



*Escuela Politécnica Superior de Ingeniería (EPSI)*

*Sección de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval*

*Universidad La Laguna (ULL)*

# **TRABAJO FIN DE GRADO**

*Curso 2022-2023*

## ***DIQUES SECOS Y DIQUES FLOTANTES***

*Alumna: Lourdes García Gutiérrez*

*Director: Antonio Ceferino Bermejo Díaz*

*Codirector: Alejandro Gómez Correa*

*Grado: Náutica y Transporte Marítimo*

**CONVOCATORIA: JULIO-2023**



INDICE

Índice de ilustraciones y Tablas .....	5
Resumen .....	7
Abstract .....	8
Objetivos .....	9
Palabras clave .....	10
1. Introducción .....	11
2. Características generales y factores que afectan la selección de los diques .....	12
3. Diques secos (Dry Docks) .....	18
3.1. Características .....	19
3.2. Consideraciones del sitio .....	23
3.3. Dimensiones de una dársena seca .....	24
3.4. Tipos básicos de dique seco .....	25
3.5. Pisos del dique seco .....	27
3.6. Paredes laterales del dique .....	28
3.7. Análisis estructural .....	30
3.8. Sistemas de bombeo e inundación .....	30
3.9. Puertas de dique seco .....	34
I. Puertas flotantes .....	35
II. Puertas de bisagra .....	36
III. Puertas correderas .....	37
IV. Puertas de inglete .....	38
V. Puertas abatibles .....	39
4. Rampas de varadero (Marine Railways Dry Docks) .....	41
4.1. Consideraciones del sitio .....	43
4.2. Diseño de pistas y cimientos .....	44
4.3. Diseño y construcción de cuna .....	46
4.4. Sistemas de bloqueo .....	47
4.5. Acarreo de maquinaria y cadenas .....	48
4.6. Rodillos y ruedas .....	49
4.7. Transporte lateral .....	50
4.8. Transferencia de buques .....	51

5. Diques secos flotantes (Floating Dry Docks) .....	53
5.1. Tipos de diques flotantes .....	57
5.2. Principios de operación .....	62
5.3. Consideraciones de diseño .....	67
5.4. Características en el diseño .....	68
5.5. Sistemas de transferencia .....	69
6. Elevadores verticales (Vertical Lifts) .....	72
6.1. Características del sistema de elevación vertical .....	73
6.2. Sistemas mecánicos de elevación .....	74
6.3. Sistemas de elevación hidráulica .....	76
6.4. Diseño y construcción de elevadores verticales .....	77
7. Ejemplos de los diversos tipos de Diques que se encuentran en la Península y en Canarias .....	82
8. Accidentes y noticias al respecto .....	85
Conclusión .....	91
Bibliografía .....	93
Páginas web de interés .....	95

INDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

Ilustración 1: Buque acorazado en dique seco .....	15
Ilustración 2: Astillero AG Werke Kiel, Berlín .....	19
Ilustración 3: Maniobra de posicionamiento del buque en el dique .....	21
Ilustración 4: Buque centrado en el dique seco .....	22
Ilustración 5: Piso de hormigón en dique seco, Algeciras.....	27
Ilustración 6: Paredes laterales de hormigón .....	29
Ilustración 7: Operación de inundación a través de la puerta del dique .....	31
Ilustración 8: Bomba centrífuga horizontal .....	32
Ilustración 9: Construcción de puerta flotante .....	36
Ilustración 10: Puerta de corredera, Astillero Cernaual .....	37
Ilustración 11: Puerta de inglete .....	39
Ilustración 12: Puerta abatible .....	40
Ilustración 13: Buque elevado en Rampa de Varadero .....	42
Ilustración 14: Rampa de Varadero y su cuna .....	44
Ilustración 15: Plataforma de cuna .....	46
Ilustración 16: Rodillo en la cuna .....	50
Ilustración 17: Dique flotante con capacidad para buques Panamax .....	54
Ilustración 18: Infraestructura de dique flotante con grúas en las cajas laterales .....	55
Ilustración 19: Dique flotante más grande del mundo .....	57
Ilustración 20: Tipos de diques flotantes.....	58
Ilustración 21: Dique flotante de la Segunda Guerra Mundial .....	59
Ilustración 22: Diques secos y flotantes modernos, en el Puerto de Hamburgo (NVL Group).....	61
Ilustración 23: Fases principales para poner en seco un buque por medio de un dique	

flotante .....	63
Ilustración 24: Imagen de estabilidad del sistema dique-buque .....	64
Ilustración 25: Deslantrando un dique flotante .....	66
Ilustración 26: Remolcador en construcción en el dique flotante .....	71
Ilustración 27: Plataforma elevadora vertical en el fondo y en posición de trabajo.....	73
Ilustración 28: Syncrolift del Todd Pacific Shipyard en 1979 .....	75
Ilustración 29: Diseño gráfico del sistema de transferencia .....	78
Ilustración 30: Construcción del sincrolift en Tarragona .....	79
Ilustración 31: Nuevo elevador de barcos en el Puerto de Barcelona .....	80
Ilustración 32: Astillero Astican, Puerto de Las Palmas .....	83
Ilustración 33: Accidente del buque “Petrel” en dique seco .....	86
Ilustración 34: Buque de la Armada en dique seco de Navantia Ferrol durante reparación .....	87
Ilustración 35: Brecha en el costado de babor .....	88
Ilustración 36: Dique flotante en el puerto de Granadilla .....	89
Tabla 1: Tipos de diques y sus dimensiones en España .....	83

