuación:

- Mecanismo de levantamiento: No es un elemento como tal, pero engloba todo el sistema de alzamiento de la plataforma, que se realizará gracias a los cinco elementos siguientes. Consiste en varios motores eléctricos, el número dependerá del tamaño de la infraestructura, sincronizados y manejables mediante un panel de control. Éstos hacen girar un tambor donde van enrollados los cables de acero que levantan las vigas de la plataforma.
- Motores eléctricos sincronizados.

- Sistema de control Atlas: Se trata de un ordenador que recibe y analiza los datos proporcionados por los sensores instalados en las vigas de la plataforma. De tal forma que, si el operador considera que debe corregir cualquier incidente que se produzca durante la operación, podrá hacerlo desde la estación de control dedicada a tal fin.
- Muelles de soporte: Son muelles situados a los lados de la plataforma, y que sirven como soportes para los motores. Además, se consideran parte del área de trabajo ya que, sobre ellos se colocarán distintos aparejos y transitará el personal durante las maniobras.



*Ilustración 9. Muelles de soporte. Dársena de Cartagena, España.*

- Plataforma de izamiento: La plataforma está formada por un conjunto de vigas transversales y longitudinales de acero. Las vigas mayores tienen en ambos extremos unas poleas que van conectadas a los cables de izamiento enrollados en los chigres que se accionan con motores eléctricos.
- Sistemas de traslado: Los extremos de los rieles de la plataforma se unen con los rieles del patio de aparcamiento mediante secciones de rieles cortos. Esta zona de unión entre rieles cortos y plataforma es especialmente vigilada debido al hundimiento que se pudiera producir cuando el buque pasa de una zona a la otra. Desde la caseta de control se realizan ajustes continuamente según van avanzando los carros de la plataforma con el buque hacia tierra firme, para evitar posibles situaciones donde se excede el límite elástico del material, pudiendo iniciarse una sobrecarga sobre el sistema de apoyo.

### 2.3.4. Travel Lift

El travel lift o grúa pórtico es un tipo de grúa que ayuda a mover, trasladar y varar barcos por el astillero y también moverlos dentro del agua, para poder realizar diferentes trabajos de mantenimiento o reparación al momento. Por su capacidad de elevación (hasta 1.200 toneladas, aunque suelen ser de menor capacidad), es común que este tipo de sistema se encuentre sobre todo en puertos deportivos. Por lo general, levantan cargas a alrededor de 1 metro/minuto y se pueden conducir a velocidades de hasta 40 metros/minuto.



*Ilustración 10. Travel Lift sobre ruedas transportando Yate*

El travel lift consta de una serie de “cinturones” que abrazan el buque sin dañar la estructura ni generar ningún desperfecto sobre el mismo. Estos cinturones se ayudan de un sistema hidráulico que permite elevar el buque hasta una altura determinada que permita poder desplazar el mismo por las instalaciones sin peligro de dañar el casco.

Por lo general, el buque se desplaza hasta una zona llamada “lifting well” o bien “pozo de elevación”, que sería como una piscina abierta por un lado y que permite desplazar el travel lift por los laterales, lo cual permite que se puedan colocar los “cinturones” o eslingas alrededor del barco en la posición correcta, pudiendo así empezar a elevar el mismo.

Las vigas de acero que componen la estructura de este sistema, están conectadas entre sí mediante articulaciones lo que hace que se elimine el estrés que sufre la estructura al llevar elevada la embarcación y sufrir movimientos ocasionados por los posibles baches

o condiciones adversas meteorológicas que se puedan encontrar en el trayecto durante la operación de desplazamiento de la embarcación dentro de las instalaciones.



*Ilustración 11. Buque saliendo del "pozo de elevación" mediante un travel lift*

Este tipo de grúas pueden tener diferentes variantes en función de la forma de desplazamiento de las mismas:

- Grúas pórtico sobre ruedas: En este caso el desplazamiento del conjunto se realiza sobre unas ruedas lo que permite un manejo más eficiente y sencillo para poder moverse por el astillero.



*Ilustración 12. Grúa pórtico sobre ruedas*

- Grúa pórtico birrail: En este caso la capacidad de elevación es mayor que con el resto de tipos de grúas pórticos debido a sus dos vigas principales que van unidas entre sí y que son las que se desplazan por el raíl localizado en un punto estratégico que permita mover el buque la mayor distancia posible dentro del astillero. La desventaja frente a la grúa sobre ruedas es que tiene menos libertad de movimiento, únicamente la que los rieles ofrezcan.



*Ilustración 13. Grúa pórtico birrail*

### **2.3.5. Varadero sobre rieles o vía de carena ferroviaria**

El varadero sobre rieles es una plataforma mediante la cual el buque se desliza hacia el agua debido a la pendiente de aquella, la cual está provista de rieles. En los laterales hay dos paredes que bordean la plataforma de varada y sobre estas, existe una serie de pasarelas con bitas para el amarre de los cabos. La plataforma sube y baja sobre los rieles, mediante la fuerza de motores eléctricos conectados a una serie de cadenas entrelazadas en unas poleas.

Este sistema utiliza el mismo funcionamiento que las plataformas elevadoras de buques como ya se ha visto. La diferencia entre este sistema y el sistema elevador, como el synchrolift que se describía anteriormente, es que en este caso la estructura de varada permanece sobre el suelo, mientras que en el synchrolift sube y baja con la ayuda de cables y cadenas que la mantienen sin apoyo ninguno.



*Ilustración 14. Varadero sobre rieles en el Salvador*

### **2.3.5.1. Historia del varadero sobre rieles**

Según Policarpio Alfonso Machado C. en “Operaciones de varada, estadía y desvarada en diques secos”, el origen de los varaderos sobre rieles se remonta a la época de los antiguos cartagineses, los cuales carenaban sus buques de manera parecida. También parece ser algo parecido a este sistema, lo descrito en la obra “el banquete de los Sofistas”, del escritor griego Ateneo.

Como se puede apreciar, este sistema posee una gran importancia histórica. Nombrando los casos más significativos y en años relativamente más recientes se puede encontrar en Estados Unidos varaderos como el de Ontario, Canadá que data del año 1840. También se puede nombrar otro caso en el año 1859, donde ya funcionaban con máquinas de vapor. Además, cabe destacar que según el ensayo “An introduction to Railway DryDocks and Transfer Systems”, se construyeron más de 180 varaderos sobre rieles en América y en el extranjero, por la compañía W. H. Crandall e Hijos, pioneros en este tipo de diques. Esta compañía siguió construyendo diques a lo largo del mundo, aumentando sus capacidades llegándose a encontrar algunos casos con capacidades de 2.000 a 3.000 toneladas, además de la construcción de diversos diques flotantes.

### **2.3.5.2. Elementos que componen los varaderos sobre rieles**

Las partes que componen el varadero sobre rieles inclinados son las siguientes:

- Plataforma con paredes laterales. La plataforma, junto con la cuna de picaderos sube y baja a través de los rieles mediante los ganchos que sostienen la embarcación, que es accionada mediante las máquinas de arrastre. Para buques de

menor tamaño, se utilizan en ocasiones ruedas de acero sobre rieles de ferrocarril. Ahora bien, los rieles van contruidos sobre vigas que se encuentran en pendiente, y que se extienden hasta una profundidad determinada dentro del agua.

- Fila de picaderos centrales y laterales.
- Rieles inclinados contruidos sobre un bloque de hormigón. Estos pueden tener diferentes inclinaciones en función de la profundidad del agua que se tenga en la zona de varada o desvarada. Cuanto mayor sea la profundidad del agua, mayor será la inclinación de los rieles y viceversa. Aunque también existen los rieles con forma de arco, donde la inclinación se produce de forma más suave.
- Cadenas. Las cadenas deben estar contruidos de tal forma que se enlacen correctamente con la polea dentada, formando un lazo sin fin, tal que, en el retroceso la cadena se deslice sin dificultades y en ambas direcciones.
- Máquinas de arrastre. Se trata de un motor eléctrico que mueve un tren de engranaje. Los engranajes activan las poleas, las cuales suben y bajan la plataforma. Constan de un freno automático que se activa al cortarse la corriente eléctrica.

# **3. Dique Seco**

### 3.1. Historia del dique seco

Siguiendo lo descrito por Policarpio Alfonso Machado C. en “Operaciones de varada, estadía y desvarada en diques secos”, es difícil encontrar a lo largo de la historia antigua algún ejemplo de dique seco tal y como lo se conocen en la actualidad. Los buques que se construían en aquel entonces no eran de gran tamaño y, por tanto, no requerían de grandes infraestructuras para poder vararlos y repararlos.

Hay que remontarse a la época fenicia (204 a.C.) para encontrar indicios reales de lo que hoy se conoce como dique seco. Éstos realizaron excavaciones alrededor de sus embarcaciones situados en la orilla de los puertos, y rellenaron dichas fosas con piedras, colocando encima grandes maderos a lo ancho de la misma. Desde dichas excavaciones se construían unos túneles que conectaban esta construcción con el mar, para poder inundar la fosa.

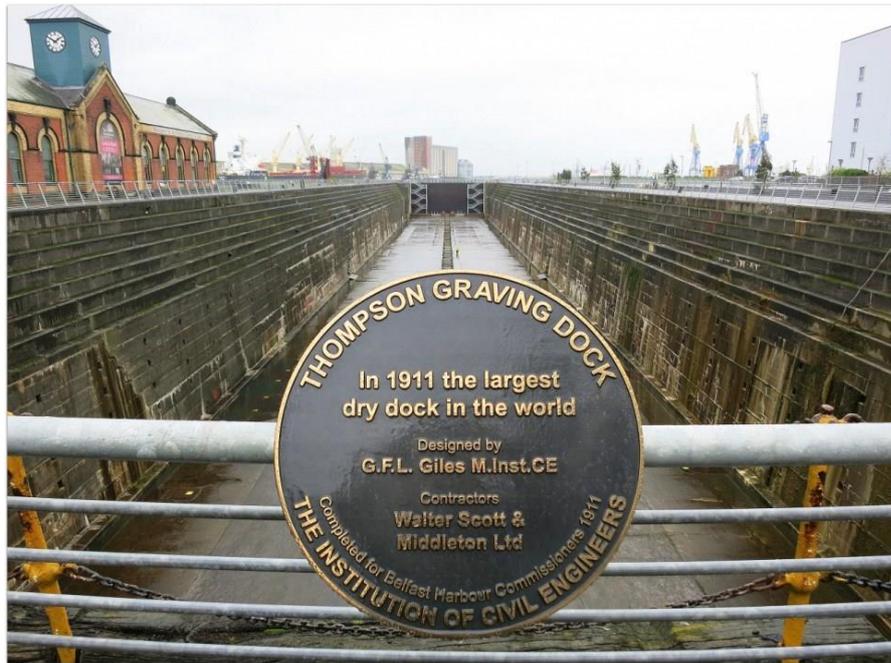
Así mismo, los griegos utilizaban las mareas para poder varar sus buques, excavando en las orillas de las costas grandes zanjas, que permitían tras la subida de la marea colocar la nave en dichas zanjas, quedando el buque varado una vez bajaba la misma. Cabe destacar que este método ha sido utilizado no en épocas tan remotas, pudiéndose incluso ver en la actualidad en orillas del río Támesis.

Es ya en el siglo XV cuando el rey Enrique VII, construye el primer dique de carena en Inglaterra, diseñado por Sir Reginald Bray, según cuenta Richard D. Hepburn en “History of American Naval Dry Docks.”. Se describe su estructura como un dique revestido de madera, con paredes en la entrada, construida de grava de piedras. Las compuertas estaban provistas de un doble forro de madera relleno en su interior por barro. Se puede encontrar en el museo británico otros documentos que afirman la construcción de diversos diques en aquella época.

Por su parte, Francia construyó su primer dique seco en el año 1669. Posteriormente, desde Inglaterra, Carlos II, creó la marina real y ordeno construir el primer dique de carena hecho de granito. Años más tarde, en el año 1799, cuando la revolución industrial está en pleno auge, se ordena construir el primer dique de carena con una bomba de vapor. Hasta finales del siglo XIX predominan los diques construidos de piedra.

Paralelamente al desarrollo en la construcción de diques de carena en Europa, en Sudamérica, se construyen diferentes tipos de diques de carena, encontrándose en la cabeza de estas construcciones las armadas de Chile y Argentina.

Conforme ha ido avanzando la tecnología con respecto a la construcción de buques, la construcción o remodelación de diques ha tenido que sufrir un avance paralelamente. Ya que cada vez se han ido construyendo buques de mayores dimensiones y con mayores necesidades. Con el desarrollo del hormigón como material de construcción, se avanzó mucho desde el punto de vista ingenieril, en cuanto a la construcción de diques se refiere, llegando a los diques que se utilizan en la actualidad. Fue a principios del siglo XX cuando se desarrollan los primeros diques de paredes impermeables, de tal forma que ya eran capaces de soportar la presión hidrostática del subsuelo.



*Ilustración 15. Dique seco donde se construyó el Titanic, en Belfast, Irlanda*

### **3.2. Maniobra de entrada al dique seco**

Una vez conocido el funcionamiento y los diferentes tipos de compuertas que componen un dique seco, es necesario comprender cómo es la operativa y aquellas acciones que se efectúan para llevar a cabo la entrada del buque al dique.

Cabe destacar la importancia que tiene la organización en cuanto a los operarios que van a estar durante la maniobra se refiere. Y, sobre todo, cuanto mayores sean las dimensiones de la embarcación y en consecuencia las dimensiones que tendrá el dique, ya que, como en todos los ámbitos donde entra en juego el papel de muchas personas teniendo que comunicarse y entenderse correctamente, pueden existir diferencias y fallos en la comunicación durante la maniobra.

A todo esto, se le podrían sumar unas posibles malas condiciones climatológicas como vientos fuertes o lluvias abundantes. Todo esto requiere un fortalecimiento de la comunicación entre todas las partes implicadas, para ello se usan radios u otros medios electrónicos que permitan una adecuada fluidez.

Es por ello, que, a día de hoy en la mayoría de diques se están implementando más elementos de acción automática, sobre todo para el movimiento de cabos y aparejos, reduciendo así la mano de obra y, en consecuencia, el error.

Es cierto que aquí se entraría en el eterno debate, de si la tecnología o los avances en la misma, pueden hacer que se vean reducidos los puestos de trabajo. Sin embargo, la respuesta a esto, si se analiza desde un punto de vista empresarial como astillero, es que, se busca minimizar los errores al máximo, ya que esto se traduce en menores pérdidas económicas, que es el objetivo final de cualquier empresa.

### **3.2.1. Inicio de la maniobra**

Antes del inicio de la maniobra, es preferible que la embarcación se encuentre amarrada a un muelle cercano. El capitán del dique estudia las revisiones que se realizan previamente a la maniobra, en las cuales se incluye la verificación de la perfecta operatividad de los siguientes sistemas:

- Bombas y válvulas de inundación y achique
- Mamparos
- Sistemas eléctricos
- Posiciones de las grúas
- Limpieza general

Una vez que se aprueban dichas revisiones, el capitán del dique ordena que se comience con la inundación del mismo.

Conviene destacar aquí, que, en este punto ya estarán los picaderos dispuestos tras el estudio de las formas del buque y su posición una vez que el agua se achique, de tal forma que cuando el buque entre, solo se tengan que ajustar de manera mínima, mediante los buzos tal y como después se verá.

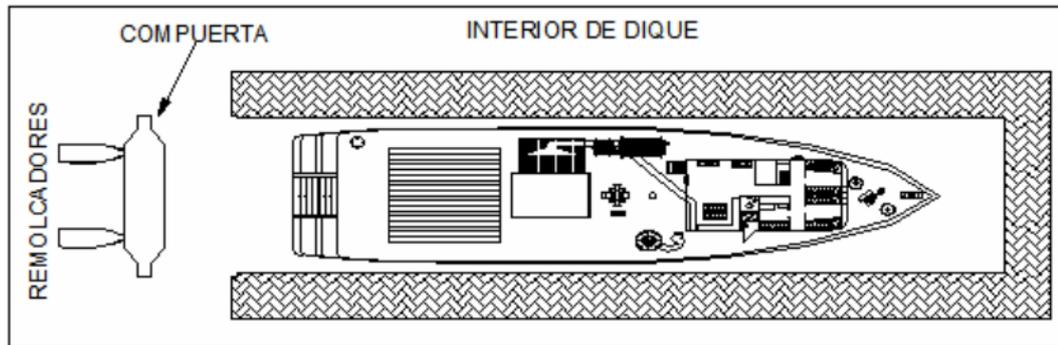
### **3.2.2. Inundación**

Desde la casa o sala de bombas, o bien desde algún punto cercano a la misma, se controla la inundación y el desagüe del dique. El agua entra a las alcantarillas por gravedad, controlando la velocidad y cantidad de entrada mediante las válvulas situadas a tal efecto en las alcantarillas.

En los momentos iniciales, para evitar que se puedan descolocar los picaderos o la cama de varada, el agua entra a una velocidad baja. Una vez superada la altura de estos picaderos, se aumenta la velocidad. Durante la maniobra de desvarada, también se lleva una velocidad baja al principio, para evitar movimientos bruscos en el buque.

### **3.2.3. Apertura de compuertas**

El barco puerta tiene una serie de tanques de lastre que permiten que se mantenga sobre su posición de cerrado. El dique se llenará de agua hasta que se igualen las presiones del agua dentro y fuera del dique, es entonces cuando mediante bombas se achicará el agua que contienen los lastres del barco puerta, de tal forma que comenzará a flotar, pudiéndose así remolcar con la ayuda de los cabos y buques remolcadores que realizan la operación, llevándolo a un lugar adecuado en el astillero, y permitiendo así la entrada del buque al dique.



*Ilustración 16. Remolcado de la compuerta*

### 3.2.4. Remolque de la embarcación a la cámara del dique seco.

Para poder llevar a cabo la maniobra de remolque será necesario conocer a la perfección los obstáculos que pudiesen existir en la entrada o salida del buque en el dique. Además, también se debe conocer y tomar precauciones, con respecto a los buques que se encuentren amarrados en las inmediaciones de la entrada del dique. La operación será más sencilla, cuanto más alineado con la entrada del dique se pueda colocar el buque, y desde ahí se pueda realizar la maniobra de entrada utilizando cabrestantes y cabos.