## RESUMEN

La construcción y reparación naval han ido evolucionando a medida que el sector marítimo también ha incrementado. Por tanto, se han creado infraestructuras donde realizar y facilitar el trabajo de los astilleros. Estas instalaciones pueden ser diques secos, rampas de varadero, diques flotantes y elevadores verticales. Los diques secos son simples excavaciones en la orilla de los puertos con una abertura hacia el mar con una puerta, de forma que se pueda introducir un buque en ese espacio, y cerrando la compuerta se achica el agua quedando el barco en dique seco. Las rampas de varadero son estructuras que mediante carros y vías férreas levantan las embarcaciones hacia tierra dejándolos en alto en un espacio abierto y seco para trabajar en su reparación. Los diques flotantes son estructuras de doble fondo para poder emerger con los barcos encima mediante el llenado o vaciado de tanques de lastre. Por último, los elevadores verticales son plataformas que elevan el buque verticalmente como un ascensor hasta dejarlo a nivel del astillero en seco. Todas estas infraestructuras se analizan y se seleccionan para cada sitio que se vayan a instalar. Varios astilleros de España y Canarias usan estas instalaciones como medio para la reparación y construcción naval.

# ABSTRACT

Construction and repair of vessels have evolved as the maritime sector has also increased. Therefore, infrastructures have been created to carry out and facilitate the work of the shipyards. These facilities can be dry docks, marine railways, floating dry docks and vertical lifts. Dry docks are simple excavations on the edge of ports with an opening towards the sea with a gate, so that a ship can be introduced into that space, and closing the gate reduces the water, leaving the ship in dry dock. Marine railways are structures that, by means of cars and railways, lift boats towards land, leaving them aloft in an open and dry space to work on their repair. Floating docks are double bottom structures to be able to emerge with ships on top by filling or emptying ballast tanks. Lastly, vertical lifts are platforms that lift the ship vertically like an elevator until it is dry level with the shipyard. All these infrastructures are analyzed and selected for each site to be installed. Several shipyards use these facilities as a means of naval construction and repair in Spain and the Canary Islands.

# OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es:

- Comparar los diques secos con los diques flotantes

Los objetivos específicos son:

- Conocer las características de los diques secos
- Conocer las características de los diques flotantes
- Analizar los diferentes tipos de diques secos
- Analizar los diferentes tipos de diques flotantes
- Identificar las ventajas e inconvenientes de los diferentes diques

## **PALABRAS CLAVE**

Astillero/Buque/Muelle/Dique seco/ Dique flotante/ Rampa de Varadero/ Elevador vertical marino/Varada/Reparación naval/Construcción naval.

Shipyard/Vessel/Dock/Dry dock/Floating Dry Dock/Marine Railways Dry Docks/ Vertical lifts/ Synchrolift/ Naval Construction/Repair of vessels.

# 1. INTRODUCCIÓN

En este estudio se pretende realizar un estudio comparativo introduciendo los diversos tipos de diques secos, sus principios básicos de diseño y operación, y los diques flotantes.

En el proyecto se reserva un apartado para los más utilizados y conocidos en Canarias así como algún dato histórico relevante, tanto de esta Comunidad Autónoma como a nivel Nacional e Internacional.

Los diques secos son estructuras que permiten un acceso seco completo a un buque para mantenimiento, revisión y reparación, o para construcción y nuevo lanzamiento. Además pueden proporcionar un medio de transferencia de embarcaciones hacia o desde tierra firme para reparaciones prolongadas o almacenamiento temporal o el lanzamiento de barcos recién construidos. Son las instalaciones de reparación de buques más explotadas y pueden utilizarse, en lugar de formas tradicionales de construcción, en los astilleros dedicados a la construcción naval.

Hay varios tipos de muelles secos, incluidos los que físicamente elevan el barco del agua, como diques flotantes, rampas de varadero y sistemas verticales de elevación, y diques secos tradicionales que deshidratan un espacio cerrado alrededor del buque.

Estas estructuras tienen cada una sus características peculiares, además de su diseño y los factores que analizan la selección de cada tipo de dique en los puertos.

## **2. CARACTERÍSTICAS GENERALES Y FACTORES QUE AFECTAN A LA SELECCIÓN DE DIQUES**

Hay cuatro tipos básicos de instalaciones de atraque: muelles de dique seco, rampas de varadero, diques flotantes y elevadores verticales de barcos. Los diques secos son excavaciones con una puerta en un extremo que se abre hacia el canal. Las rampas de varadero consisten en una cuna que se traslada sobre rieles inclinados para lanzar y recoger naves. Los diques flotantes son estructuras capaces de hundirse debajo de la superficie del agua para recibir un buque y sacarlo del agua. Los elevadores verticales son ascensores de buques diseñados para ser bajados al agua para recibir un barco y luego elevarlo fuera del agua. Para la operación eficiente de un dique seco, independientemente del tipo de instalación elegida, son varias características deseables como:

1. Espacio adecuado dentro y alrededor del dique seco para facilitar el movimiento del personal y del material con un buque en el muelle.
2. Acceso rápido y eficiente en el dique seco hacia o desde el dique seco y el buque. Se desea un buen acceso para el tráfico de vehículos. La introducción de grúas o brazos

portuarios para uso en dársenas flotantes ha ayudado a que la reparación de embarcaciones sea más eficiente.

3. La luz y la ventilación adecuadas son necesarias para garantizar buenas condiciones de trabajo.
4. Se necesitan instalaciones de soporte, como de servicio eléctrico y mecánico. Las salidas de agua, aire comprimido, vapor, soldadura y corte se encuentran en las estaciones de servicio para facilitar el acceso al buque. Las estaciones de servicio generalmente se colocan a lo largo de las cubiertas de ala y pontones de los muelles flotantes, en galerías empotradas o en la defensa de los muelles de las cuencas, y en las áreas de los alrededores de los ferrocarriles y ascensores marinos. Se proveen tomas eléctricas para suministrar energía al buque y para repararlo en el dique seco.
5. Los sistemas de manejo de materiales para artículos y equipos pesados. Las grúas son una característica esencial del dique seco, por lo que la reparación y el equipamiento de los barcos son más eficientes. Las grúas pueden operar en las paredes laterales de un dique seco flotante o en el muelle adyacente y / o en el área de tierra para dar servicio a todo tipo de diques secos.
6. Un método eficiente para mover un buque dentro y fuera del dique seco. Los muelles a menudo están equipados con tornos tensores, cabrestantes y otros dispositivos de manipulación de líneas, que permiten a la tripulación del dique seco controlar el buque cuando ingresa al muelle y colocarlo correctamente sobre los bloques. Los cabrestantes eléctricos o electrohidráulicos se usan con mayor frecuencia para manejar las líneas. Algunas de las dársenas más grandes utilizan carros arrastre que viajan en monorraíles instalados a lo largo del lado interior de cada pared lateral en un muelle flotante o un dique flotante. Estos carros tienen líneas conducidas desde cabrestantes que pueden centrar el buque en el muelle y llevarlo a su posición de atraque.
7. La proporción de un sistema de bloqueo adecuado. Los bloques se usan para

soportar el peso de la embarcación mientras se lo coloca a una altura conveniente para permitir el acceso al trabajo debajo y para dejar libre gran parte del área inferior para su limpieza, reparación y pintura. También proporcionan estabilidad para evitar que la nave se vuelque. El bloqueo se puede considerar como un colchón que proporciona soporte y rinde elasticidad teniendo las irregularidades en el ajuste del barco.

Lo más común en el esquema del bloqueo es una fila de bloques fijos de quilla con una fila de bloques estabilizadores de sentina en cada lado. Los bloques de sentina pueden colocarse en posición después de que la quilla del buque haya tocado los bloques de quilla. Se prefiere este último caso cuando el buque tiene una forma considerable o cuando se necesita espacio libre para hélices para permitir que el buque entre en el muelle.

Se han desarrollado muchos sistemas para este propósito, incluidos sistemas eléctricos, hidráulicos y de aire comprimido y cadenas con cabrestantes. Debido a su simplicidad y durabilidad, el sistema de cadena / cabrestante se utiliza con mayor frecuencia. Los bloques metálicos están hechos de una construcción compuesta con bases de hormigón o acero y una pieza de madera o tapón de goma para proporcionar la amortiguación necesaria contra el casco del buque. Se puede agregar madera a la base del bloque para proporcionar amortiguación contra irregularidades en el piso del muelle. La eliminación de los bloques para proporcionar acceso a las áreas del casco que necesitan reparación se logra mediante el uso de marcos de arena instalados en la parte superior de la base de hormigón de los bloques. Una capa confinada de arena en el marco sostiene la parte superior con pedazos de madera. Se tomaron medidas para eliminar la arena mediante chorro de agua, permitiendo que la madera caiga para que se pueda extraer el bloque. Otros sistemas más sofisticados están disponibles para la eliminación de bloques, pero este sistema simple es quizás el más común y exitoso.

Influyen muchos factores para la selección del tipo apropiado de instalación de dique seco, como pueden ser:

- Las dimensiones, características de peso y características generales de las embarcaciones a las que debe prestar servicio el dique seco.

- Condiciones en el sitio del muelle seco y las instalaciones terrestres asociadas, incluida la superficie terrestre disponible, el área disponible en el agua y la proximidad a canales navegables o aguas abiertas, mareas, corrientes, topografía y condiciones del suelo.
- El propósito del dique seco, puede ser usado para nuevas construcciones, para reparaciones de buques a largo o corto plazo, o para una combinación entre estos propósitos.
- Los objetivos del astillero a corto o largo plazo y el potencial para la futura extensión de las instalaciones de dique seco.
- El financiamiento, puesto que los inversores pueden estar dispuestos a proporcionar más capital de trabajo para un tipo de instalación que para otro.