*Ilustración 17. Buque realizando la maniobra de entrada al dique*

Otro tipo de dificultades que se pueden destacar con respecto a la entrada del buque en el dique, puede ser la forma elevada que tenga que adoptar la cama para la zona de la quilla. Ya que, para aquellos catamaranes, o buques que tengan domos que sobresalen por debajo de la quilla, requieren camas con picaderos elevados las cuales reducen el calado del dique e impiden un remolque directo por el centro del dique. En estos casos se realizan estudios para simular la varada antes de la maniobra como tal, y ver, por ejemplo, si hay elementos de la cama que se deben instalar una vez pase una parte concreta del buque en la cual se podrían producir tropiezos.

Además, se añade otra posible situación puede ser que el buque entre más cercano a una banda, y tras atravesar la zona de conflicto, se remolque lateralmente, hasta colocarlo en la posición correcta. Evidentemente, cuanto mayores sean las dimensiones del buque, mayores complicaciones pueden llevar este tipo de acciones, aunque los ejemplos que se exponen son casos que se podrían dar en embarcaciones menores. Para grandes buques, el dique seco debe estar adaptado de tal forma que el buque entre directamente, una vez alineado con la posición del dique seco, como antes se ha comentado.

Cabe destacar que, para este tipo de buques de grandes dimensiones, en la actualidad, los diques secos ya instalan carruajes, que se mueven entre unas vías situadas en las paredes del dique, minimizando el trabajo de cargar con cabos muy pesados. Además, estos sistemas permiten mantener el buque centrado con respecto al dique, puesto que los cabos se aseguran a este sistema antes de iniciar la maniobra, minimizando así los posibles errores humanos que se podrían producir en este tipo de maniobras tan importantes en la varada de un buque.

Para la correcta entrada del buque en el dique, también hay que tener en cuenta la escora del mismo antes de la entrada. Lo ideal sería que el buque entrara sin escora, pero puede haber casos de emergencia donde los ingenieros del buque decidan que es mejor no realizar movimientos de líquidos dentro del buque para corregir la escora. En estos casos se emplean diferentes técnicas para corregir la escora:

- Adición o movimiento de pesos pequeños dentro del buque
- Utilización de puntales que, dirigidos contra la dirección de escora de la embarcación, corrigen la misma.



*Ilustración 18. Buque varado con puntales*

- Varar con la escora permitiendo que se asiente primero la banda escorada, y mediante los picaderos, corregir dicha escora.
- Colocación de poleas en el mástil (en el caso de los veleros).

### **3.2.5. Servicio de buzos y secado del dique**

Una vez que el buque se encuentra sobre la cama de varada, pero aun con agua en el dique, en muchas ocasiones, sobre todo cuando el buque se encuentra dañado, los apoyos hayan podido sufrir algún golpe o daño o se trate de un buque nuevo, un equipo de buzos ayuda en la maniobra de la varada para ir realizando comprobaciones de seguridad. En muchos casos, se utilizan estos buzos, incluso cuando no se produce ninguna de las casuísticas antes descritas, como un medio de seguridad que proporciona el astillero dentro de su servicio.

Cuando los buzos terminan con sus labores, y se aseguran de que todo esté correctamente colocado, el barco puerta realiza la operación que tuvo que hacer al principio, pero a la inversa, es decir, se vuelve a colocar sobre su lugar habitual para cerrar completamente el dique. Entonces, las bombas de achique comienzan con sus labores, extrayendo el agua del dique. Una vez que se termina secando el dique, se realizan labores de verificación de que todos los sistemas implicados en la varada, estén correctamente situados: picaderos, puntales...

Será el capitán del dique el que determine que la embarcación se considera que está segura, y por tanto se pueden empezar con los trabajos que estén previstos realizar en la misma.

## **3.3. Elementos que componen el dique seco**

### **3.3.1. Compuerta del dique seco**

Una compuerta es un elemento situado en un canal, conducto, presa o dique, que permite regular el flujo de fluido que circula por el mismo. Se pueden encontrar diferentes tipos de compuertas en función de la finalidad o de las necesidades de trabajo. En el caso del dique seco, se pueden observar unos elementos comunes:

- Compuerta: Es el elemento principal del conjunto, su objetivo consiste en evitar el paso del agua hacia el interior del dique seco. Está compuesta por una serie de planchas metálicas soldadas las cuales forman un cajón, existiendo en el interior de los mismos una serie de refuerzos que aumentan la rigidez del conjunto. Dicho cajón tiene una forma más estrecha en la parte superior, ya que la presión hidrostática en la parte inferior es superior, en consecuencia, de la columna de agua en esta zona más profunda, y por tanto tiene una forma más ancha. Se pueden diferenciar dos tipos de perfiles en función de la construcción:
  - o Perfiles normalizados: Se trata de una serie de componentes de naturaleza estructural normalizados cuyas medidas vienen en forma tabular. Son perfiles muy comúnmente utilizados porque debido a su amplio abanico de medidas y formas, son capaces de adaptarse a los distintos requerimientos de los astilleros.

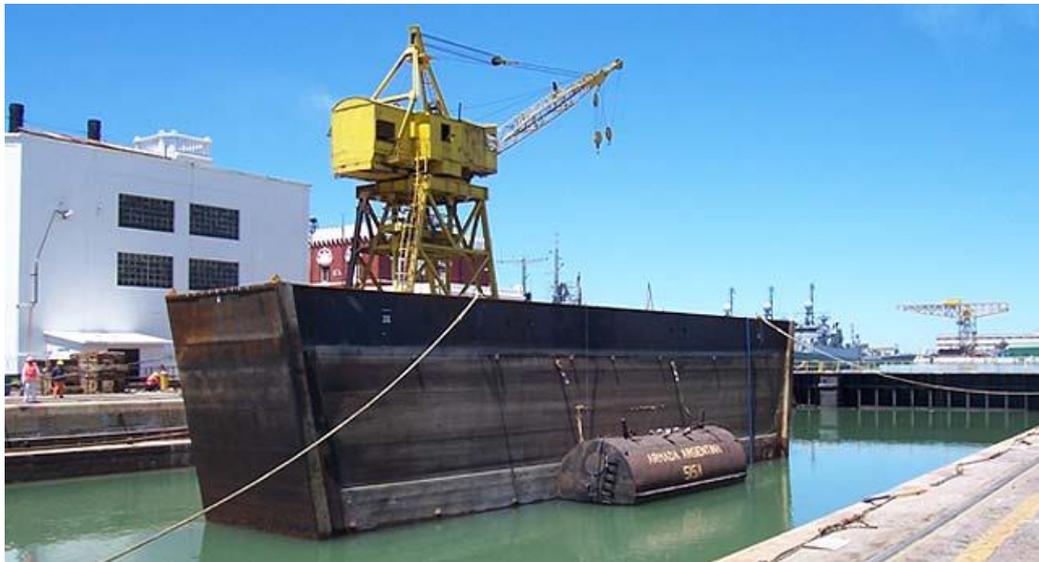
- Refuerzos propios: Sin embargo, existen casos donde los perfiles tabulados no se adaptan a las características del proyecto. Es por ello, que en estos casos se diseñan y construyen los refuerzos de manera propia para dicho proyecto en particular.

El acero es el material de construcción tanto de las planchas como de los elementos de refuerzo. Además, teniendo en cuenta el ambiente corrosivo al que estará sometida la compuerta, se realizan tratamientos superficiales a los forros exteriores para combatir la dureza del ambiente marino y el deterioro temporal que pueda sufrir. Estos tratamientos suelen consistir en la aplicación de pinturas epóxicas, las cuales protegen de dichos elementos corrosivos, así como otros posibles agentes perjudiciales.

- Apoyos y bisagras: Cuando la compuerta se encuentra totalmente cerrada, descansa sobre lo que se conoce como apoyos. Se trata de superficies lisas y lo suficientemente rígidas para ser capaces de soportar el peso de la estructura en cada una de las condiciones operativas. Por ello, el material elegido para estos elementos es el hormigón armado. Por su parte, las bisagras son unos elementos que permiten el movimiento articulado de aquellas compuertas que pueden girar con respecto de un eje. El diseño de las mismas se basa en una serie de cojinetes que se sitúan en la zona de apoyo del dique y en la propia compuerta, unidos ambos a través de unos pasadores de acero macizo. Este elemento tiene una cierta complejidad e importancia en el conjunto estructural, es por ello, que los materiales pueden variar predominando el acero estructural.
- Elementos de elevación: Son los encargados del movimiento de la compuerta según los requerimientos que se necesiten para operar. Estos elementos o sistemas pueden ser diferentes y tener distintos modos de funcionamiento según el tipo de compuerta, siendo los siguientes los más comunes:
  - Sistema por empuje hidrodinámico: Se concibe la compuerta como un elemento completamente estanco, controlando la elevación de la misma en función de la relación agua/aire que exista en su interior.
  - Sistema por pistones hidráulicos: Se compone de una serie de pistones que se colocan en puntos clave de la compuerta y unidos al dique por el extremo opuesto, los cuales permiten el movimiento de la misma.
  - Sistema de cadenas: Una serie de cadenas colocadas en los laterales de la compuerta se mueven permitiendo la elevación de la misma, a través de unos sistemas situados en los costados del dique seco.

Tal y como se ha visto anteriormente, existe una gran variedad de diques secos, así pues, también existen diferentes tipos de compuertas distintas a instalar en los mismos. El proyectista o equipo encargado de la construcción del dique será quien decida qué tipo de compuerta elegir en cada caso, así como, el sistema de elevación para la misma. Este factor en muchos casos determina si un proyecto de construcción de dique seco es o no viable. Sin embargo, en el mundo de la construcción de diques secos, la innovación no se lleva al siguiente nivel y prácticamente se puede decir que existen cuatro tipos de compuertas, las cuales tendrán uno u otro elemento o sistema de elevación en función de sus características concretas:

- Flotantes o barco puerta: Su denominación de barco puerta se explica por el funcionamiento que tiene, ya que, cuando el buque necesita entrar o salir del dique, la compuerta se retira, siendo remolcada, permitiendo la entrada del mismo. Este tipo de compuertas tienen unas características de hidrodinámicas y de estabilidad similares que los buques. El funcionamiento se basa en la operación de una serie de bombas, motores y válvulas que permiten lastrar el agua, haciendo que la compuerta flotante o barco puerta pueda flotar y ser remolcada. Constan de un mínimo de obra muerta capaz de conseguir que nunca se hunda del todo, a pesar de que todos sus tanques de lastre estén llenos. Además, los motores, bombas y válvulas reciben energía eléctrica por medio de cables procedentes de la orilla. Una vez que el buque ya ha entrado o salido del dique, se hace la operación en sentido inverso, el barco puerta se coloca sobre la posición adecuada, se achica el agua mediante las bombas, y esta va cayendo sobre su posición de cerrado completo. Es por ello que suelen tener una forma más estrecha en la parte inferior, para que la presión del agua una vez se está achicando esta haga que se cierre completamente y de forma correcta.



*Ilustración 19. Compuerta flotante o barco puerta*

- Compuerta deslizante de una hoja: Se trata de una estructura que se construye de forma rectangular y que su movimiento de “deslizamiento” se realiza a través de una abertura que se realiza en las paredes del dique.
- Compuerta de bisagra: En cuanto a construcción se refiere, se trata de estructuras similares a las compuertas flotantes o barco puerta. Sin embargo, el funcionamiento de estas consiste en dos piezas que giran hacia fuera mediante una bisagra que tiene cada una de estas secciones en su zona inferior, y al cerrarse se produce el sellado que impide el paso del agua.



*Ilustración 20. Compuerta de bisagra*

- Compuertas de chapaleta: En este caso se trata de una construcción en forma de caja, que está unida al fondo del dique y se mueven hacia fuera y hacia abajo, mediante la ayuda de un motor eléctrico.

### **3.3.1.1. Modos de fallo y mantenimiento de la compuerta**

La compuerta se considera un elemento fundamental dentro del funcionamiento global del dique seco, es por ello que, el mantenimiento de la misma cobra mucha importancia, ya que un fallo o mal funcionamiento de la misma, podría dejar completamente inoperativo el dique seco. Por tanto, es necesario estudiar aquellas situaciones o peligros que puedan generar un mal funcionamiento de la misma, y diseñar un plan que permita evitarlas en su totalidad o bien reducir el impacto de las mismas, pudiendo sustituir posibles partes dañadas a tiempo. A continuación, se describirán los modos de fallo de la compuerta o bien aquellas situaciones que pueden comprometer el buen funcionamiento de la misma, junto con las acciones de mantenimiento que deben realizarse para minimizar o eliminar los posibles riesgos ocasionados:

- Incrustaciones: Uno de los mayores aspectos a tener en cuenta en el mantenimiento del dique seco es el medio en el que este se encuentra, el mar. En el mismo viven diversos seres vivos que pueden producir incrustaciones en las estructuras. Estos seres se van localizando por todo el conjunto de la misma creando una capa de materia que puede ir deteriorándola. El problema cobra mayor importancia sobre todo en la cara externa de la compuerta, ya que esta se encuentra en contacto directo y constante con el mar y, por tanto, el único tratamiento preventivo que se puede realizar sobre la misma es en el momento de su construcción, aplicando sobre la misma una serie de pinturas protectoras de alto rendimiento (epóxicas) y también algunas capas de pinturas anti-fouling, las cuales incluyen algunos aditivos que impiden a los seres vivos adherirse a la cara externa de la compuerta. La solución años atrás, consistía en aplicar a esta cara externa, una serie de pinturas mucho más contaminantes basadas en metales

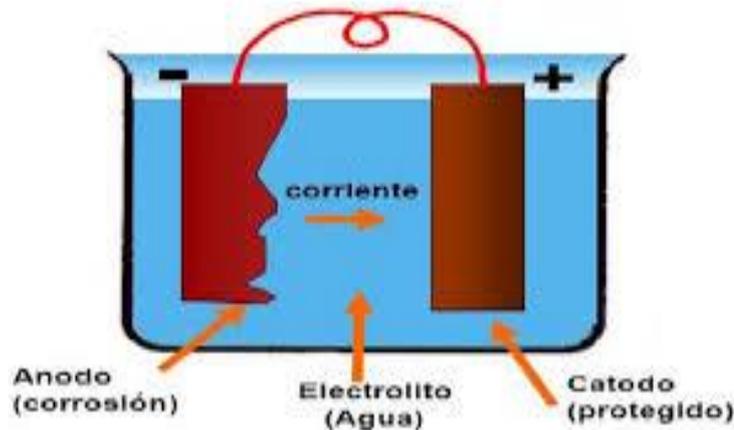
pesados como el plomo, pero es una solución que se eliminó por su alto nivel de contaminación hacia el mar. Esta zona externa de la compuerta se puede asimilar al casco de un buque, ya que periódicamente (mínimo una vez al año) y suponiendo un coste elevado para el astillero, se realizan tratamientos de desincrustación de las zonas más dañadas por los organismos vivos. Este trabajo se lleva a cabo mediante equipos de buzos especializados en este tipo de trabajos. La cara interna de la compuerta sufre menos debido a que solo está en contacto con el mar en ocasiones puntuales (momento de entrada o salida de los buques), por ello, en los momentos donde el dique se encuentre seco, se revisarán dichas zonas para eliminar los seres que se hayan podido adherir a estas.



*Ilustración 21. Casco de un buque con una gran capa de incrustaciones marinas*

- **Corrosión:** Uno de los mayores enemigos en las construcciones metálicas que se encuentran en contacto directo con el agua del mar es la corrosión. Cuando una estructura metálica entra en contacto con un medio electrolítico (agua salada), se produce una transferencia de electrones, lo que acarrea una pérdida de material, y en consecuencia se puede poner en riesgo la integridad estructural del conjunto. Para evitar esta pérdida de material, se lleva a cabo la instalación de ánodos por diferentes zonas de la estructura. Se conoce como ánodo a aquel elemento con una carga eléctrica más negativa que el elemento conocido como cátodo, que sería la estructura o pared a proteger. En consecuencia, este ánodo atrae la carga eléctrica debido al fenómeno conocido como electrólisis. Se pueden definir dos tipos de ánodos: fijos y de sacrificio. Los ánodos fijos son una serie de elementos metálicos que se colocan aislados de la estructura y a través de un sistema eléctrico generan esa carga eléctrica negativa capaz de provocar el fenómeno de la electrólisis en ellos mismos y no en la estructura a proteger. Por su parte, los ánodos de sacrificio se colocan en la parte de la estructura que se encuentra en contacto directo con el agua del mar. Estos materiales, tienen una carga eléctrica más negativa que la estructura a proteger, por tanto, se van consumiendo ellos y no la estructura metálica. Debido a la complejidad en cuanto al funcionamiento y mantenimiento

de los ánodos fijos, se suele utilizar con mayor frecuencia los ánodos de sacrificio, concretamente se utilizan materiales como aluminio, zinc o magnesio, o bien aleaciones de ellos. El proyectista es el que determina el material a utilizar y la posición del mismo en el área de la estructura a proteger. Para este fin se emplean fórmulas que parten del área total a proteger junto con la temperatura del agua en su entorno. Se debe prestar especial atención a la hora de elegir la disposición de los mismos las zonas más conflictivas, como los apoyos.



*Ilustración 22. Funcionamiento de un ánodo de sacrificio*

- **Revisión de los cojinetes:** Los cojinetes son elementos muy importantes en el correcto funcionamiento y movimiento de la compuerta, y además son susceptibles de sufrir daños durante las operaciones de la misma. Esto se debe a que, si se producen incrustaciones en algún punto del cojinete, durante el movimiento de apertura de la compuerta se produce un gran momento, por lo que surgirá un efecto cizalla que traerá consigo el fallo del mismo. Además, aunque los cojinetes se calculan para soportar una carga de trabajo superior a la real que van a soportar, pasados largos períodos de trabajo pueden aparecer grietas por el efecto de la fatiga. En este caso se debe estudiar la sustitución del cojinete. A pesar de esto, en la mayoría de casos, el mantenimiento es bajo en este tipo de elementos, los materiales compuestos de los que están contruidos no necesitan lubricación para su correcto funcionamiento. Sin embargo, sí se debe prestar especial atención durante las inspecciones periódicas, a algunos puntos concretos, que podrían indicar que el cojinete debe cambiarse y a la retirada de cuerpos extraños que se encuentren cercanos a estos.
- **Revisión de los pasadores:** Otro elemento muy importante a tener en cuenta en el mantenimiento de la compuerta son los pasadores. El problema en este caso, se relaciona con la corrosión que puede sufrir la capa superficial de los mismos, ya que esta tiene una rugosidad muy pequeña. Este efecto de la corrosión, puede provocar esfuerzos torsores en el material. Para evitar esto, el material de fabricación de estos elementos es acero inoxidable de alta calidad, que permitirá conseguir dos efectos: por un lado, soportar mejor los esfuerzos y, por otro lado, evitar la corrosión. Otra solución, como antes se vio en el apartado de la corrosión

como tal, sería colocar un ánodo de sacrificio, que evite el efecto electrolítico del acero.