Los factores que afectan a los aspectos operacionales del acoplamiento en seco incluyen las características del barco, las características del muelle y, en algunos casos, las dos juntas. Un barco es necesariamente fuerte y resistente para las tensiones encontradas en el mar. La rigidez que permite que el buque resista la flexión excesiva en las olas, también permite la distribución de concentraciones de peso debidas a la maquinaria, combustible, carga, etc., de forma bastante uniforme a lo largo de su longitud que soporta el buque cuando está en seco. En la ilustración 1 se puede observar un buque acorazado “USS Texas” de la Primera Guerra Mundial que combatió en las dos Guerras. Lo llevaron a dique seco para su reparación y fue convertido en museo en 1948, en los Estados Unidos.



*Ilustración 1: Buque acorazado en dique seco. Fuente:*

<https://www.outono.net/elentir/2022/11/08/uss-texas-un-acorazado-de-la-primera-guerra-mundial-en-un-dique-seco-para-su-reparacion/>

Los buques están diseñados para ser estables; flotantes en posición vertical en el agua y, en general, tienen un buen grado de estabilidad cuando se encuentran en dique seco. Sin embargo, ciertas condiciones pueden amenazar la estabilidad en un buque al atracar en tierra, como es el efecto de líquidos libres. Cuando el barco toca los bloques por primera vez, puede ser crucial, especialmente para los buques con una gran cantidad de equipamiento. La distribución del peso del dique y del barco debe ser conocida para garantizar el acoplamiento seguro en casos cuestionables o limitantes. Las propiedades de resistencia del dique seco se deben considerar, al igual que un barco, antes de hacer el dique. La distribución de carga a través de la estructura del muelle es significativa para diques secos de ferrocarril, elevadores verticales y, en menor medida, diques flotantes secos. La estabilidad inherente, en términos prácticos, es preocupante solo en diques secos flotantes. Los diques secos de cuenca rara vez se dañan por la sobrecarga. La base y el piso, si están diseñados adecuadamente, deben soportar con seguridad cualquier barco que pueda caber en él, incluso con altas concentraciones de carga. El tamaño y la capacidad de atraque de los diques secos de la cuenca son prácticamente ilimitados, y en los últimos años se han construido varias cuencas capaces de atracar buques de más de 1, 000,000 DWT (Toneladas de Peso Muerto).

Una concentración de carga pesada, en una embarcación que es demasiado pesada, puede causar daños en la cuna ferroviaria, su pista y/o su cimentación. La capacidad de seguridad de un ferrocarril está certificada en términos de carga total y carga por unidad de longitud, ninguna de las cuales debe excederse. El ferrocarril más grande en servicio hoy en día tiene una capacidad de elevación de 5200 toneladas largas, pero la capacidad de elevación de 8000 toneladas largas está dentro de la capacidad de estos sistemas.

Una diferencia importante entre un dique seco flotante y otros tipos de diques secos es que las fuerzas entre el bloqueo y la nave son una función de la flotabilidad del dique flotante y de la carga del buque. Sin embargo, estas fuerzas pueden controlarse de alguna manera mediante el ajuste de la flotabilidad mediante variaciones en los niveles de agua del tanque de lastre. Al igual que con los ferrocarriles, las capacidades flotantes del dique seco se dan en términos de carga total y carga por unidad de longitud. La estabilidad del sistema de muelle de barco es un factor crítico, y debe considerarse en el diseño y la operación de un

dique flotante.

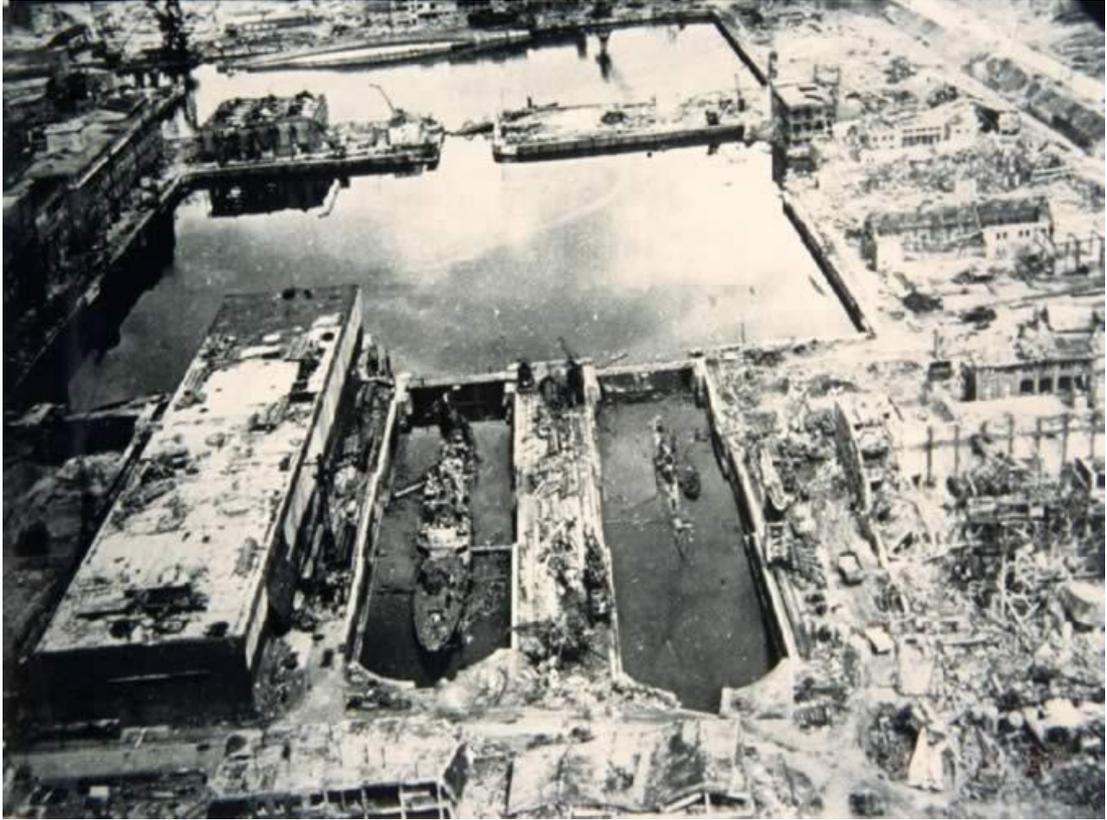
Los elevadores verticales no tienen preguntas inherentes a la estabilidad, pero una resistencia adecuada es crítica porque un fallo puede conducir a una caída de gravedad libre del barco. El peso del buque se distribuye por la plataforma a los medios de elevación periféricos: cables, cadenas, gatos, montacargas, etc. Dependiendo de la posición del barco en la plataforma y su distribución de peso, algunos polipastos llevan más carga que otros. La capacidad de un ascensor se relaciona con la capacidad total y la carga máxima por unidad de longitud, que es una función del número, tamaño y espaciado de las unidades de elevación. [3] [9]

### **3. DIQUES SECOS (DRY DOCKS)**

Un dique seco es simplemente una excavación o depresión en la tierra con un extremo en comunicación libre con el mar. Este extremo está sellado con una puerta.

Uno de los diques de excavación más antiguos se construyó a finales del año 1.400 en Portsmouth, Inglaterra, pero no fue hasta mediados y a finales de 1.600 que el dique seco pasó a ocupar un lugar destacado. En la ilustración 2 se puede observar un dique seco del astillero AG Werke Kiel en Berlín, Alemania, después de la Primera Guerra Mundial.

Algunos de los primeros diques secos eran simples excavaciones revestidas de madera, que tenían un piso de ladrillos u hormigón y una puerta que se apoyaba contra un alféizar para excluir la marea. Los buques entraban con la marea alta, y la puerta de entrada estaba cerrada. A medida que la marea retrocedía, el muelle se vaciaba a través de una compuerta de marea, y el buque se asentaba en bloques que habían sido preparados para ello. En lugares con poca o ninguna marea, el agua tenía que ser bombeada fuera de la cuenca.



*Ilustración 2: Astillero AG Werke kiel, Berlín. Fuente:*  
<https://www.lasegundaguerra.com/viewtopic.php?t=8412>

A medida que los barcos se construían más grandes, los diques secos se convirtieron en importantes obras civiles. La mampostería sólida fue adoptada para revestir las paredes, y se agregaron bombas grandes para la deshidratación del muelle.

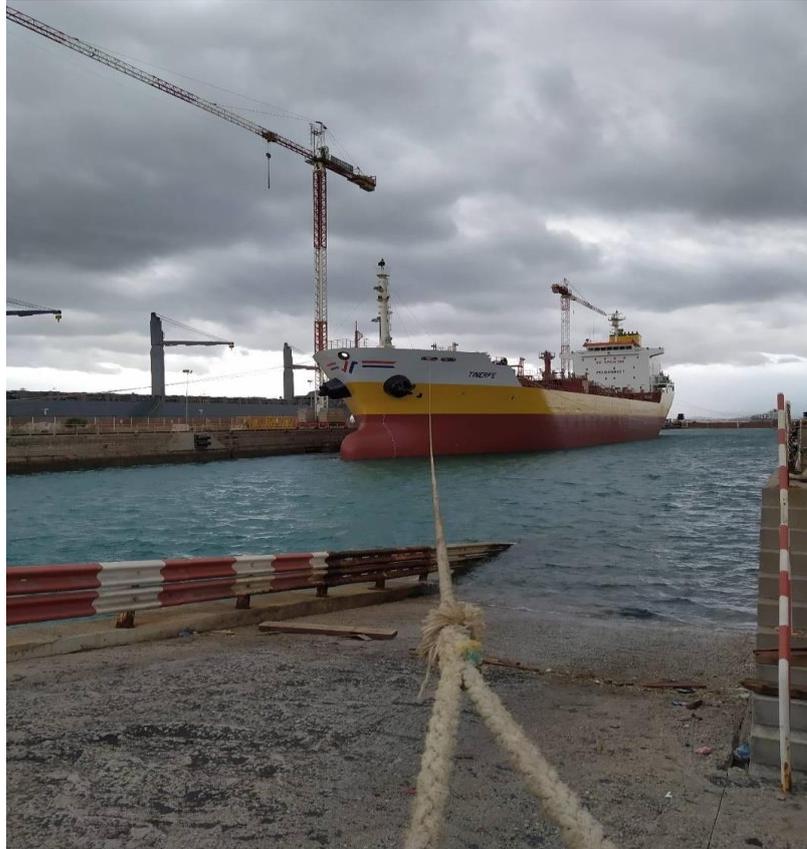
Un muelle actual, en comparación con sus predecesores, difiere significativamente en términos de dimensiones, materiales, detalles de construcción y sofisticación del equipo, pero los principios básicos de operación y diseño siguen siendo los mismos. [1]