- Revisión de los cables: Se debe prestar especial atención y precaución cuando se trata del mantenimiento de los cables que permiten el movimiento de la compuerta, ya que forman parte de una red en la cual el mal funcionamiento de uno de los elementos puede provocar un fallo en cadena del resto de sistemas, lo que podría traer consigo la inutilización completa de la misma. Los cables se componen de una serie de hilos, que a su vez forman cordones y están dispuestos de una forma concreta con respecto a un núcleo central. Por tanto, uno de los problemas que se puede encontrar en los cables es la desviación de los cordones con respecto a su posición original, esto hace que el cable quede dañado y deba cambiarse con la mayor brevedad posible. Los cables también sufren desgaste con el contacto con un medio abrasivo como pueden ser el entorno de la compuerta del dique, es por ello que deben estar fabricados con materiales que sean capaces de soportar los medios salinos. Por todo ello, se deben realizar inspecciones rutinarias para comprobar el estado de estos y valorar si fuera necesario la sustitución de algún tramo de cableado por no encontrarse en un estado de funcionamiento adecuado.
- Motor eléctrico: Algunas compuertas constan de motores eléctricos para elevar la misma desde su posición horizontal. Como el resto de componentes dentro de la compuerta, deben estar preparados para funcionar correctamente en medios salinos. Estos motores no requieren de un mantenimiento excesivo y en este caso será el fabricante el que indique cuales son las tareas de mantenimiento adecuadas para cada motor en concreto. Dentro del motor eléctrico, los elementos que se mantienen de forma preventiva son los cojinetes de apoyo y los bornes, ya que, el resto de componentes se deberán revisar y/o sustituir cuando se produzcan fallos en el motor.
- Poleas y reductora: La reductora es el elemento que une el motor eléctrico con las poleas. Consta de una serie de engranajes de tal forma que permiten obtener una velocidad lenta y un par grande a partir de una velocidad elevada y un par pequeño. Igual que ocurre con los motores eléctricos, son los fabricantes los que indican en el manual las tareas de mantenimiento necesarias en función del modelo escogido en cada caso. Lo habitual es que cada cierto periodo de tiempo se controle el nivel de aceite y cambie el mismo. Por su parte, las poleas son elementos metálicos que constan de una serie de orificios por las cuales trabajan los cables en las operaciones de apertura y cierre de la compuerta. Las tareas de mantenimiento en este caso se basan en revisar que no existan elementos que puedan obstruir el correcto funcionamiento de los cables y que el eje de la polea no sufra deformaciones destacables con el uso habitual.
- Engrase de los rieles: La compuerta internamente consta de una serie de rieles que le permiten el pliegue y despliegue cuando esta realiza los movimientos de apertura o cierre. El problema que surge en estos elementos es que, pese al material de rugosidad baja con el que están contruidos, siempre existe una fricción. Es por ello que en el interior de los rieles se coloca una capa de grasa, diseñada para usos en ambientes marinos (no soluble en agua), que minimizará el excesivo rozamiento entre los distintos materiales. El mantenimiento de estos elementos se basa, por tanto, en el engrase de los mismos, poniendo la cantidad

adecuada de grasa que impida que la misma se desprenda y quede en suspensión en el agua.

- **Juntas de estanqueidad:** Para conseguir que el dique se mantenga completamente estanco, es muy importante el mantenimiento de las juntas de estanqueidad. Está compuesta por dos partes, cada una de ellas tiene materiales diferentes, la zona interior es menos resistente pero más rígida y la exterior tiene una resistencia elevada y menos rígida. El mantenimiento de la junta de estanqueidad se centra en la parte exterior, ya que es la que sufre un mayor desgaste al estar en contacto con el agua salada. Dicha junta está formada por una lámina de EPDM (elemento de construcción elaborado con un tipo de goma flexible cuya composición incluye etileno, propileno y dieno. El material se asemeja al de los neumáticos, pero con menor grosor) y se encuentra sujeta gracias a unas pletinas metálicas por los extremos. De esta forma se podrá sustituir trozos de juntas dañados sin necesidad de tener que sustituir toda la junta completa, permitiendo así ahorrar en el material a sustituir y también en términos ecológicos.

### **3.3.2. Elementos estructurales del dique seco**

Como se vio cuando se definió el dique seco en el apartado 2.3.1. el dique seco, estructuralmente se compone de dos paredes laterales verticales, una pared frontal o cabecera, un piso o solera, donde están colocados los picaderos centrales y laterales, también llamados picaderos de pantoque y que está separado de las aguas adyacentes del puerto, mediante una compuerta o barco puerta.

Además, podemos encontrarnos otra serie de elementos estructurales que componen el dique. Estos se conciben teniendo en cuenta la propia estructura del mismo. Esta estructura, o elementos que conforman la misma, es la que soporta la presión de las aguas freáticas y los empujes hidrostáticos.

Las paredes laterales del dique deben contener la fuerza de la tierra que los rodea. Por su parte, el fondo tiene que soportar el peso del buque una vez se encuentre dentro del dique y sobre los picaderos y, además, ser capaz de soportar la sub-presión hidrostática que aparece cuando existe un desnivel como el que hay entre las aguas del exterior del dique y el piso del mismo. Es por ello, que el terreno que rodea el dique tiene su importancia en cuanto a la resistencia a los distintos factores nombrados se refiere, en la mayoría de casos es necesario reforzar la capacidad de resistencia del suelo aledaño al dique con anclajes, que una vez instalados ayudan a resistir las fuerzas de la sub-presión hidrostática.

En cuanto al armado estructural como tal, el dique estará constituido por dos partes distintas: la principal o doble casco realizado con hormigón pretensado y las superestructuras internas de hormigón armado. Estará dividido, longitudinalmente en compartimentos, por dos paredes interiores y una losa de espesor variable, que delimitan una zona de doble casco.

Teniendo en cuenta estas premisas, se describirán a continuación, los diferentes tipos de diques secos en función de su estructura, conociendo así los elementos estructurales que los diferencian.

- Diques secos de gravedad: Este tipo de diques se encuentran en una zona donde las aguas freáticas están presentes, o muy cerca de la superficie. Se utiliza el propio peso del dique para contrarrestar el empuje del agua, teniendo en cuenta en este caso, que esta estructura tendrá un peso mayor que el empuje máximo que se pudiera producir. Existen a su vez, dos posibles construcciones diferentes para este caso:
  - o El dique construido con las paredes separadas del piso que actúan en conjunto.
  - o El piso se encuentra unido a las paredes y actúan como un todo para hacer frente al empuje.
- Diques secos con anclajes: Este tipo de diques están unidos al suelo mediante una serie de anclajes, de tal forma que, cuando se produce el máximo empuje, este es compensado mediante el peso del dique más la fuerza de los anclajes. Los anclajes pueden ser:
  - o Anclados con pilotes
  - o Anclados con planchas de acero
  - o Anclado con anclas y cables
- Diques secos drenados: En este caso, cuando se produce el mayor empuje hidrostático, se compensa con un sistema que drena el agua, en la zona inferior del piso del dique.

### **3.3.3. Elementos dinámicos del dique seco**

Los elementos dinámicos que componen el dique seco, son aquellos equipos o conjuntos de equipos que forman parte de los sistemas de inundación del dique durante la maniobra de entrada al mismo, así como, los sistemas para secar el dique, una vez que el buque ha entrado y colocado sobre los picaderos, y viceversa, cuando se produzca la maniobra de salida del dique. En esta clasificación, hay algunos elementos que podrían considerarse más bien estructurales (compuertas de inundación o alcantarillas de desagüe), pero se han considerado elementos dinámicos aquellos que aparecen en el llenado o vaciado del dique, dejando los puramente estructurales en el apartado anterior.

Los sistemas de inundación del dique están compuestos por:

- Compuertas de inundación. Son una serie de aberturas en la compuerta del dique que son accionadas mediante las válvulas, y que cuando están abiertas dejan pasar el agua de la zona exterior, ya sea del mar o del río, permitiendo así la entrada de agua al mismo, hasta el igualar el nivel del agua fuera del dique con el nivel dentro del dique. Una vez alcanzado ese nivel, se podrá abrir la compuerta, permitiendo así entrar el buque al dique seco por sus propios medios.

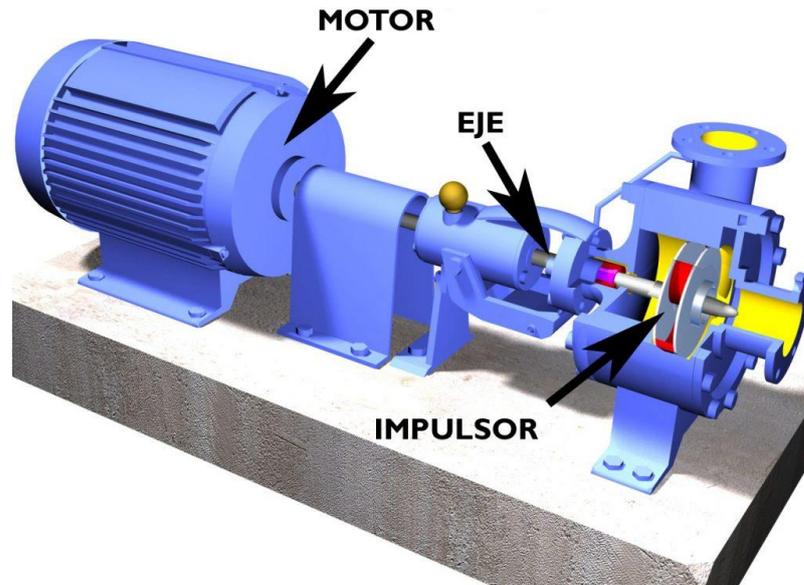


*Ilustración 23. Compuertas de inundación*

- Válvula de inundación. Irán colocadas de tal forma que su maniobra, control y observación sean de fácil acceso. Estos sistemas se abren y cierran mediante volantes u otros sistemas similares. Estos sistemas de apertura y cierre, junto con el circuito como tal y las válvulas, llevarán pegatinas o rótulos que indiquen el sistema que accionan

Los sistemas para secar el dique serán:

- Tuberías de succión. Anteriormente, el material de construcción para las tuberías era el acero, aunque se está intentando pasar a las aleaciones de latón-aluminio o bien las de cobre-níquel. Las uniones de los tramos se hacen mediante “bridas”, que irán acompañadas de goma u otro material similar para conseguir que estos tramos sean estancos. Las bridas se unen entre sí por varios pernos roscados. A veces se necesita independizar un tramo de tubería, y se hace mediante una “brida ciega”, con lo que el líquido no puede pasar a través de ella una vez puesta. En las tuberías, las pruebas de presión se hacen usando 1,5 veces la presión de cálculo, siendo para las tuberías de lastre y achique la máxima de servicio. La velocidad de circulación en las tuberías de acero galvanizado no será mayor de 3 metros por segundo, siendo en las de cobre de 2 metros por segundo. Además, para evitar que se produzcan cambios bruscos y estancamientos en la sección, el trazo y tendido de las tuberías se diseñan de una forma específica y para evitar pérdidas de carga sobre todo en las juntas, se diseña la superficie interior de las tuberías de manera muy lisa.
- Bombas. Las bombas utilizadas en los diques secos son bombas centrífugas. Éstas se basan en el principio de funcionamiento de transferir energía a un fluido alterando su momento angular por medio de un par, generado desde un motor que, a través de un eje, acciona el impulsor que gira uniformemente el fluido que fluye a través de él.

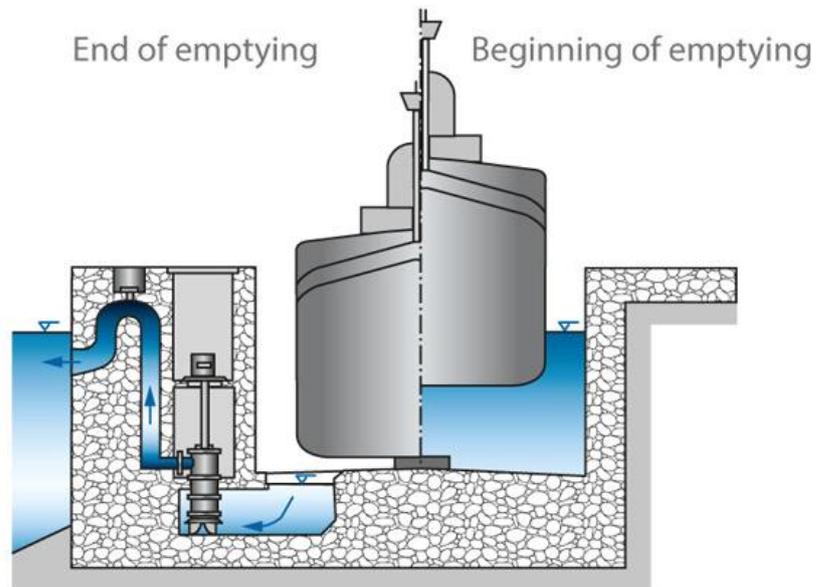


*Ilustración 24. Bomba centrífuga*

Las bombas centrífugas pueden bombear de forma continua altos caudales a muy alta presión. Para caudales elevados, las bombas centrífugas son más rentables y fiables que las bombas de desplazamiento positivo, ya que éstas últimas trabajan con una cantidad limitada de fluido. Ejemplos de bombas centrífugas son bombas de flujo axial, bombas de flujo mixto, bombas de flujo radial y bombas de canal lateral.

El objetivo de estas bombas es extraer grandes cantidades de agua, con la mayor velocidad posible y con unas condiciones que pueden variar, hasta conseguir que el buque apoye en su cama de varada correctamente, ayudado si fuera necesario por picaderos.

La instalación de las bombas de un dique seco se lleva a cabo normalmente en uno de los lados longitudinales, cerca de la compuerta (ilustración 25), o bien en un espacio destinado a ellas conocido como casa de bombas (ilustración 26). El agua ingresa a la cámara de entrada a través del piso del muelle y luego se distribuye uniformemente a cada una de las bombas instaladas (generalmente entre dos y cuatro bombas).



*Ilustración 25. Situación de las bombas en el dique seco*



*Ilustración 26. Casa de bombas del dique seco de Belfast, Irlanda.*

Además, es probable que, durante el periodo de reparación del buque, siga entrando una pequeña cantidad de agua por la compuerta, ya que es complicado que esta sea completamente hermética. Es por ello que se emplean bombas de drenaje para extraer dicha cantidad pequeña de agua.

- Alcantarilla de desagüe.

### 3.3.4. Sistemas de detección de fallos y mantenimiento en elementos estructurales y dinámicos

A continuación, se describen los sistemas de detección de posibles fallos que se producen tanto en elementos estructurales como en elementos dinámicos del dique seco:

- **Inspección visual:** En cualquier sistema, ya sea estructural o dinámico, el paso del tiempo es un elemento que se debe considerar cuando se diseña y planifica el plan de mantenimiento. La primera “herramienta” que se utiliza para detectar fallos ocasionados por el desgaste, el paso del tiempo y la utilización de los sistemas es la inspección visual. Para poder llevar a cabo una buena inspección, se requiere que el inspector, o encargado de realizar el mantenimiento preventivo conozca a la perfección el estado normal del elemento, para poder detectar ciertas anomalías. En el caso del dique seco, se realiza inspección visual sobre todo a los elementos estructurales, o bien alcantarillas o canales, en busca de posibles fisuras provocadas por la presión hidrostática a la que el dique se encuentra sometida, posibles infiltraciones, cuerpos extraños, etc. También es conveniente cuando se realizan los mantenimientos preventivos a otros equipos dinámicos como bombas o válvulas, echar un vistazo y comprobar que todo se encuentra correctamente, no hay derrames alrededor de bombas, posibles ruidos anómalos, etc.



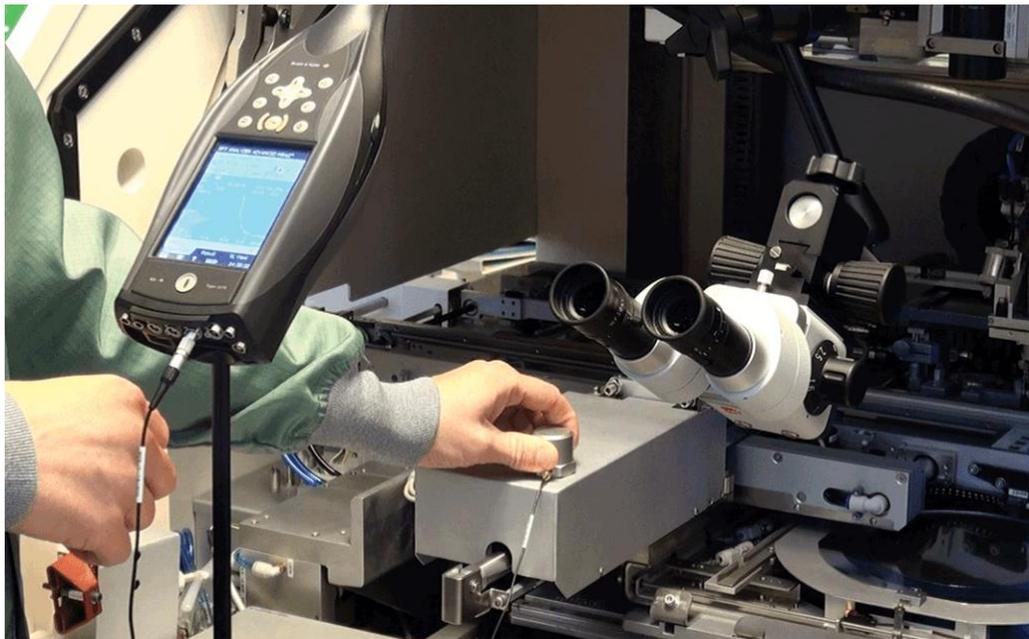
*Ilustración 27. Ejemplo de posibles grietas encontradas en elementos estructurales del dique.*

- **Estudio de vibraciones:** Este estudio permite diagnosticar si las máquinas y sus componentes funcionan con normalidad. Esta tecnología ha conseguido muchos avances en los últimos años, contando hoy en día, con equipos y paquetes informáticos que reducen los tiempos de análisis y devuelven al usuario gráficas donde se interpreta y se puede diagnosticar de forma acertada. Como parte normal de su actividad, todas las máquinas producen una serie de vibraciones, sin embargo, las características de estas vibraciones van cambiando cuando se produce un fallo en alguno de sus componentes, favoreciendo así el estudio

detallado del lugar y el tipo de fallo que se está produciendo y, por tanto, su mantenimiento, reparación o sustitución. Se puede determinar que la vibración de un sistema está fuera de las tolerancias, siguiendo las indicaciones del fabricante o las normas técnicas con las que se trabaje. Este tipo de estudio, es interesante sobre todo en la casa de bombas del dique, donde se podrá estudiar el funcionamiento correcto de las mismas, y si sus posibles vibraciones están dentro de los parámetros permitidos o no.