### **3.1. Características generales**

Las características básicas de un dique seco de cuenca, incluyen el piso, las paredes laterales, la pared de cabeza y la puerta del muelle. Hay tres tipos de estructuras de dique

seco: gravedad masiva, anclada al suelo y desagüe subterráneo o aliviado de presión. Varios métodos de construcción utilizan desagües subterráneos y losas macizas de piedra o concreto en combinación con muros de contención de mampostería. En general, los diques secos de la cuenca son los más adecuados para grandes buques. Los avances en materiales y métodos de construcción han expandido continuamente los límites dimensionales de los diques secos de la cuenca. Las plataformas de construcción naval y reparación de buques de más de 1200 metros de largo, 200 pies de ancho y capaces de manejar embarcaciones de todo tipo y en todas las condiciones, son comunes entre los muelles recientemente terminados.

El funcionamiento de un dique seco es bastante simple. Una vez que el barco y los bloques de atraque se hayan preparado adecuadamente, la palangana se llenará de agua hasta que el nivel de agua en su interior sea igual al nivel del puerto. Luego se abre la puerta y la nave se traslada al muelle. Por lo general, el avance hacia el muelle se logra mediante el uso de líneas de cabecera y resortes en cabrestantes o cabos con asistencia de remolcadores portuarios. Como se muestra en la ilustración 3, en el dique seco del Astillero Cernaual en el Puerto de La Bahía de Algeciras. La puerta del muelle está cerrada y el barco está correctamente posicionado antes de que las bombas se activen. A continuación, se baja el nivel del agua y la nave se posa suavemente sobre los bloques. Durante la deshidratación, la posición del barco se supervisa cuidadosamente, y la tensión en las líneas de salto y arranque se ajusta en consecuencia. Como se puede observar en la ilustración 4, el buque ya centrado en el dique y todo está preparado para el vaciado de la dársena. Una evolución de desacoplamiento es similar, con el orden de eventos invertido.

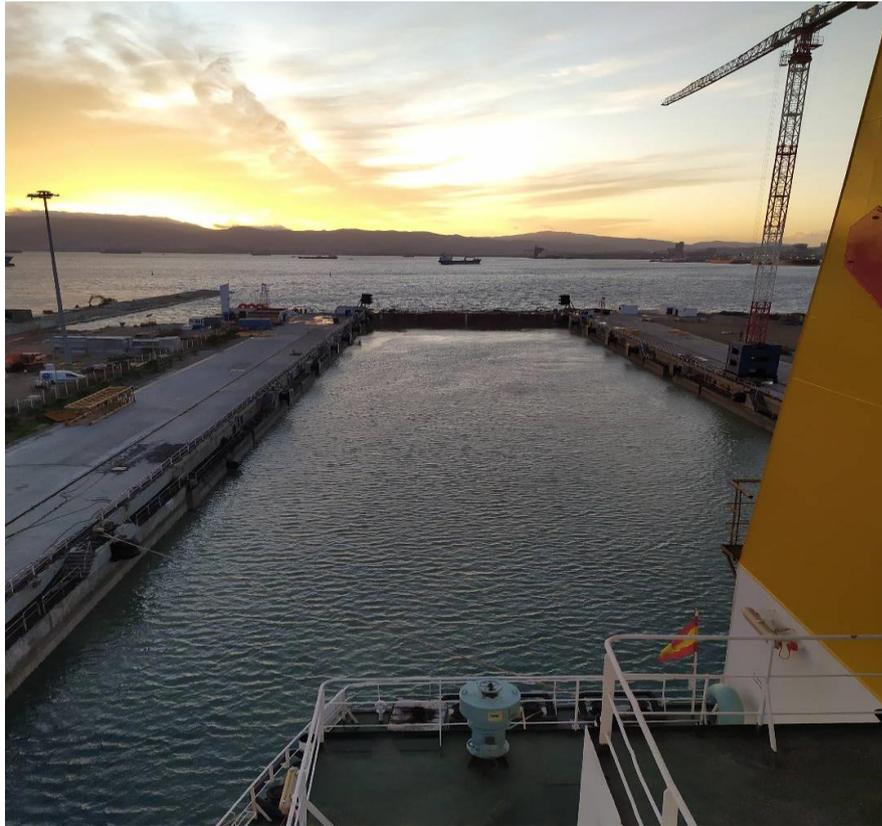


*Ilustración 3:* Maniobra de posicionamiento del buque en el dique.

*Fuente:* Elaboración propia

En una cuenca, el peso del recipiente generalmente no es preocupante. Si la nave puede caber en la dársena, se puede amarrar en seco de forma segura. Sin embargo, cada evolución del acoplamiento debe comenzar con una investigación cuidadosa de todos los aspectos del buque.

A diferencia de un muelle flotante, el piso de un lavabo no es ajustable. Un buque atracado con un ajuste sustancial tendrá como resultado una carga extremadamente alta al hacer contacto inicial con el bloqueo, y el barco podría volverse inestable. El ajuste de la embarcación puede acomodarse en cierto grado apuntalando o construyendo los bloques en una pendiente, pero, como regla general, un corte aceptable generalmente es un pie por cada 100 pies de largo de la embarcación. Más allá de este límite, se deben considerar preparaciones especiales para el bloqueo.



*Ilustración 4:* Buque centrado en el dique seco. *Fuente:* Elaboración propia.

Vaciar un muelle seco implica mover grandes cantidades de agua a través de bombas de gran capacidad. Las cuencas son diferentes de otros tipos de muelles en que el consumo de energía durante una operación es inversamente proporcional a tamaño del barco; es decir, cuanto más pequeño es el recipiente atracado, mayor es el volumen de agua que se debe bombear y mayor es la cantidad de energía que se consume. Debido a que el piso del muelle está muy por debajo del nivel del astillero, la luz natural, el aire para la ventilación y el acceso son algo restringidos. Esta situación tiende a afectar negativamente las condiciones de trabajo; sin embargo, las grúas que se desplazan a lo largo del borde a cada lado del muelle o grúas de pórtico que se extienden desde la pared lateral a la otra pared, pueden mover fácilmente equipos pesados y módulos estructurales grandes dentro y fuera de la cuenca.

### 3.2. Consideraciones del sitio

La selección del lugar para la construcción del muelle implica la evaluación cuidadosa de muchos factores, incluyendo la topografía, la hidrografía, la geología y la meteorología. Como la mayoría de estos factores tienen un impacto directo en la construcción y el funcionamiento del dique, cada uno debe considerarse cuidadosamente antes de poder elegir un puesto final.

Localizar el sitio perfecto es extremadamente raro; por lo tanto, se debe hacer una serie de concesiones entre el tipo y el costo de la construcción, así como los costos de operación y mantenimiento. Se debe ubicar una cuenca para que los barcos grandes puedan ingresar sin interferir con la navegación.

Normalmente, un muelle está orientado perpendicularmente a la costa general. Es aconsejable proporcionar una cuenca de giro delante de la entrada del muelle para permitir que los buques se alineen con el eje del muelle antes de entrar. En los sitios donde hay una fuerte corriente paralela a la costa, el muelle puede estar orientado en un ángulo oblicuo a la línea de costa para evitar corrientes cruzadas cuando un barco ingresa al muelle. De manera similar, es deseable orientar el muelle en paralelo a los vientos predominantes para maniobrar los barcos hacia el muelle.

En general, una ubicación en un puerto protegido o dentro de los confines de un rompeolas es esencial, ya que los barcos deben estar protegidos de fuertes vientos, olas y corrientes durante el atraque. Además, durante las etapas de planificación, se debe considerar un atracadero protegido o un atracadero auxiliar junto al muelle, ya que generalmente hay un tiempo en el que el buque está en el muelle y se va al dique seco.

La sedimentación y el fregado en la entrada del muelle y su efecto en el receso de la puerta y la puerta pueden justificar una consideración especial. El potencial de sedimentación excesiva podría indicar altos costos futuros para el dragado de mantenimiento.

Las mareas y las olas en el sitio tienen un impacto directo en la construcción, ya que influyen en la elevación en la parte superior de la puerta y a lo largo del frente. Los tipos de suelo y su resistencia, así como los niveles de agua subterránea, influyen enormemente en el tipo de estructura adecuada para el sitio, la profundidad a la que se puede construir económicamente y el tipo de métodos de construcción que se pueden emplear. El nivel del agua subterránea es el factor más crítico en el diseño estructural

del piso y las paredes.

Finalmente, las instalaciones de la tienda de apoyo deben estar cerca. La disponibilidad de una gran cantidad de espacio de colocación alrededor del muelle es una ventaja definitiva, y algún tipo de servicio de grúa es esencial para mover material dentro y fuera de la dársena. [4] [9]

### **3.3. Dimensiones de una dársena seca**

Las dimensiones clave de la longitud, el ancho y la profundidad dependen del tipo de barcos que se van a acoplar y si se usará la cuenca estrictamente para una nueva construcción, reparación de embarcaciones o una combinación de ambas. La longitud efectiva de una cuenca es la distancia horizontal mínima medida a lo largo de la línea central entre la pared de la cabeza y la puerta de la plataforma.

La longitud efectiva debe ser de al menos 10 a 15 pies más larga que la longitud total del barco de diseño máximo. Para permitir el trabajo de la hélice y el eje, se deben proporcionar de 25 a 100 pies adicionales. Los muelles que son extremadamente largos se pueden dividir mediante una puerta interior o puertas que proporcionan flexibilidad operacional y ahorros en los costos de bombeo en el atraque de buques más pequeños. Es bastante concebible que uno, dos o posiblemente más barcos pequeños ocupen el muelle simultáneamente.

El ancho de la entrada debe ser de al menos 6 o 10 pies más ancho que la manga máxima del barco que va a atracar. El ancho libre dentro de la cuenca normalmente es mayor que el ancho de entrada. La mayoría de las cuencas construidas hoy en día tienen una relación efectiva de longitud al ancho de entre 5:1 y 7:1, en proporción aproximada a las vasijas contemporáneas grandes. La anchura interior se establece a partir de la viga del recipiente de diseño más una asignación para el espacio libre a cada lado del recipiente para el espacio de trabajo.