Durante el funcionamiento normal de una máquina industrial, como, por ejemplo, una bomba, se está generando una vibración. Este hecho puede ser medido a través de un aparato conocido como acelerómetro. El acelerómetro genera una señal de voltaje, la cual es proporcional a la cantidad y la frecuencia de vibración, o lo que es lo mismo, a cuantas veces por segundo o minuto se está produciendo la vibración. Dicha señal se conecta a un recolector de datos, el cual se encarga de registrar la señal, ya sea bien en forma de onda de tiempo (amplitud/tiempo), bien como un espectro frecuencial aplicando la transformada de Fourier (amplitud/frecuencia) o como ambas. El resultado de este proceso será analizado por un analista de vibraciones o a través del uso de un algoritmo de un programa informático «inteligente» y poder observar con claridad si se corresponde con las tolerancias que ofrece el fabricante. Algunos de los fallos que se pueden identificar tras realizar un estudio de vibraciones son los siguientes:

- Máquina desequilibrada
- Máquina desalineada
- Resonancias
- Sujeción inadecuada del equipo
- Fallos electromagnéticos
- Mal estado de cojinetes y/o rodamientos
- Cavitación



*Ilustración 28. Acelerómetro*

- **Termografía infrarroja:** Este sistema permite captar la radiación infrarroja sin necesidad de contacto físico con el sistema de estudio. El objetivo consiste en medir la temperatura de los elementos gracias a cámaras termográficas, pudiendo así detectar posibles fugas que se hayan producido, o bien reducciones de aislamientos, sedimentaciones en tuberías, etc. Resulta interesante esta técnica sobre todo en aquellas zonas del alcantarillado del dique donde se pueda intuir, por la detección de pérdidas, que en algún punto pueda estar dañado. Viendo así exactamente donde está el foco del problema y pudiendo reparar el mismo, sellando, o lo que fuera necesario.

Se utiliza para este estudio una cámara termo-gráfica apuntando hacia el elemento que se pretende estudiar, sin entrar en contacto con el mismo. De esta forma, se muestran las distintas temperaturas de una zona en concreto. Por tanto, se trata de un medio muy útil de mantenimiento capaz de localizar fallos en el funcionamiento o en la construcción de algunos sistemas y poder prever y evitar algunos problemas futuros.



*Ilustración 29. Cámara termográfica*

- **Emisiones acústicas:** Se trata de otro tipo de ensayo no destructivo cuyo objetivo es la búsqueda y detección de una serie de defectos (fugas, grietas, ...) que se puedan producir en sistemas sometidos a presión como máquinas, instalaciones, etc. Una ventaja de esta prueba es que se puede llevar a cabo con el líquido dentro del elemento a presión, evitando así tener que realizar el vaciado de estos sistemas, en caso de que se encuentren transportando agua en ese momento.

Centrando el estudio en las redes de tuberías, se utilizan diferentes técnicas para detectar las fugas en los mismos: desde isótopos radiactivos sobre interferometría (método de medición que aplica el fenómeno de interferencia de las ondas) hasta radares basados en satélites. Sin embargo, debido a la facilidad que tiene, la detección por medios acústicos es una de las técnicas más utilizadas, ya que se genera ruido siempre que un fluido sale de una tubería que está presurizada, por tanto, es relativamente fácil de detectar. Esta técnica es conocida desde hace años,

y se ha ido utilizando para localizar fugas en sistemas de fluidos a presión como el petróleo, el gas o el agua. Gracias a los estudios y avances que se han ido realizando a lo largo de los años, se puede saber que este efecto es provocado por la turbulencia y la cavitación de las burbujas que se generan a la salida del fluido. Pero, además de éstos, hay otros factores que influyen en el ruido, como la presión del fluido, el diámetro de la tubería o el tamaño de la fuga.

Para llevar a cabo estas detecciones, en algunos casos basta con colocar un dispositivo en una válvula al inicio de la línea, el cual reconocerá el sonido de la fuga. Históricamente los métodos eran más rudimentarios, utilizando sistemas parecidos a los estetoscopios empleados en medicina. Sin embargo, gracias a los avances tecnológicos, hoy en día se están utilizando acelerómetros, que son elementos que se unen directamente al objeto que vibra en consecuencia de una posible fuga, como la tubería en este caso, y hace que se pueda transformar la energía de vibración en una señal eléctrica proporcional a la aceleración del agua en la tubería, permitiendo así su estudio y obtener conclusiones sobre las causas de la fuga. También se puede emplear el hidrófono, sistema que transforma las vibraciones sonoras detectadas gracias a su micrófono subacuático, en energía eléctrica la cual aporta información sobre el problema que se pueda estar produciendo. Asimismo, existen en la actualidad algunas soluciones donde los sistemas de detección están permanentemente instalados en el sistema, ofreciendo un control continuo. Este avance permite conocer más a fondo la evolución que ha podido ir siguiendo las fugas antes de llegar a un empeoramiento.



*Ilustración 30. Detección de fugas en tuberías mediante pruebas acústicas*

- **Mantenimiento en válvulas:** Las válvulas son elementos que pueden fallar de distintos modos, según el régimen de trabajo de las mismas, así como las condiciones operativas y la instalación de las mismas. Algunos modos de fallo

pueden ser: ejes doblados o rotos, fugas en empaquetaduras, suciedad acumulada, depósitos en obturador y asientos, juntas rotas, erosión y corrosión en el cuerpo, problemas en sistemas de control o actuadores, etc.

La detección de fugas internas a tiempo implica un gran ahorro de costes que van asociados a paradas de emergencia, pérdidas de producción, reducción de eficiencia energética e impacto en el medio ambiente. Algunos estudios demuestran que casi 1 de cada 10 válvulas de instalaciones industriales presentan algún síntoma relacionado con las fugas internas. Por ello, cobra importancia la reducción o eliminación de dichas fugas, para aquellas empresas que consideran que la filosofía de mantenimiento se debe centrar en el seguimiento de la condición de cada uno de sus sistemas. En el caso del dique seco es fundamental, pues podría suponer la parada en el llenado del dique, por ejemplo, lo que trae consigo costes por demoras y retrasos.

Las pruebas concretas que se llevan a cabo en las válvulas son:

- **Prueba de ultrasonidos:** Para ello, lo primero que hay que determinar la frecuencia de sonido que provoca la fuga ya que, en la mayoría de los casos, las señales ultrasónicas generadas por una fuga tienen un amplio rango de frecuencias que, sumadas, constituyen el típico ruido blanco característico de una fuga y, en ocasiones, de mayor intensidad que cualquier componente audible presente. Factores como la dimensión, forma de cuerpo y asientos, obturador, tipo de fluido, viscosidad, área de paso, caída de presión, etc. influyen en la respuesta final. No obstante, los equipos de ultrasonidos modernos permiten seleccionar la frecuencia de corte, e incluso rangos de frecuencias, a fin de discriminar información de escaso interés. Además, los sistemas que trabajan a altas presiones producen intensos niveles de ultrasonido que se propaga con facilidad por las estructuras (tuberías, soportes, válvulas, depósitos, etc.) En estos casos pudiera ser complejo determinar la presencia de una fuga interna en una válvula, ya que el nivel de fondo de ultrasonido es muy elevado en comparación con el generado por la fuga. En estos casos la experiencia del operador adquiere un papel fundamental.
- **Prueba hidráulica:** Necesario para evaluar la integridad de las instalaciones sometidas a presión. Para ello, se emplea durante unas horas agua en una red de tuberías, operando a presión superior a la de trabajo, observando a continuación, el comportamiento del sistema, posibles fugas, etc.

Dentro de las válvulas se debe nombrar el mantenimiento que se realiza a los rodamientos de las mismas. Se debe verificar que los tornillos de sujeción de las cajas de rodamientos del eje motriz estén debidamente ajustados. Hay que asegurarse de que no haya fugas de aceites o grasas lubricantes sobre éstos, pues esta condición puede favorecer que se aflojen e inspeccionar los conjuntos de rodamientos, controlar los soportes y rodamientos y los puntos de lubricación.

- **Mantenimiento en bombas:** El mero hecho del funcionamiento de estos sistemas provoca distintos problemas, que, si no son resueltos a tiempo, pueden traer funcionamientos inadecuados de los mismos, entre los más destacables se pueden nombrar:
  - Desgaste, el cual es provocado por el uso habitual del sistema. Un correcto mantenimiento hará que se prolongue la vida útil de la bomba. Los distintos desgastes que se pueden producir en una bomba se producen por erosión, adhesivo, corrosivo o por fatiga.
  - Poca o mala lubricación, afecta el rendimiento de la misma, haciendo que trabaje de manera forzada.
  - Oxidación, a través del contacto con el agua y el cambio de temperaturas.

Para evitar estos problemas se deben incluir diferentes acciones en el plan de mantenimiento de las mismas:

- Comprobación de la velocidad de salida del agua con respecto a la bomba
- Examinar posibles fugas, fisuras, ... (**Inspección visual**)
- Lubricación de cojinetes
- Comprobación de los puntos de montaje y acoplamientos
- Comprobar la altura de agua con respecto a la base
- Limpieza general de filtros, polvo y suciedad

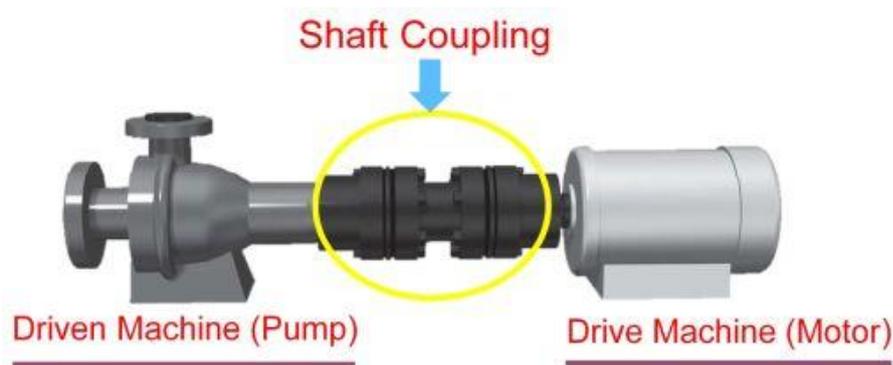
En el caso de las bombas del dique seco, se debe tener en cuenta también el mantenimiento de los motores eléctricos que mueven dichas bombas, para estos se deben tener en cuenta algunas consideraciones:

- Al tratarse los motores eléctricos de máquinas rotativas y normalmente de uso continuo, son propensos a sufrir más desgaste en sus elementos mecánicos y sobre todo en rodamientos y cojinetes. Estos requieren de una especial atención y llevar a cabo un mantenimiento frecuente con ellos.
- Otro componente de gran importancia es el material aislante, porque si este falla puede hacer que la máquina quede inutilizada. La degradación del material aislante debido a fatigas mecánicas, eléctricas, contaminación, temperatura y humedad son las causas que suelen provocar los fallos en el material aislante. Se debe tener en cuenta que un posible fallo en el material aislante, puede provocar fallos incluso catastróficos para las máquinas eléctricas. Por todo ello, es muy recomendable planificar mantenimientos frecuentes y preventivos para estos elementos consiguiendo así minimizar las interrupciones no programadas de los procesos productivos.

Un elemento importante a tener en cuenta dentro del mantenimiento de las bombas son los acoplamientos que existen entre estas y el motor. Los problemas de mantenimiento del acoplamiento pueden ser sutiles y difíciles de diagnosticar. Por lo general, se manifiestan como fallos en los cojinetes o fallos en los ejes debido a cargas de flexión excesivas generadas por una alineación incorrecta del equipo,

combinada con una mala elección del diseño del acoplamiento. Los acoplamientos pueden ser metálicos, lubricados o elastoméricos.

Los acoplamientos elastoméricos requieren poco mantenimiento y ninguna lubricación, son fáciles de instalar y pueden amortiguar las cargas de flexión del eje manteniendo los valores de carga alejados de los rodamientos. Generalmente, el calor es el mayor enemigo de un acoplamiento elastomérico. Puede acumularse a partir de fuentes ambientales, flexión del eje inducida por desalineación o actividad de vibración torsional si el sistema involucra un controlador alternativo o un equipo accionado.



*Ilustración 31. Acoplamiento entre la bomba y el motor*

La inspección de mantenimiento general de los acoplamientos de goma implica inspecciones visuales minuciosas, inspección/recertificación del par de apriete de los pernos y desmontaje completo del acoplamiento e inspección visual. Al inspeccionar un acoplamiento elastomérico, es normal que se deforme (o se tuerza) angularmente después de un tiempo de funcionamiento. La superficie exterior del elastómero comúnmente puede exhibir un endurecimiento menor y un agrietamiento ligero. El fabricante del acoplamiento debe proporcionar las pautas adecuadas para medir y evaluar el ángulo máximo permisible de ajuste/torsión y las medidas de grietas que dictarían el reemplazo.

# **4. Mantenimiento centrado en fiabilidad**

## 4.1. Introducción al mantenimiento

El mantenimiento de cualquier equipo o sistema, se define como el conjunto de acciones necesarias durante el ciclo de vida de estos, para conseguir mejorar la productividad de los sistemas, aumentar la disponibilidad, pudiendo así cumplir con los plazos fijados y alargar su vida útil. Todo ello se traduce en reducción de pérdidas económicas por paradas o retrasos en el proceso de producción.

Según la Federación Europea de Sociedades Nacionales de Mantenimiento, se define el mantenimiento como: *“todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual puede llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes”*.

Cada vez se presta más atención a estas acciones, ya que, no sólo es importante aumentar la producción y reducir pérdidas, sino que, para las empresas, el alcance llega también a reducir los gastos por mantenimientos en sus equipos y sistemas, seguridad en las instalaciones y protección del medio ambiente, siendo estos últimos dos requisitos exigidos cada vez más.

Existen diferentes tipos de mantenimientos en función de los sistemas con los que se trabaje, la criticidad de los mismos, las veces que se use o no el sistema, etc. Podemos definir entonces dos tipos principales de mantenimiento:

- **Mantenimiento correctivo:** Es aquel que se lleva a cabo cuando se ha detectado el fallo de algún sistema o parte del mismo. Supone un sobre costo en la explotación del sistema, ya que suelen ser reparaciones que no están previstas a priori.
- **Mantenimiento preventivo:** Es aquel que se lleva a cabo de forma regular para mantener en las mejores condiciones posibles los equipos o sistemas, anticipándose así a posibles averías que pudieran provocar la acción de mantenimientos correctivos, lo que podría suponer reparaciones de mayor envergadura, y, por tanto, mayor gasto económico. Este se puede dividir en dos tipos:
  - **Mantenimiento preventivo a intervalos de tiempo fijo:** Se lleva a cabo cada cierto tiempo de funcionamiento del sistema, normalmente fijado por el fabricante, momento en el cual se revisará y, si fuera necesario, reparará algún componente del mismo.
  - **Mantenimiento preventivo según condición:** A través de una serie de medidas y análisis constantes de los parámetros de funcionamiento del sistema, se puede ver cuándo es el momento de realizar algún tipo de reparación en el mismo, logrando así un aprendizaje continuo por parte de los operarios que manejan el sistema.

La situación ideal se produciría cuando únicamente hubiese que emplear mantenimiento preventivo, ya sea predictivo o con intervalos de tiempo fijados. Sin embargo, en todo equipo o sistema se producen fallos o roturas que no se pueden predecir en todos los casos, y, por tanto, el mantenimiento correctivo estará siempre presente en el plan de mantenimiento.

Se pueden definir, además, una serie de conceptos que tienen relación directa con el mantenimiento y su gestión, y que permiten ver de manera objetiva la importancia del mismo dentro de un proceso productivo.

El primer concepto a tener en cuenta es el de **disponibilidad**. Este permite conocer los ingresos o bien las pérdidas que ha podido producir el hecho de no tener un equipo o sistema **disponible** en el momento en el que se requería. Se puede cuantificar su valor si se tiene en cuenta la relación entre las horas teóricas en las que se debía haber estado trabajando en el sistema, con respecto a las horas que realmente se ha trabajado. Si estas últimas son mayores, es evidente, que el sistema de mantenimiento no ha sido efectivo, y en consecuencia se ha empleado más tiempo del necesario y seguramente se ha invertido más dinero del necesario.

Sosteniendo al concepto de disponibilidad se encuentra la mantenibilidad y la fiabilidad. Esto quiere decir que, si uno de estos dos conceptos falla, o se ejecuta de manera no ideal, la disponibilidad del equipo o sistema puede verse comprometida.



*Ilustración 32. Concepto de disponibilidad. Fuente: TFM: "Análisis del coste operacional y de gestión de mantenimiento de un RO-PAX", Jennifer Cruz Díaz*

La mantenibilidad se define como una función estadística que calcula la probabilidad de que un equipo o sistema sea reparado en un tiempo determinado, para unas condiciones de trabajo normales. En este concepto interviene la habilidad y experiencia del personal de mantenimiento, disponer de los equipos adecuados para cada tipo de reparación, emplear los procedimientos adecuados, etc.

Por su parte la fiabilidad, es otra función estadística que define la probabilidad de que un sistema o equipo funcione en condiciones nominales, después de haber pasado un tiempo determinado. En este caso se pueden distinguir dos conceptos diferentes dentro del concepto general de fiabilidad. Por un lado, se encuentra la fiabilidad inherente o de diseño, es decir, la capacidad de que los equipos o sistemas se mantengan en buenas

condiciones de mantenimiento en consecuencia del diseño que se pensó y llevo a cabo para cada uno de ellos.

Por otro lado, la fiabilidad operacional o funcional, se define como la capacidad de un sistema o equipo de llevar a cabo sus funciones y en caso de fallo, producir los menores perjuicios posibles. Esta a su vez, se tiene una serie de componentes, los cuales se describen en siguiente ilustración:

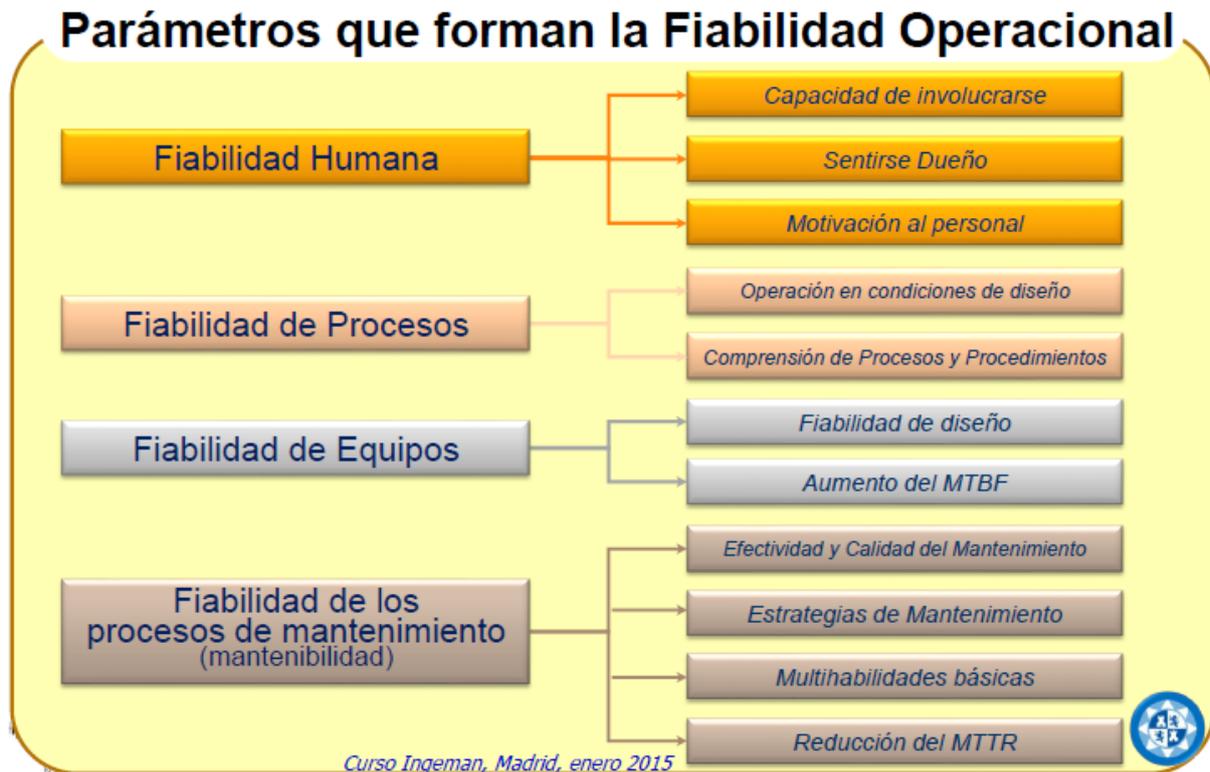


Ilustración 33. Parámetros que conforman la Fiabilidad Operacional. “Curso RCM” (2020)

Por tanto, tal y como se aprecia en la ilustración 32, obtener altos grados de mantenibilidad y fiabilidad, trae como consecuencia un alto grado de disponibilidad del equipo o sistema que se esté estudiando. Aunque también se debe tener en cuenta el factor tiempo, es decir, los equipos tienen una vida útil concreta, que, llegado a un punto, saldrá más rentable la sustitución del equipo o sistema, que seguir reparando, ya que conforme aumenta el tiempo de uso, las reparaciones serán en principio más complicadas y costosas.

Estos conceptos como se ve, son, en definitiva, muy importantes cuando se habla le gestión del mantenimiento de cualquier sistema ya que, si tras realizar el estudio de estos campos, se obtiene un alto grado de disponibilidad, se tiene un claro indicador de que el mantenimiento realizado es correcto y permite llevar a cabo las tareas productivas que sean necesarias de forma óptima, y salvo situaciones no controlables, sin fallos.

## 4.2. Metodología RCM

El mantenimiento basado en la metodología RCM (Reliability Centred Maintenance) parte de los términos descritos anteriormente, sobre todo el de fiabilidad operacional, y sigue un proceso de mejora continua con el objetivo de implantar nuevos planes de trabajo, que permitan optimizar los niveles de seguridad, disponibilidad y costes de explotación. El proceso de mejora continua sigue las fases que se describen a continuación:

- Fase 1: Definición de objetivos
- Fase 2: Jerarquización de sistemas
- Fase 3: Análisis de sistemas
- Fase 4: Diseño de planes de mantenimiento y recursos
- Fase 5: Evaluación de resultados
- Fase 6: Implantación del proceso de mejora continua, pudiendo incluir nuevas tecnologías



*Ilustración 34. Mejora continua*

El RCM por tanto lo que busca es determinar las acciones requeridas para que los equipos o sistemas puedan realizar las tareas para las que están diseñadas cumpliendo las necesidades que los usuarios puedan demandar.

Éste método estudia y responde a 7 preguntas sobre el sistema a analizar, la respuesta de las mismas, ayudará a realizar el plan de mantenimiento adecuado. Las preguntas son las siguientes:

1. ¿Cuáles son las funciones y parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer su función?
3. ¿Cuál es la causa de cada fallo funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada fallo?
5. ¿De qué manera importa cada fallo?

6. ¿Qué puede hacerse para prevenir cada fallo?

7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Para obtener la respuesta a las distintas preguntas, el RCM sigue un esquema general para la implantación de este sistema.

- **Definición de los objetivos de la empresa:** En este primer apartado se debe decidir cuál es la finalidad de la implantación de la metodología RCM dentro de la empresa. Estos objetivos pueden ser la disminución de costes, la mejora de la calidad, el aumento de la producción, mejora de la seguridad... Todos estos conceptos pueden verse reflejados numéricamente, en la etapa de análisis dentro de la mejora continua, como, por ejemplo, disminución en tanto por ciento de accidentes, aumento de la disponibilidad en un tanto por ciento, disminución de gastos de mantenimiento con respecto al año anterior, etc.
- **Formación de grupos de trabajo y facilitador:** Para llevar a cabo la implantación de la metodología RCM, debe formarse un equipo de trabajo formado por el facilitador o experto en metodología RCM, que será el encargado de introducir esta metodología en la empresa, explicando y verificando que se realiza correctamente. También debe haber programadores, ingenieros de procesos y especialistas, los cuales aportaran visiones específicas del sistema a mantener o bien algo más globales de las tareas a realizar. Por último, deben estar los propios mantenedores los cuales se encargarán de la propia tarea de mantenimiento y los operadores que son los expertos en el manejo de los sistemas o equipos a reparar.
- **Elaboración del programa de actuación, selección de sistemas, equipos o áreas de prioridad:** En este apartado, se llevan a cabo diferentes análisis de criticidad, ya sean cualitativos o semi-cuantitativos. Para ello, se emplean matrices de análisis, donde los criterios más utilizados son: seguridad, medioambiente, producción, costes y frecuencias de fallos. A continuación, se puede apreciar un ejemplo de una matriz de criticidad donde los criterios empleados son frecuencia de fallos y consecuencias:



Ilustración 35. Ejemplo de matriz de criticidad. "Curso RCM" (2020)

- **Desarrollo del contexto operativo para los elementos seleccionados:** Se debe conocer cómo se opera el sistema, conociendo también cuál es el funcionamiento buscado del mismo. Para ello es necesario recopilar información sobre el mismo como: Esquemas de funcionamiento del sistema, diagramas de bloque, manuales de diseño y operación tanto del sistema global, como de los equipos que lo conforman, etc.
  - **Definición de funciones**
  - **Analizar fallos funcionales múltiples y ocultos**
  - **Determinar modos de fallo, analizar causas, efectos y criticidad**
  - **Seleccionar tácticas de mantenimiento factibles, eficaces y rentables**

Las tareas subrayadas son las que analiza la herramienta conocida como FMECA, que además ayuda a responder las primeras 5 preguntas del RCM. A partir de ese punto, el trabajo consiste en estudiar los resultados obtenidos y poder diseñar un plan de mantenimiento efectivo, que satisfaga las necesidades y resultados obtenidos en el FMECA y conseguir esa mejora continua, objetivo de la metodología RCM.

#### **4.2.1. Herramienta FMECA**

Las siglas FMECA hacen referencia a “Failure mode, effects and critically analysis”, es decir, análisis de criticidad de efectos y modos de fallo. El FMECA se puede entender como un procedimiento utilizado para poder llevar a cabo la metodología RCM, que permite identificar los modos de fallo, los efectos que estos pueden tener en el sistema y las causas que lo provocan. Como se ha visto, el RCM se basa en la búsqueda de una mejora continua, por tanto, el FMECA es un procedimiento que se lleva a cabo de manera iterativa hasta el final de la vida útil del sistema.

Los objetivos de esta herramienta son, una vez determinados los fallos y efectos de cada modo de fallo, obtener una relación de la criticidad de cada uno de ellos. Gracias a esto, se podrán determinar las medidas recomendadas para detectar los fallos antes de que se produzcan, definiendo así las medidas preventivas, los procedimientos a utilizar y la logística necesaria, todo esto queda englobado en lo que se conoce como plan de mantenimiento. Este sistema también busca mejorar la fiabilidad y seguridad de los sistemas, así como reducir la frecuencia de ocurrencia de los fallos y que todo ello quede reflejado en la satisfacción del cliente.

##### **Estructura del FMECA:**

**1. Información requerida:** Elementos que componen el sistema con sus características, prestaciones y funciones. Diagramas funcionales con sus elementos críticos, nivel de redundancia, posición del sistema dentro de la instalación global, entradas y salidas del sistema, posibles cambios del sistema si existen diferentes modos operativos, ...

**2. Límites del sistema para el análisis:** Es importante definir los elementos que forman parte del sistema a analizar y cuáles no. Esto se puede hacer mediante la relación física y/o funcional con el resto de sistemas o elementos con los que interactúa.

**3. Niveles de análisis:** También se debe determinar el nivel de subdivisión de cada sistema para realizar el análisis. Estas decisiones las toma el equipo de trabajo en función de los objetivos a cumplir y de la información de la que se disponga.

**4. Operación del sistema:** Se deben conocer los diferentes modos de operación de los elementos, así como los posibles cambios de configuraciones y de componentes que se pudieran dar en las distintas fases operativas.

#### **Modos de fallo:**

Es necesario determinar y conocer cuáles son los modos de fallo del sistema, para identificar los elementos críticos que serán los responsables de la pérdida de todas o alguna función dentro del mismo. La manera más eficaz de poder “atacar” estos modos de fallos más frecuentes sería teniendo una lista histórica de los fallos más frecuentes. Si no se tiene, se deberá analizar cada equipo y estudiar cuáles podrían ser los fallos que pueda tener según la experiencia de la persona encargada de realizar el estudio.

Los modos de fallo tienen una serie de efectos que son los siguientes:

- Efectos locales: Haciendo referencia a los efectos que se producen sobre un componente del sistema estudiado.
- Efectos globales: Son aquellos en los que se estudian los componentes o equipos más intermedios una vez conocidos los efectos locales, para poder conocer así el impacto que todo ello tiene sobre el sistema en su conjunto.

Una vez conocidos los modos de fallo, se deben identificar cuáles han sido las causas del fallo en concreto. Para ello, deben describirse lo mejor posible las causas para un modo de fallo, aunque se puede encontrar para un mismo modo de fallo, diferentes causas de fallo. Debe describirse e identificarse las causas, basándose sobre todo en los efectos que haya podido tener sobre el modo de fallo, dándole mayor importancia a aquellas causas de fallo que repercutan en los modos de fallo de mayor criticidad, es decir, que puedan afectar en mayor medida al funcionamiento global del sistema.

En este punto es importante el método de detección del fallo, para ello es necesario conocer los medios con los que el operario de mantenimiento ha detectado el mismo, si se ha encontrado el fallo durante unas acciones preventivas, o bien, utilizando un procedimiento automático.

También es importante definir el término de tasa de fallo, que se define como un dato probabilístico que permite determinar la probabilidad de que se dé un modo de fallo, partiendo de otro elemento similar. De tal forma que, si se conoce la tasa de fallo de un elemento que haya trabajado en condiciones tanto ambientales como operativas, similares a las del elemento en cuestión, la tasa de fallo en el FMECA puede ser la misma ( $\lambda$ ). Sin embargo, si se tiene un elemento que va a trabajar en diferentes condiciones, se hará el siguiente cálculo:

$$\lambda_i = \lambda_j \cdot \alpha_i \cdot \beta_i$$

Siendo:

$\lambda_i \rightarrow$  Tasa de fallo del elemento a estudiar

$\lambda_j \rightarrow$  Tasa de fallo de un elemento similar pero operando en diferentes condiciones

$\alpha_i \rightarrow$  Probabilidad de que el elemento  $j$  tenga el modo de fallo  $i$

$\beta_i \rightarrow$  Probabilidad condicionada del efecto de fallo cuando se produce el modo de fallo  $i$

### Severidad (S):

Se define la severidad (S), como la valoración que se hace de la relevancia que tendrá el modo de fallo en el desempeño del sistema a estudiar. Esta valoración se puede hacer utilizando diferentes valores, lo más común es utilizar una numeración del 1 al 10, siendo 1 aquel fallo que no produce ningún tipo de efecto sobre el sistema, y 10 efecto peligroso y sin aviso, sobre el sistema. Para determinar esta valoración para cada fallo se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Efectos sobre usuarios o sobre el medioambiente
- Funcionalidad del sistema o proceso
- Requisitos contractuales del cliente
- Requisitos legales
- Requisitos impuestos en la garantía

Un ejemplo de tabla de severidad puede ser la siguiente:

ÍNDICE	EFECTO	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 3. Índices de severidad.

### Ocurrencia (O):

Se define la ocurrencia (O), como la probabilidad de que suceda cada modo de fallo. Es importante conocer la tasa de fallo del elemento, así como su perfil operativo. Este dato de ocurrencia (O) se puede estimar a partir de datos históricos o bases de datos, datos de ensayo de la vida del componente, lo cual lo debe proporcionar el proveedor o bien como ocurre con la severidad (S) estimaciones de los usuarios o por conocimiento de datos de equipos similares. Como ocurre con la severidad (S), se numera del 1 al 10

siendo 1 una posibilidad remota, y 10 una probabilidad muy alta. Un ejemplo de tabla de probabilidad de ocurrencia puede ser la siguiente:

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 4. Índices de ocurrencia.

### Detectabilidad (D):

La detectabilidad (D), valora, mediante una numeración como ocurre en los casos anteriores, si los modos de fallo pueden predecirse utilizando algún parámetro de medida, prueba, inspección visual, etc. Sin embargo, en este caso y a diferencia de lo que ocurre con la severidad (S) y con la ocurrencia (O), se valora de manera inversa, es decir con el 1 se definen aquellos fallos que es casi seguro que sean detectados, y con el 10 aquellos que son imposible de detectarlos. Un ejemplo de tabla de detectabilidad puede ser el siguiente:

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 5. Índices de detectabilidad.

### Nivel de Prioridad de Riesgo (NPR):

El número de prioridad de riesgo (NPR), es el valor numérico utilizado para ordenar los modos de fallo según su criticidad. Este valor se obtiene mediante el producto de los 3 términos descritos anteriormente, es decir:

$$\text{NPR} = \text{S} \cdot \text{O} \cdot \text{D}$$

Si se lleva a cabo una matriz de criticidad donde se enfrente el NPR contra la severidad, se podrá obtener la prioridad de las acciones que sean necesarias para eliminar o reducir los efectos de algunos modos de fallo. Si se encuentran resultados de NPR iguales, será más crítico aquel que tenga mayor valor de severidad.

Es importante relativizar el valor del NPR obtenido dado que este puede dar lugar a confusiones, ya que, por ejemplo, se pueden llegar a obtener idénticos valores de NPR teniendo en un caso el doble de severidad que en otro:

S	O	D
10	3	2
NPR = 60		

S	O	D
5	4	3
NPR = 60		

Es por ello que cobra importancia el hecho de realizar una matriz de Severidad – NPR, para poder considerar este tipo de circunstancias. Además, el NPR presenta otra serie de factores a tener en cuenta.

- Sensibilidad a cambios pequeños. Si tenemos dos valores elevados, el tercer valor cobra una influencia enorme, haciendo que el NPR sea muy diferente:

S	O	D
9	9	3
NPR = 243		

S	O	D
9	9	4
NPR = 324 (+81)		

- En la tabla de ocurrencia, hay valores intermedios de probabilidades que no son considerados. Volviendo a la tabla 4, entre el índice 4 y el 5 puede ocurrir que la probabilidad de 4 sea una quinta parte que la de 5. Sin embargo, el NPR no se diferencia ni mucho menos, en esa magnitud.

S	O	D
6	4	2
NPR = 48		

S	O	D
6	5	2
NPR = 60		

Por todo ello, la determinación de los índices de severidad, ocurrencia y detectabilidad deben ser escogidos con cautela, siguiendo un juicio razonable y siendo revisados completamente antes de llevar a cabo conclusiones y tomar decisiones que

puedan no ser completamente efectivas, debido a las deficiencias que presenta el valor NPR en algunos casos concretos, como se ha visto.

A continuación, se puede ver un ejemplo de índices de riesgo siguiendo posibles valores del NPR obtenidos:

TABLA DE ÍNDICE DE RIESGO	
Riesgo bajo (insignificante) – $1 < \text{NPR} < 159$	
Riesgo moderado (tolerable) – $160 < \text{NPR} < 249$	
Riesgo significativo (Se deben tomar ciertas medidas) – $250 < \text{NPR} < 359$	
Alto riesgo (intolerable) – $360 < \text{NPR} < 1000$	

Tabla 6. Índice de riesgo

El último paso, una vez definidos todos los puntos anteriores, será concretarlo todo en una hoja de trabajo, donde queden reflejados cada uno de los componentes, sus fallos funcionales, modos de fallo (efecto local y efecto final), los índices de ocurrencia, severidad y detectabilidad, el valor de NPR. Así como será necesario realizar las matrices de riesgo y severidad. Como se ha dicho anteriormente, este ejercicio se hará de manera periódica, comparando los distintos estudios realizados, viendo así si las medidas adoptadas posteriormente al análisis de los resultados obtenidos, son adecuadas, o si por el contrario, hay que seguir cambiando cosas → Mejora continua.

Se puede observar a continuación, un ejemplo de hoja de trabajo:

SUBSISTEMA: MÓDULO DEL GRUPO PROPULSOR			MODO POTENCIAL DE FALLO	EFECTO POTENCIAL DEL FALLO		SEVERIDAD	MECANISMO POTENCIAL DEL FALLO	OCURRENCIA	CONTROL DEL PROCESO	DETECCIÓN	NPR	ACCIÓN RECOMENDADA	RESPONSABLE Y FECHA DE FINALIZACIÓN FIJADA	RESULTADOS DE LA ACCIÓN				
MONTAJE	SUBMONTAJE	COMPONENTE		EFECTO LOCAL	EFECTO FINAL									ACCIÓN TOMADA	S	O	D	NPR
Reductora	Cojinetes	Chumacera de apoyo	Lubricación pobre Desgaste	Pérdida de energía	Fallo total catastrófico	9	Falta de caudal	4	Verificación periódica del caudal	7	252	Verificación de caudal mediante SCADA						
Reductora	Cojinetes	Cojinete planetario	Lubricación pobre Desgaste	Pérdida de energía	Fallo total catastrófico	9	Falta de caudal	4	Verificación periódica del caudal	7	252	Verificación de caudal mediante SCADA						
Reductora	Cojinetes	Cojinete del eje	Lubricación pobre Desgaste	Pérdida de energía	Fallo total catastrófico	9	Falta de caudal	4	Verificación periódica del caudal	7	252	Verificación de caudal mediante SCADA						
Reductora	Sist. de refrigeración	Manguera	Rotura	Pérdida de refrigerante	Sobrecalentamiento Falta de refrigeración	6	Mala conexión	2	Control del apriete	8	96	Verificación de apriete durante la revisión						
Reductora	Sist. de refrigeración	Bomba	Desalineación Falta de lubricación Falta de presión	Vibraciones	Sobrecalentamiento Falta de refrigeración Fallo total catastrófico	10	Rotura de pernos de sujeción	3	Control de vibraciones con SCADA	4	120	Verificación de apriete de pernos durante la revisión						
Reductora	Sist. de refrigeración	Radiador	Picado	Pérdida de refrigerante	Falta de refrigeración	6	Corrosión	2	Control de temperatura con SCADA	9	108	Inspección visual durante las revisiones						
Reductora	Engranajes	Eje hueco	Grietas por fatiga	Rotura del eje	Colapso. Fallo total catastrófico	9	Vibraciones Defectos de fundición	5	Control de vibraciones mediante Scada. END	9	405	END durante las inspecciones						
Reductora	Engranajes	Soporte planetario	Grietas por fatiga	Rotura de la base. Vibraciones	Colapso. Fallo total catastrófico	9	Vibraciones.	5	Control de vibraciones mediante Scada. END	8	360	END durante las inspecciones						
Reductora	Engranajes	Engranaje planetario	Rotura de diente	Resbalamiento entre engranajes	Parada de transmisión de energía	8	Desalineación, desgaste, fatiga	5	Control de vibraciones	9	360	Control de huecos durante las inspecciones. END						

Ilustración 36. Ejemplo de hoja de trabajo.

## **Beneficios del FMECA:**

La utilización de la herramienta FMECA dentro de la metodología RCM, permite identificar en la fase de diseño algunos defectos que podrían desencadenar fallos potenciales o bien efectos significativos que pudieran poner en riesgo el funcionamiento del sistema. También puede ayudar a que se mejore el programa de inspección detectando modos de fallo potenciales, mejorando también los controles de calidad, inspecciones, controles, etc. Todo ello ayudará a mejorar el diseño y fabricación, aumentando la fiabilidad de cada uno de los sistemas.

Además, puede ayudar a detectar aspectos relacionados con la seguridad del equipo o sistema o también el incumplimiento de algunos requisitos que vengan definidos por el cliente o por el reglamento.

## **4.3. Realización del FMECA**

### **4.3.1. Sistema de estudio: Dique Seco**

En este primer sub-apartado se abordarán aquellos primeros puntos que son necesarios a la hora de realizar el FMECA, y que sobre todo se centra en las circunstancias operativas y ambientales del dique seco, los límites del sistema, elementos que componen el mismo, funciones principales y secundarias y por último los modos de fallo, efectos y consecuencias.

En primer lugar, definimos el sistema de estudio, que en este caso se trata de un astillero de reparaciones de buques o artefactos flotantes. Dentro del mismo se encuentra el subsistema que es el objeto principal de estudio, como es el dique seco. En los primeros apartados del trabajo, se define con más profundidad el dique seco, a grandes rasgos se puede definir el mismo como una estructura cerrada, inundable gracias a los sistemas que permiten esto a través de la compuerta, siendo en este estudio del tipo flotante o barco puerta, que es como su propio nombre indica una puerta flotante, que puede ser retirada para que puedan entrar y salir las embarcaciones. Este movimiento de la compuerta se realiza gracias a las bombas y motores que hacen que la puerta adquiera agua de lastre, permitiendo la flotabilidad de la misma, siendo posteriormente arrastrada gracias a los buques auxiliares que participan en la maniobra. Por tanto, dentro del sistema que es el astillero, los límites del subsistema (dique seco), serán las propias paredes del mismo, incluyendo también los equipos que puedan quedar fuera de estas, como lo serán bombas y otros equipos dinámicos, los cuales se encuentran concentrados en lo que se conoce como casa de bombas.

Así pues, en nuestro sistema de estudio tendremos, en el propio barco puerta, un sistema de válvulas que permitirán la apertura de compuertas en el mismo inundando el dique. Además de un sistema de bombas y motores que permitirán, una vez que el dique esté lleno, deslastrar agua para empezar a flotar y abrir el dique permitiendo la entrada del buque.

Por otro lado, el barco puerta consta de una goma lateral que permite el cierre estanco cuando esta parte entra en contacto con las paredes del dique, los apoyos en los que descansa la estructura en su posición de cerrado, así como las luces de navegación (necesarias ya que el barco puerta será remolcado) y norays de amarre para llevar a cabo la maniobra de remolque.



*Ilustración 37. Elementos del barco puerta*

Es importante recordar que la compuerta del dique seco se comporta como un buque en cuanto a estabilidad se refiere. Es decir, para poder flotar y desplazarse permitiendo la entrada del buque al dique, necesita lastrar o deslastar una serie de pesos que le permitan flotar y mantener la estabilidad del conjunto. Para ello, se diseña la compuerta separando la misma en una serie de tanques que permitan lastrar o deslastar cada uno de ellos en el momento que se requiera para conseguir dicha estabilidad.

Para el dique seco que se va a tratar, se puede tomar como ejemplo la compuerta de la siguiente ilustración, la cual tiene 35,4 metros de largo y 3 metros de ancho. Esta puerta tendrá 4 tanques para poder lastrar agua. Además, tendrá 2 tanques de lastre fijo en el fondo, uno de 120 toneladas en el fondo y otro superior a este de 325 toneladas. Se puede apreciar también los diferentes calados que existirán en función de la situación de lastre que se tenga en cada momento. Un calado de 7,2 metros en la situación de lastre fijo, una estimación de 8,5 metros de calado con la marea baja y 10,5 metros de calado en una situación normal.

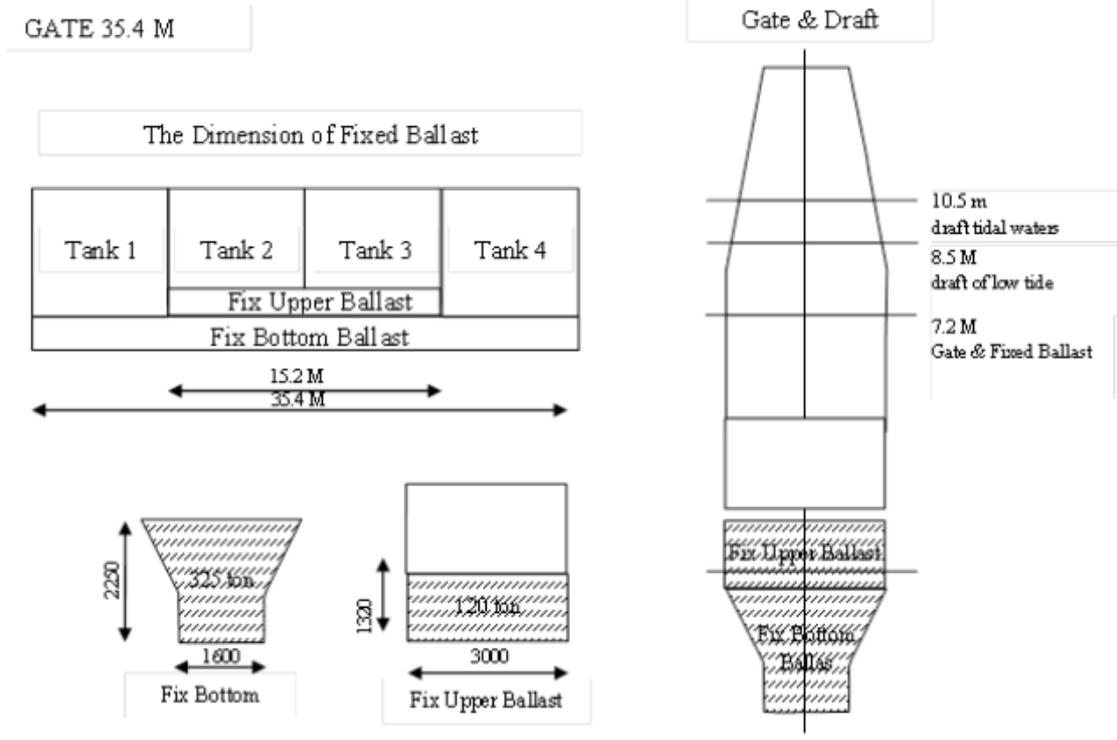


Ilustración 38. Medidas de la compuerta

Con esta distribución de compuerta, quedará un volumen de tanques de lastre de aproximadamente 213 metros cúbicos ó 213.000 litros. Para esta capacidad se decide la instalación de dos bombas de la marca “Godwin”, que tiene una capacidad de achique de 95 metros cúbicos cada hora.



Ilustración 39. Bomba de achique para el lastre del barco puerta

Por otro lado, ajeno al barco puerta, se encuentran los sistemas que permiten el vaciado del dique los cuales están manejados mediante un sistema de bombas, motores y válvulas ubicados bien en un entorno próximo a la propia compuerta o bien en lo que se conoce como casa de bombas, que es un edificio anexo al dique seco y que será el lugar escogido en este caso concreto.

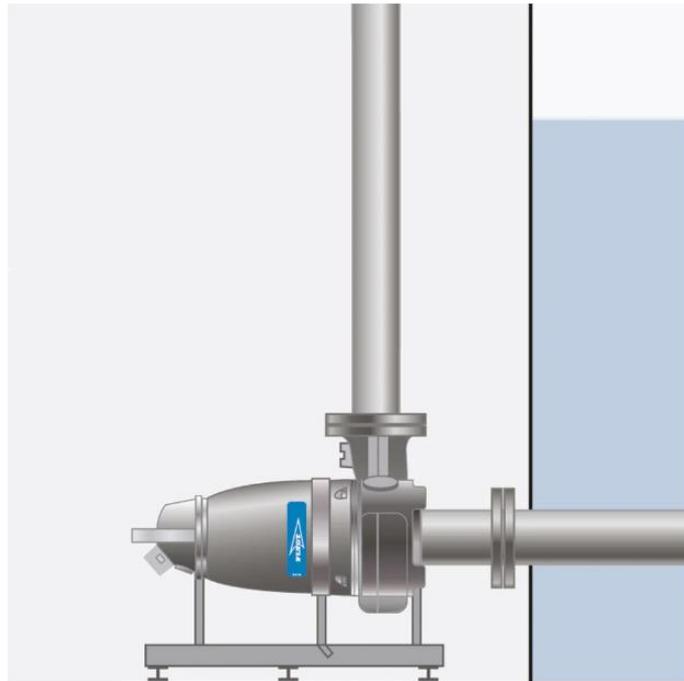
Se estima un tamaño medio de dique seco, tomando como referencia el dique seco del astillero de Ferrol, Galicia, el cual tiene unas dimensiones de 147 metros de largo, 27 de ancho y unos 12 metros de profundidad, lo que resulta en unos 48.000 metros cúbicos o 48.000.000 litros. No todo el volumen del dique es ocupado por agua, ya que se tiene que tener en cuenta el espacio que ocupará el volumen de carena del buque que vaya a ser reparado.

Por otro lado, teniendo en cuenta que un dique de media y en función del tipo de embarcación con la que se esté tratando tarda entre 8 y 10 horas en ser drenado, se ha optado por la elección de dos bombas de capacidad de achique media de la marca “Flygt” cuya capacidad de descarga es de 500 litros por segundo y de 15 a 22 KW de potencia. Esta descarga permitirá en un tiempo de 8 horas, achicar unos 30.000.000 de litros de agua.



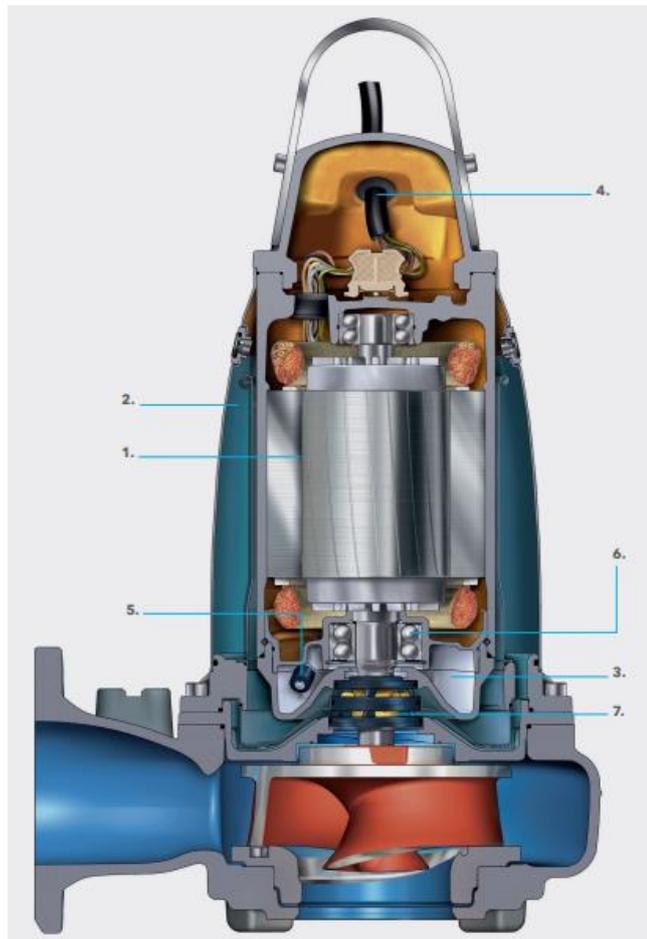
*Ilustración 40. Tipo de bomba elegida*

Este tipo de bombas permite su instalación tanto sumergidas, de forma portátil, instalación seca vertical tal y como se veía en la ilustración 25, o bien en una instalación seca horizontal en lo que sería la casa de bombas, como se apreciaba en la ilustración 26, que es como irá en esta situación de estudio e instalada como se aprecia en la siguiente ilustración.



*Ilustración 41. Instalación de la bomba en la casa de bombas*

Esta bomba en particular tiene una serie de elementos que mejoran su funcionamiento y ayudan al mantenimiento de las mismas:



*Ilustración 42. Desglose de los elementos de la bomba*

1. El motor está diseñado y fabricado para proporcionar una mayor refrigeración porque las pérdidas de calor están concentradas alrededor del estator.

2. Estas bombas poseen una refrigeración eficiente, ya que se enfrían bien por el líquido circundante o líquido/aire y en aplicaciones más exigentes, con refrigeración interna de circuito cerrado.

3. Para aumentar la confiabilidad operativa, un cámara de inspección permite unas rápidas verificaciones puntuales y ayuda al mantenimiento. En el caso de fallo, un sensor incorporado proporciona una advertencia temprana de cualquier fluido acumulado, reduciendo así el riesgo de caros trabajos de reparación.

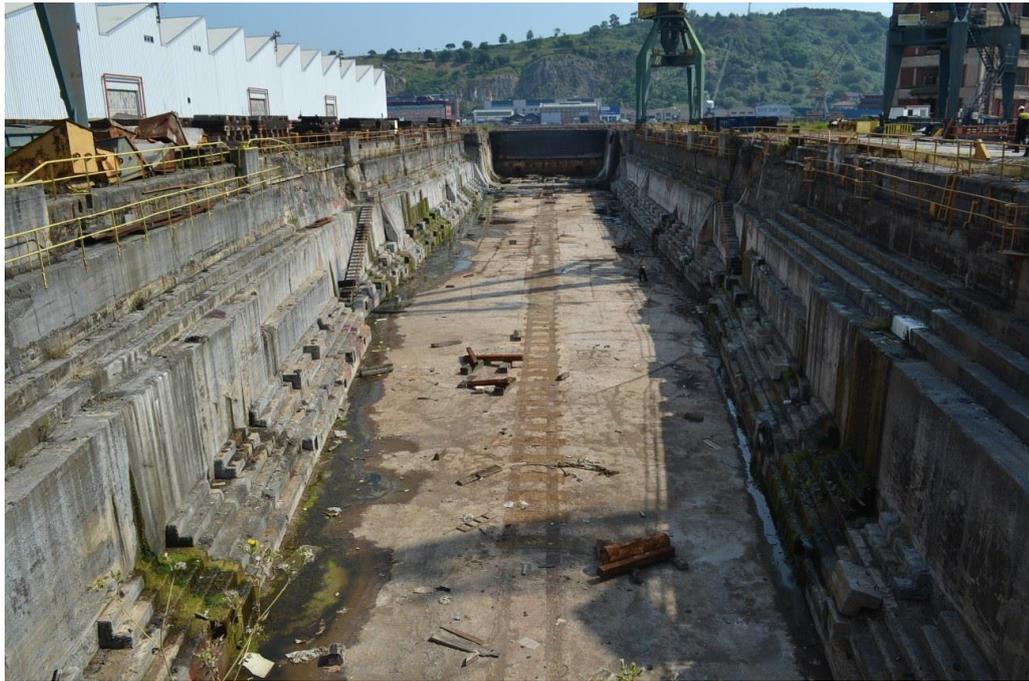
4. La entrada de cables es resistente al agua y proporciona funciones de sellado y alivio de tensiones para garantizar una instalación segura.

5. Consta de sensores térmicos integrados en los devanados del estator evitan el sobrecalentamiento, y un sensor de fugas en la cámara de inspección minimizando el riesgo de fallo del cojinete y del estator.

6. Los rodamientos proporcionan un mínimo de vida útil de 50.000 horas.

En cuanto a las condiciones operativas y ambientales, se trata de un lugar muy particular dentro del astillero, ya que puede estar durante grandes periodos de tiempo sin ser utilizado, en función de la demanda de este servicio, es decir, en función de los buques que necesiten ser reparados o cualquier otro tipo de necesidad que pudiera surgirles. Se trata de una estructura que, además, está en contacto directo con el mar, con lo que esto conlleva, en cuanto a humedad, salitre, etc. Sin embargo, al tratarse en un gran porcentaje en una estructura de hormigón, lo que más puede verse deteriorado tanto por el paso del tiempo sin utilizar, tanto como por las condiciones ambientales adversas, son los equipos dinámicos como bombas, válvulas, tuberías, etc.

En la siguiente imagen se puede apreciar la severidad que puede tener el mar y el efecto que puede tener con las estructuras de un dique seco, debido a la obvia proximidad que tiene el mar con el mismo. Se aprecia cómo queda incluso un poco de agua estancada, ya sea por la lluvia o por el no achique total del dique, efecto que puede generar más humedad y perjudicar más a las distintas estructuras que conforman el dique seco, formando algunas zonas con aspecto “mohoso”, lo cual no da una buena imagen con respecto al cliente.



*Ilustración 43. Dique seco en un astillero del País Vasco.*

Las funciones que tiene el dique seco no son muy numerosas, siendo la principal la de acoger y reparar buques. Como funciones secundarias se pueden nombrar las siguientes: Permitir la inundación y achique del dique, mantener estanca la zona del barco puerta evitando filtraciones de agua, el movimiento y la flotabilidad del barco puerta, mantener los norays de amarre operativos, poder instalar correctamente los picaderos y, por último, presentar unas condiciones de acceso al dique adecuadas para el posterior trabajo de los operarios.

#### **4.3.2. Definición de las tablas de severidad, ocurrencia y detectabilidad**

El siguiente paso que hay que llevar a cabo es el de definir las tablas de severidad, ocurrencia, detectabilidad y también para el índice de riesgo (NPR). En este caso se adoptarán las tablas e índices obtenidos de los apuntes: *Gregorio Munuera (2020). Apuntes titulados “Análisis de criticidad de efectos y modos de fallo (FMECA)”*, y que fueron puestos de ejemplo en las **tablas 3, 4, 5 y 6**.

#### **4.3.3. Realización de la hoja de trabajo**

Una vez definidos los puntos anteriormente descritos, se puede realizar la hoja de trabajo, la cual se encuentra en el **Anexo 1 - Hoja de trabajo FMECA**. En la misma se define la función principal del astillero como es la reparación y construcción de embarcaciones. A partir de ahí se van definiendo el resto de conceptos necesarios para la

elaboración de un plan de mantenimiento, donde se tienen en cuenta los índices de severidad, ocurrencia, detectabilidad y el producto de los mismos, definido como NPR.

Gracias a esta hoja de trabajo se pueden detectar los modos de fallo del sistema de estudio, partiendo de las premisas del concepto del mantenimiento basado en la fiabilidad. Es decir, se parte de las funciones que realiza el dique seco, y a partir de ahí, se va desglosando y detectando los fallos funcionales, sacando los efectos locales y globales, los modos de fallo y posibles causas. Además, se puede observar con facilidad las tareas de mantenimiento que se están realizando actualmente y su periodicidad, junto con las tareas que, tras el estudio y los modos de fallo se están produciendo, se deciden aplicar a partir de ahora en el dique seco, junto con su periodicidad de la misma forma. Así pues, se podrá desarrollar un plan de mantenimiento de acuerdo con estos resultados observables, que junto con las matrices de riesgo y criticidad que se estudiarán a continuación, se obtendrá la planificación temporal del mantenimiento y lo que conocemos como gamas de mantenimiento.

Tras los índices definidos en la hoja de trabajo del FMECA, se pueden realizar las matrices de riesgo y criticidad de las causas obtenidas en la hoja de trabajo, las cuales se encuentran en el *Anexo 2 – Matrices de riesgo y criticidad*. A continuación, se va a explicar el criterio que se ha utilizado para realizar estas matrices, para que se entienda perfectamente el Anexo.

Partiendo en primer lugar de la matriz de riesgo:

<b>S E V E R I D A D</b>	<b>9 o 10</b>	5	M	M	A	A	A
	<b>7 o 8</b>	4	M	M	A	A	A
	<b>5 o 6</b>	3	B	M	M	A	A
	<b>3 o 4</b>	2	B	B	M	M	A
	<b>1 o 2</b>	1	B	B	B	M	A
		<b>INDICADOR</b>	1	2	3	4	5
	<b>INDICES</b>		<b>1 o 2</b>	<b>3 o 4</b>	<b>5 o 6</b>	<b>7 o 8</b>	<b>9 o 10</b>
			<b>OCURRENCIA</b>				

*Ilustración 44. Matriz de riesgo*

Se puede observar que en las filas está la ocurrencia y en columnas la severidad. El apartado destinado a los índices se refiere a los índices de las tablas que aparecen en las tablas 3, 4, 5 y 6. Cada índice tiene un indicador que es el que será el que indique en que punto de la matriz se encuentra cada componente, de tal forma que a modo de ejemplo:

Cuerpos extraños en bombas y válvulas: Severidad 9 (Indicador 5), Ocurrencia 5 (Indicador 3), se encontrará en el punto A, tal y como se muestra en la siguiente imagen.

S E V E R I D A D	9 o 10	5	M	M	A	A	A
	7 o 8	4	M	M	A	A	A
	5 o 6	3	B	M	M	A	A
	3 o 4	2	B	B	M	M	A
	1 o 2	1	B	B	B	M	A
		INDICADOR	1	2	3	4	5
	INDICES		1 o 2	3 o 4	5 o 6	7 o 8	9 o 10
			OCURRENCIA				

Ilustración 45. Ejemplo de trabajo con la matriz de riesgo

Esto se irá dejando en forma de listado en la pestaña “Resultados matriz de riesgo/criticidad”.

Lo mismo ocurre con la matriz de criticidad, pero cambiando la ocurrencia por el NPR:

S E V E R I D A D	9 o 10	5	M	M	A	A	A
	7 o 8	4	M	M	A	A	A
	5 o 6	3	B	M	M	A	A
	3 o 4	2	B	B	M	M	A
	1 o 2	1	B	B	B	M	A
		INDICADOR	1	2	3	4	5
	INDICES		1 < NPR < 80	81 < NPR < 159	160 < NPR < 249	250 < NPR < 359	360 < NPR < 1000
			NPR				

Ilustración 46. Matriz de criticidad

De esta forma, en el **Anexo 2 – Matrices de riesgo y criticidad**, se ha destinado 1 pestaña donde vienen definidas las matrices tal y como aparecen en las ilustraciones 37 y 39 y una pestaña para cada uno de los resultados de las matrices de riesgo y criticidad.

Matriz de riesgo	Resultados matriz de riesgo	Matriz de criticidad	Resultados matriz de criticidad
------------------	-----------------------------	----------------------	---------------------------------

Ilustración 47. Distribución de pestañas en el Anexo 2 – Matrices de riesgo y criticidad.

## 4.4. Análisis de resultados

Atendiendo en primer lugar los resultados de la matriz de riesgo:

Causas	INDICADORES		Resultado Matriz
	Severidad	Ocurrencia	
Cuerpos extraños en bombas y valvulas	9	5	A
Rodamientos de la bomba en mal estado	9	6	A
Desalineación del acoplamiento de la bomba y el motor	9	6	A
Obstrucción de las compuertas de entrada de agua	9	5	A
No funcionamiento del motor de la bomba	9	5	A
No funcionamiento de las valvulas	9	5	A
Obstrucción parcial de las compuertas de entrada de agua	7	5	A
Funcionamiento parcial de las valvulas	7	6	A
Funcionamiento parcial de la bomba	7	6	A
Cuerpos extraños en bombas y valvulas	9	5	A
Rodamientos de la bomba en mal estado	9	6	A
Desalineación del acoplamiento de la bomba y el motor	9	6	A
Obstrucción de las compuertas de salida de agua	9	5	A
No funcionamiento del motor de la bomba	9	5	A
No funcionamiento de las valvulas	9	5	A
Obstrucción parcial de las compuertas de salida de agua	7	5	A
Funcionamiento parcial de las valvulas	7	6	A
Funcionamiento parcial de la bomba	7	6	A
Deformaciones en la estructura del barco puerta	6	3	M
Compuertas de entrada de agua no cerradas completamente	6	6	M
Mala operatividad en la maniobra de cierre	6	5	M
Fallo en la bomba de lastrado o deslastrado del barco puerta	7	6	A
Fallo en motores y elementos eléctricos que permiten el movimiento del sistema	7	5	A
Malas condiciones que impidan el movimiento del barco puerta	7	6	A
Obstrucción en los conductos donde entra el agua de lastre	7	5	A
Pérdidas en los tanques de lastrado y deslastrado	7	4	M
Desgaste temporal por fatiga	7	3	M
Oxidación debido al paso del tiempo	7	3	M
Condiciones adversas que los deterioran con mayor rapidez	7	4	M
Excesos de cargas producidos por un mal amarre de las estachas	7	3	M
Abandono parcial del dique durante temporadas de no uso	4	5	M
Existencia de cuerpos extraños provenientes del mar	4	3	B
Abandono parcial del dique durante temporadas de no uso	5	5	M
Aparición de pequeñas grietas producidas por condiciones ambientales adversas	5	3	M
Abandono parcial del dique durante temporadas de no uso	5	5	M
Deterioro de los accesos debido al contacto con el mar cuando el dique tiene agua	5	3	M

Ilustración 48. Resultados de la matriz de riesgo

Los resultados obtenidos en la matriz de riesgo muestran de forma directa visualmente cuales son aquellas causas de fallo con un mayor índice de riesgo. Éstas serían aquellas que están involucradas en los modos de fallo que tengan que ver con la inundación del dique y el achique del dique, ya fuera por la no entrada o salida, o bien por reducciones en los flujos de entrada y salida. La severidad en ambos casos se ha considerado alta: 9 para el caso de no entrada o salida de agua, y 7 para la reducción del flujo. Por otro lado, se ha considerado unos índices de ocurrencia y detectabilidad medios para estos casos, pues es algo que no suele ocurrir con mucha frecuencia, pero debido a los grandes parones de tiempo que suelen sufrir los diques secos, es posible en cierta medida que se pudieran producir y además sean medianamente difíciles de detectar con

rapidez. Es por ello que finalmente los NPR para estos casos resultan tener valores medios entre 160 y 200, que no son muy elevados como después se verá en la matriz de criticidad, sin embargo, si hace que entren en el apartado de alto riesgo (A) marcado en color rojo en esta matriz de riesgo.

Otros valores que aparecen con índice de riesgo alto (A), son en este caso las causas de fallo que tienen que ver con el movimiento parcial o total del barco puerta. Por ello se le ha asignado un alto grado de severidad, ya que sin el movimiento del barco puerta, será imposible iniciar la maniobra de entrada o salida del buque que necesite entrar o salir del dique. Es cierto que como ocurre en el caso anterior, la ocurrencia no es muy alta, adquiere valores medios, pero finalmente hacen que se encuentren con un índice de riesgo alto.

Para el resto de causas se puede observar que los índices de riesgo adquieren valores medios en la matriz de riesgo. Esto se debe sobre todo a que se trata de elementos de naturaleza más estructural, que suelen tener primero, una severidad menor y menor influencia directa en la actividad del dique seco y, además, una ocurrencia menor, ya que la mayoría de elementos estructurales como norays, o el propio barco puerta son elementos robustos y que a lo largo del tiempo sufren menos modificaciones.

Si extraemos ahora los resultados obtenidos en la matriz de criticidad:

Causas	INDICADORES		Resultado Matriz
	Severidad	NPR	
Cuerpos extraños en bombas y valvulas	9	225	A
Rodamientos de la bomba en mal estado	9	270	A
Desalineación del acoplamiento y el motor bomba	9	162	A
Obstrucción de las compuertas de entrada de agua	9	270	A
No funcionamiento del motor de la bomba	9	225	A
No funcionamiento de las valvulas	9	180	A
Obstrucción parcial de las compuertas de entrada de agua	7	210	A
Funcionamiento parcial de las valvulas	7	168	A
Funcionamiento parcial de la bomba	7	168	A
Cuerpos extraños en bombas y valvulas	9	225	A
Rodamientos de la bomba en mal estado	9	270	A
Desalineación del acoplamiento y el motor bomba	9	162	A
Obstrucción de las compuertas de salida de agua	9	270	A
No funcionamiento del motor de la bomba	9	225	A
No funcionamiento de las valvulas	9	180	A
Obstrucción parcial de las compuertas de salida de agua	7	210	A
Funcionamiento parcial de las valvulas	7	168	A
Funcionamiento parcial de la bomba	7	168	A
Deformaciones en la estructura del barco puerta	6	54	B
Compuertas de entrada de agua no cerradas completamente	6	108	M
Mala operatividad en la maniobra de cierre	6	60	B
Fallo en la bomba de lastrado o deslastrado del barco puerta	7	252	A
Fallo en motores y elementos eléctricos que permiten el movimiento del sistema	7	175	A
Malas condiciones que impidan el movimiento del barco puerta	7	84	M
Obstrucción en los conductos donde entra el agua de lastre	7	210	A
Pérdidas en los tanques de lastrado y deslastrado	7	112	M
Desgaste temporal por fatiga	7	42	M
Oxidación debido al paso del tiempo	7	42	M
Condiciones adversas que los deterioran con mayor rapidez	7	56	M
Excesos de cargas producidos por un mal amarre de las estachas	7	63	M
Abandono parcial del dique durante temporadas de no uso	4	40	B
Existencia de cuerpos extraños provenientes del mar	4	24	B
Abandono parcial del dique durante temporadas de no uso	5	50	B
Aparición de pequeñas grietas producidas por condiciones ambientales adversas	5	60	B
Abandono parcial del dique durante temporadas de no uso	5	50	B
Deterioro de los accesos debido al contacto con el mar cuando el dique tiene agua	5	45	B

Ilustración 49. Resultados de la matriz de criticidad

Observando los resultados de la matriz de criticidad se puede confirmar lo expuesto en los resultados de la matriz de riesgo. Es decir, los elementos que hacen referencia a posibles no entradas o salidas de agua al dique o bien, reducciones de flujo en ambos sentidos, debido a su alta severidad se siguen encontrando en puntos de alto índice de criticidad (A). También vemos lo mismo en aquellos fallos que tienen que ver con el no funcionamiento del barco puerta. Sin embargo, vemos en este caso, algunos fallos que aparecen con un índice de criticidad medio (M), siendo en la matriz de riesgo un índice alto (A), esto se explica fácilmente observando los índices de ocurrencia de dichos fallos, los cuales influyen de manera directa en el NPR que es el valor que se toma en esta matriz junto con la severidad. Algunos de estos fallos tenían que ver con malas condiciones ambientales, mala operatividad, y sobre todo daños producidos en la estructura del dique. En estos casos la ocurrencia, junto con la detectabilidad suelen ser índices bajos, lo que hace que, aunque el índice de severidad sea alto, el índice NPR termine siendo bajo. Para entender esto mejor, se puede poner el ejemplo de los norays, éstos tienen una severidad media-elevada, sin embargo, son elementos que un fallo en los

mismos es relativamente fácil de detectar visualmente, y además la ocurrencia de fallo en los mismos es baja, puesto que suelen ser elementos robustos que duran muchos años funcionando correctamente. Por tanto, el resultado final de todo ello será que tendremos un índice NPR elevado y el índice de criticidad será medio – bajo. Esto ocurre con la mayoría de elementos estructurales.

## **4.5. Consideraciones y gamas de mantenimiento**

En primer lugar, se debe tener en cuenta que los elementos como las paredes del dique, piso del dique, estructura del barco-puerta o incluso los norays, al tratarse de elementos de naturaleza más “estructural”, no será necesario que en todos los casos se realice un mantenimiento preventivo. En estos casos, se realizarán mantenimientos preventivos siguiendo datos históricos o la experiencia del personal, y/o bien algún mantenimiento correctivo que se requiera por fallos derivados del paso del tiempo o cuando sufren daños severos que podrían poner en peligro la estructura del conjunto. Además de inspecciones visuales no planeadas, es decir, sin que tengan que producirse en una serie de fechas concretas, para comprobar el estado y conservación de las mismas.

Es importante tener en cuenta a la hora de la elaboración del mantenimiento como tal, una planificación adecuada de todas las partes implicadas, donde se tenga en cuenta los siguientes aspectos:

- Los operarios o personal que realizará cada tarea concreta de mantenimiento
- La programación del mantenimiento como tal, donde se indicará los periodos de tiempo, en caso de tratarse de un mantenimiento preventivo a tiempo fijo, es decir, lo que se define como: gamas de mantenimiento.
- Desde el primer momento donde el sistema entra en funcionamiento, se deben programar las labores de mantenimiento para evitar problemas desde el principio, y no esperar a posibles fallos, para entonces empezar a poner en funcionamiento las tareas de mantenimiento.

Por último, es importante tener en cuenta que, tras finalizar cada fase de mantenimiento, se debe recopilar la información necesaria sobre las condiciones y averías que ha sufrido cada sistema o equipo para poder analizar posteriormente si el mantenimiento aplicado es el idóneo, y poder realizar una programación más exhaustiva del mismo, pudiendo modificar los intervalos en los que se debe realizar el mantenimiento, o incluso el tipo de mantenimiento como tal, es decir, seguir un proceso de mejora continua, siguiendo la metodología RCM.

También es conveniente llevar esta memoria para que se pueda ir viendo el proceso de desgaste, o de frecuencia con el que se realizan sobre todo los mantenimientos correctivos, y poder decidir llegado el momento, si convendría sustituir un elemento en concreto, antes que seguir reparándolo. Otra ventaja de esta memoria es el hecho de tener reflejado con claridad, cuales son los modos de fallo de cada sistema, ya que, en este estudio, como se ha dicho, se ha seguido un criterio personal, o ciertas suposiciones, junto con algunos datos obtenidos en el astillero.

A continuación, se resumirá en una tabla más genérica los mantenimientos que se realizan separando elementos estructurales y dinámicos, con la frecuencia de mantenimiento de cada uno, siendo en el siguiente apartado donde se fijarán y se explicará en qué consisten las gamas de mantenimiento.

Elementos estructurales	Tarea	Frecuencia
Barco puerta	Inspección visual (Búsqueda y eliminación de incrustaciones)	5 años
	Inspección ánodos de sacrificio	5 años
	Termografía infrarroja	5 años
	Revisión de cojinetes y pasadores	5 años
	Revisión de la estanqueidad del dique	Semanal
Picaderos	Inspección visual	6 meses
	Inspección visual de posibles grietas y termografía infrarroja	2 años
Anclajes (En caso de diques secos con anclajes)	Inspección visual	6 meses
	Termografía infrarroja	2 años
Accesos al dique	Inspección visual	5 años
Paredes laterales y frontal	Inspección visual	5 años
Piso	Inspección visual	5 años
Norays	Inspección visual	2 años
Estachas	Inspección visual	2 años
Elementos dinámicos	Tarea	Frecuencia
Compuertas de entrada / salida del agua	Inspección visual	Semanal
	Inspección de obstrucciones y termografía infrarroja	6 meses
Tuberías	Inspección visual (donde sea posible)	Anual
	Inspección acústica	Anual
	Limpieza con agua a presión	Anual
	Examen completo: realizar ajustes, restaurar piezas y estudio de infrarrojos	3 años
	Inspección visual	6 meses
Bombas (Llenado y achique del dique y barco puerta)	Comprobación velocidad de salida	Anual
	Lubricación de cojinetes	6 meses
	Comprobación de los puntos de montaje y acoplamientos	Anual
	Comprobación del altura de agua	Anual
	Limpieza general de filtros, polvo y suciedad	6 meses
	Inspección de rodamientos, cojinetes y material aislante del motor de la bomba	Anual
	Alinear acoplamiento de la bomba y el motor	6 meses
	Examen completo: realizar ajustes, restaurar piezas, estudios vibraciones, ultrasonidos y temperatura	3 años
Válvulas	Inspección visual (donde sea posible)	6 meses
	Prueba hidráulica	Anual
	Inspección rodamientos	Anual
	Prueba de ultrasonidos	Anual
Alcantarilla de entrada de agua y desagüe	Inspección visual (donde sea posible)	2 años
	Inspección acústica	2 años
Canal de inundación	Inspección visual	2 años
Cámara de succión	Inspección visual (donde sea posible)	2 años

Ilustración 50. Mantenimientos recomendados

#### 4.5.1. Gamas de mantenimiento

Una vez realizado una organización general, se debe separar en conjuntos de tareas lo que normalmente se conoce como gamas de mantenimiento, es decir en una lista

de tareas a realizar específicamente para cada equipo o sistema. Este listado de tareas se puede agrupar:

- Tareas que se aplican al mismo sistema: gamas de tuberías, gama de válvulas, gamas de elementos estructurales, etc.
- Tareas que se agrupan por realizarse en un intervalo de tiempo X: gamas diarias, semanales, mensuales, etc.
- Tareas que se realizan por el mismo personal, de esta forma se obtiene gamas mecánicas, eléctricas, etc.

En este estudio en concreto se realiza una agrupación por gamas temporales, explicando en cada una de ellas los medios o elementos necesarios para llevarlas a cabo correctamente.

<b>GAMA SEMANAL</b>	
<b>SISTEMA</b>	<b>TAREAS DE MANTENIMIENTO</b>
Barco puerta	Revisión de la estanqueidad del dique
Compuertas de inundación	Inspección visual

*Ilustración 51. Gama Semanal*

La gama semanal consiste en una revisión rutinaria, sin profundizar mucho, ni tampoco utilizando grandes medios. Simplemente se basa en inspeccionar sobre todo la zona del barco puerta y comprobar si se está produciendo algún tipo de fuga que pudiera poner en riesgo la estructura del barco puerta. Normalmente es muy complicado que exista un 0% de fugas, siempre hay pequeños orificios ocasionados por el paso del tiempo, que permiten la entrada de un pequeño porcentaje de agua, pero esto no es preocupante siempre que se encuentre dentro de unos límites permitidos.

<b>GAMA 6 MESES</b>	
<b>SISTEMA</b>	<b>TAREAS DE MANTENIMIENTO</b>
Picaderos	Inspección visual
Anclajes (En caso de diques secos con anclajes)	Inspección visual
Bombas (Llenado y achique del dique y barco puerta)	Inspección visual
	Lubricación de cojinetes
	Alinear acoplamiento de la bomba y el motor
	Limpieza general de filtros, polvo y suciedad
Válvulas	Inspección visual (donde sea posible)
Compuertas de entrada / salida del agua	Inspección visual / Termografía infrarroja

*Ilustración 52. Gama 6 meses*

En la gama de 6 meses se llevan a cabo revisiones de carácter estructural en picaderos y anclajes, en este caso comprobando si se encuentran en condiciones adecuadas para el trabajo sobre ellos o bien si por condiciones meteorológicas hayan podido sufrir algún tipo de desperfecto.

En cuanto a las bombas, teniendo en cuenta tanto las bombas de achique y llenado del dique como, las propias del barco puerta, se lleva a cabo la lubricación de los cojinetes y rodamientos en la casa de bombas lo cual es bastante importante para su correcto funcionamiento. El nivel de aceite se verifica mediante un indicador de nivel, siendo precisa la lectura con la bomba apagada y en posición horizontal. Por este motivo, el nivel de aceite debe mantenerse en el punto central del rodillo inferior, evitando así que pueda desbordarse. Si esto llega a ocurrir, la temperatura puede subir bastante y mermar la funcionalidad del lubricante a lo largo del tiempo. Así mismo, pueden tener problemas los rodamientos que estén engrasados, igual que ocurre con el aceite, podrá desbordar la grasa que se encuentre en los mismos e igualmente elevar la temperatura y provocar un posible fallo del rodamiento. También es importante la comprobación de la alineación entre el motor y la bomba y en caso de sufrir una desalineación, llevar a cabo el trabajo necesario para obtener la posición correcta del acoplamiento entre la bomba y el motor. Por último, se llevará a cabo una limpieza general de filtros y otros elementos de la bomba para evitar la posible aparición de cuerpos extraños en rodamientos y otros elementos de la bomba, reduciendo su rendimiento e incluso pudiendo llegar a detener estos sistemas.

En las válvulas, se lleva a cabo una inspección visual de las mismas, se recalca el hecho de “donde sea posible”, ya que muchas de las válvulas se encuentran en zonas de difícil accesibilidad y estas serán revisadas en una gama de mantenimiento posterior. En este caso se trata de una inspección superficial, donde se compruebe que los elementos se encuentran correctamente y no hay ningún tipo de cuerpo extraño, o posible rotura de alguna de sus partes.

Por último, se llevaría a cabo una inspección visual, y si fuera necesario por la observación de alguna fuga, una termografía infrarroja en las compuertas de entrada y salida de agua.

GAMA ANUAL	
SISTEMA	TAREAS DE MANTENIMIENTO
Tuberías	Inspección visual (donde sea posible)
	Inspección acústica
	Limpieza con agua a presión
Bombas (Llenado y achique del dique y barco puerta)	Comprobación capacidad, presión y potencia de la bomba
	Comprobación de los puntos de montaje y acoplamientos
	Comprobación de la altura de agua
	Inspección de rodamientos, cojinetes y material aislante del motor de la bomba
Válvulas	Prueba hidráulica
	Inspección rodamientos
	Prueba de ultrasonidos

*Ilustración 53. Gama Anual*

En la gama anual, ya se observan una serie de tareas de mantenimiento que requieren de equipos más específicos en función del elemento con el que se trabaje. Aquí aparecen tareas y procedimientos que fueron descritas anteriormente en el punto 3.3.4. como las pruebas hidráulicas, las pruebas de ultrasonidos en válvulas, o bien la inspección acústica para tuberías.

Así mismo, es importante destacar en esta gama anual, las tareas que se desarrollan en las bombas, que serían la comprobación de la velocidad de salida, los puntos de montaje y acoplamientos, la altura de agua y el estado del material aislante del motor eléctrico que mueve la bomba. Las bombas son equipos fundamentales para el funcionamiento correcto del dique seco en su conjunto, es por ello que se considera un mantenimiento o revisión anual a este respecto, pues se trata de uno de los elementos que mayor trabajo abarca en el conjunto del dique.

<b>GAMA 2 AÑOS</b>	
<b>SISTEMA</b>	<b>TAREAS DE MANTENIMIENTO</b>
Picaderos	Inspección visual donde sea posible y termografía infrarroja
Anclajes (En caso de diques secos con anclajes)	Termografía infrarroja
Norays	Inspección visual
Estachas	Inspección visual
Alcantarilla de entrada y desagüe	Inspección visual (donde sea posible)
	Inspección acústica
Canal de inundación	Inspección visual
Cámara de succión	Inspección visual (donde sea posible)

*Ilustración 54. Gama 2 años*

En la gama de 2 años se ha incluido sobre todo elementos estructurales que son robustos con el efecto del paso del tiempo, pero también requieren al menos una revisión visual para comprobar que se encuentran en condiciones óptimas para ser utilizados, como los norays, picaderos o anclajes. Para ello, bastará con comprobar que estos elementos no sufren una corrosión excesiva, no tienen gran desgaste debido a situaciones de mal tiempo que fatiguen demasiado su estructura, como podría ocurrir con los norays, si hay un buque amarrado.

Para los picaderos, además, se decide incorporar en esta gama bianual, un análisis de termografía infrarroja que permita ver el estado de los mismos en mayor profundidad.

También se ha añadido aquí elementos como los canales de inundación y alcantarillas de desagüe, los cuales no deben sufrir grandes desperfectos a corto plazo, pues también se trata de elementos estructuralmente robustos, pero se considera una pequeña inspección visual cada dos años para comprobar que no haya ningún desperfecto reseñable.

<b>GAMA 3 AÑOS</b>	
<b>SISTEMA</b>	<b>TAREAS DE MANTENIMIENTO</b>
Bombas (Llenado y achique del dique y barco puerta)	Examen completo: Realizar ajustes, restaurar piezas, estudios vibraciones, ultrasonidos y temperatura
Tuberías	Examen completo: Realizar ajustes, restaurar piezas, y estudio de infrarrojos

*Ilustración 55. Gama 3 años*

En la gama de 3 años se incluye lo que se ha definido como “Examen completo”, en bombas y tuberías. Donde se realizarán tareas más exhaustivas a estos sistemas, como estudios de vibraciones o ultrasonidos, para determinar si será o no necesario la sustitución de alguno de sus elementos o alguna de sus piezas.

GAMA 5 AÑOS	
SISTEMA	TAREAS DE MANTENIMIENTO
Barco puerta	Inspección visual (Búsqueda y eliminación de incrustaciones)
	Inspección ánodos de sacrificio
	Termografía infrarroja
	Revisión de cojinetes y pasadores
Accesos al dique	Inspección visual
Paredes lateral y frontal	Inspección visual
Piso	Inspección visual

Ilustración 56. Gama 5 años

Por último, se ha decidido implementar una gama de 5 años, en la cual se inspeccione aquellos elementos de naturaleza más estructural y que menos sufren con el paso del tiempo, como son las paredes del dique, el piso, los accesos al mismo, que suelen ser escaleras ubicadas en las paredes del mismo y de la misma estructura. Por norma general, estas estructuras no deberán tener problemas en mucho más de 5 años, pero se ha considerado una inspección visual de las mismas, en búsqueda de alguna pequeña grieta u otro tipo de problema estructural que pudiera poner en riesgo la fiabilidad de las mismas.

En cuanto al barco puerta, si se realiza algún tipo de inspección más concreta como, la de los ánodos de sacrificio, ya que con el paso de 5 años es posible que se deban cambiar, igual que ocurre con los cojinetes y pasadores. Ya que se trata en este caso de una estructura que está en contacto directo con el mar y puede sufrir mayores daños. Por ello también se especifica en la inspección visual la búsqueda de incrustaciones, ya que, en este periodo de tiempo, sí que pueden haber aparecido y hay que eliminarlas. La termografía infrarroja se realiza en este periodo de tiempo para comprobar que el barco puerta no haya sufrido algún tipo de daño estructural, aunque también se trata de un elemento robusto que no debería sufrir en estos periodos de tiempo.

#### 4.5.2. Cronograma de la planificación del mantenimiento

Una vez definidas las gamas de mantenimiento, se puede desarrollar un cronograma donde se organicen las tareas de mantenimiento con su periodicidad y su distribución temporal. En el mismo se ha definido un plazo de 5 años, que es la gama más larga en el tiempo que se ha desarrollado, diferenciando cada gama con colores como se ve en el *Anexo 3 – Cronograma de la planificación del mantenimiento*. Se adjunta a



cuenta que es durante estos meses es cuando los dueños de embarcaciones de recreo, quieren la mayor disponibilidad de sus buques y que éstos se encuentren en las mejores condiciones posibles. Es por ello, que en el cronograma se ha intentado dejar estos meses lo más libre posible en cuanto a tareas de mantenimiento, pues serán temporadas de trabajo intenso dentro del dique, y todo deberá estar en perfectas condiciones antes de este momento.

# **5. Conclusiones**

Como conclusiones a este estudio, se puede observar claramente que el dique seco desde hace cientos de años, pasando por diferentes civilizaciones y países, es parte fundamental de la infraestructura del astillero de reparaciones tanto por inversión como por importancia, debido a que, junto con otro tipo de diques, como el dique flotante o el Synchrolift, se convierte en la piedra angular del astillero de reparaciones e incluso en el de nuevas construcciones.

Es cierto que analizando más en profundidad cada uno de los elementos del dique seco y su mantenimiento se observa que, a diferencia de otros elementos que se manejan en el mundo de la ingeniería naval, como el propio buque, la complejidad es mucho menor. Evidentemente, se trata de una infraestructura que se podría catalogar como simple en cuanto a los sistemas que utiliza y no requiere de tecnología muy avanzada, por este motivo, se conoce y se utiliza este sistema desde hace años.

A lo largo del tiempo, se han ido añadiendo mejoras y equipos más modernos (bombas, sistemas de control eléctrico, etc.), el problema está en que la mayoría de diques secos que hay construidos en el mundo reciben mejoras sobre todo estructurales, o correctoras de algún elemento estructural dañado por el paso de los años. Actualmente se concibe el dique seco como una herramienta para varar diques, que funciona bien y que no es indispensable o necesario introducir mejoras tecnológicas.

Para este fin, en el campo de la varada de diques, se han diseñado sistemas modernos como puede ser el Synchrolift, el cual si utiliza tecnología más avanzada. Pero no por ello quiere decir que el dique seco se quede atrás, actualmente se sigue utilizando para varar buques, sobre todo de grandes dimensiones, los cuales no pueden hacerles frente otro tipo de sistemas, que utilizan sobre todo energía mecánica y/o eléctrica. En el caso del dique seco, tenga el buque las dimensiones que tenga, mientras la magnitud del dique lo permita, se puede llevar a cabo la varada.

Es por ello, que el correcto mantenimiento de este elemento, debe ser indispensable para poder alargar la vida útil de esta infraestructura, ya que se trata, a diferencia de otros elementos del astillero, de una pieza que por sus características es normal que forme parte de la historia del astillero durante muchos años. El mantenimiento y su buen hacer, es visión de futuro. El astillero como empresa debe ser consciente de ello, y de lo que a largo plazo puede suponer, ya que una cultura de mantenimiento adecuada es inversión que garantiza la rentabilidad y la sostenibilidad y también buena imagen ante el cliente. En todo esto es donde cobra importancia la metodología RCM, el mantenimiento basado en la fiabilidad, lo cual permite cuantificar, medir y demostrar mediante la realización de un FMECA, si la filosofía de mantenimiento que se estaba aplicando hasta el momento era la correcta, o si por el contrario será necesario realizar algunos cambios, todo ello en la búsqueda de la mejora continua, pilar fundamental y alrededor de lo que gira la metodología RCM.

Por último, me gustaría terminar el trabajo mostrando la siguiente imagen, donde se puede observar el mega-crucero “Symphony of the Seas”, el cual tiene 361 metros de eslora, varado en el dique seco del astillero de Navantia en el puerto de Cádiz. Aprovechando esta imagen, cabe destacar que la movilización de este tipo de buques a un puerto como lo es en este caso el de Cádiz, genera trabajo para alrededor de 1.200 personas, lo cual hace ver la importancia que tienen actualmente los diques secos, como

se decía, sobre todo con buques de grandes dimensiones, y lo que puede aportar a la economía y desarrollo de un astillero, y, en consecuencia, a todo lo que este arrastra consigo.



*Ilustración 59. "Symphony of the Seas" en el puerto de Navantia en Cádiz*

En conclusión, se puede decir 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. Si este se realiza de forma correcta, todas las partes que componen el astillero en este caso, estarán preparados para reparar, construir, o la tarea que sea necesaria, en el tiempo idóneo, en las condiciones óptimas y cumpliendo con los objetivos impuestos por el cliente.

# 6. Bibliografía.

1. Machado Policarpo A. (2015). *Operaciones de varada, estadía y desvarada en diques secos*.
2. Gregorio Munuera Saura y José Luis Aguirre Martínez (2020). *Apuntes titulados “Curso RCM”*.
3. Gregorio Munuera (2020). *Apuntes titulados “Análisis de criticidad de efectos y modos de fallo (FMECA)”*.
4. Jennifer Cruz Díaz (2019). *Análisis del coste operacional y de gestión de mantenimiento de un RO-PAX*.
5. Sergio Concepción Sánchez (2011). *Diseño y cálculo de una compuerta de bisagra inferior para un dique seco*.
6. Mariano Navas Gutiérrez y Mariano Blanco González. *Reparación de un dique seco en El Ferrol/España*
7. Miriam Salazar García (2014-2015). *Astilleros de reparación*
8. Diaz Navarro, Juan. (2010). *Técnicas de mantenimiento industrial. Serie Manuales. Calpe Institute of Technology SL*.
9. Ricardo Alvariño, Juan José Azpíroz y Manuel Meizoso (1997). *El proyecto básico del buque mercante*.
10. J. Phys (2018). *Dry Dock gate stability modelling*
11. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No.121. *Safe Operation and Maintenance of Dry Dock Facilities*
12. Páginas Web:
  - *aircrane.com.mx*
  - *blog.laminasyaceros.com*
  - *sym-naval.com*
  - *informesdelaconstruccion.revistas.csic.es*
  - *Xylem.com* (“Dry Dock Drainage”)
  - *Ksb.com* (*Bombas del dique seco*)