La profundidad requerida en la entrada debe decidirse después de un estudio cuidadoso de todos los datos de nivel de agua disponibles junto con los calados del buque. Las embarcaciones que necesitan reparaciones o mantenimiento de rutina, o aquellos que entran al muelle en condiciones de avería, requieren un muelle más profundo que los buques nuevos en construcción. Generalmente éstos se les saca de la cuenca una vez el

casco principal es hermético y antes de que se complete el equipamiento.

En zonas donde la marea es mínima, se debe usar el nivel medio de agua baja (MLW) para determinar la profundidad de la entrada. Cuando no se pueden tolerar los retrasos de atraque o desatraque mientras se esperan ciertos niveles de marea, como por ejemplo en los buques de guerra, entonces se debe usar el nivel medio bajo de agua más bajo (MLLW) para determinar la profundidad de entrada. Para embarcaciones comerciales, los diques secos en puertos con mareas pueden depender del altamar para operaciones de atraque o desatraque. En todos los casos, la profundidad sobre el alféizar debe incluir al menos una tolerancia de un pie para el despeje.

La profundidad del piso del dique generalmente excede la profundidad del umbral en una distancia mínima igual a la altura de los bloques de la quilla. En la pared de la cabeza, la profundidad del suelo de la pileta puede ser un poco menor que en el alféizar si el piso del muelle está construido sobre una inclinación. La profundidad de una cuenca tiene el mayor impacto en el costo total del proyecto. La extensión de la profundidad del dique seco aumenta considerablemente los costos de construcción, en proporción a la tercera potencia del aumento en la profundidad. [3]

### **3.4. Tipos básicos de dique seco**

Hay tres tipos básicos de muelles secos de la cuenca: de densidad masiva, de anclaje y de desagüe subterráneo. Éstos dependen de un método diferente para contrarrestar los efectos de la flotación debido a las aguas subterráneas circundantes. En un diseño de gravedad masiva, la estructura tiene suficiente masa para superar la presión ascendente del agua subterránea que actúa en la parte inferior del piso cuando el muelle está vacío. Los muelles de gravedad se pueden construir como un marco monolítico o con una losa de piso separada de las paredes laterales. También se puede construir con una losa de piso muy pesada, que en sí misma es suficiente para resistir el levantamiento.

En los muelles donde la losa del piso está separada de las paredes, el piso generalmente se hace como una losa homogénea o arco invertido apoyado por las paredes. En este caso, las paredes pueden ser muros de tablestacas de acero que resisten la extracción en virtud de la fricción del suelo, o pueden ser del tipo de pared de retención de hormigón armado. En el último caso, el espesor de la losa se reduce debajo de las paredes, aprovechando así el peso

de las paredes. El tipo de muelle de gravedad masiva generalmente se prefiere para muelles de ancho significativo; pero para los muelles de gran profundidad, surgen dificultades durante los intentos de bajar el agua subterránea si la losa se va a secar en seco. Además, con un aumento en la profundidad, el grosor de la losa del piso también aumenta considerablemente. Para muelles de gran profundidad, el uso del muelle de gravedad se vuelve muy trabajoso y antieconómico. En un diseño de muelle anclado, el levantamiento hidrostático se opone por el peso permanente de la estructura más algún tipo de anclaje. Las condiciones del suelo deben ser tales que puedan proporcionar capacidad de carga para las cargas de la losa del piso y permitir el desarrollo de tensión en los pilotes y / o anclajes incrustados en el suelo. Donde se usan los pilotes, pueden jugar un doble papel, actuando en tensión cuando el dique está vacío, y en compresión cuando hay un barco en el dique.

Para evitar algunas de las desventajas de un diseño de gravedad masiva, el tipo de muelle anclado depende de una losa de piso relativamente liviana. Este tipo es menos costoso de construir y se puede construir en un período de tiempo más corto, en comparación con un muelle de gravedad.

En un drenaje subterráneo o un diseño con alivio de presión, el agua subterránea alrededor del muelle se baja lo suficiente como para que no se desarrolle presión ascendente. Un conocimiento preciso de los parámetros del suelo es muy importante. Se deben determinar los datos sobre la continuidad de la capa impermeable y su profundidad exacta, así como los coeficientes de permeabilidad horizontal y vertical.

Un dique aliviado de presión puede drenarse completamente, drenarse parcialmente o colocarse en un suelo impermeable. En los muelles donde la presión se alivia en la losa del piso y las paredes, se instala un sistema de drenaje externo que permite bajar el nivel del agua subterránea. El sistema de drenaje es una serie de tuberías y alcantarillas conectadas a la estación de bombeo del muelle.

En los muelles donde la presión se alivia solo debajo de la losa del piso, el flujo de agua al sistema de drenaje se controla mediante un corte de tablestacas instalado bajo las paredes del muelle; la pared de corte se extiende hasta la capa impermeable. Los piezómetros están recomendados para diques secos total o parcialmente liberados para garantizar que se mantenga el alivio de presión.

Además, dependiendo de las condiciones del suelo, la reducción de los niveles de agua subterránea se puede lograr con un sistema de desagüe poco profundo, como diques de

arena, un sistema de alivio de presión profunda, como pozos profundos, o una combinación de ambos. [1] [4] [9]

### 3.5. Pisos del dique seco

Hoy en día, prácticamente todos los pisos de los diques secos están contruidos con hormigón armado, pero antes de la llegada del hormigón armado, se proporcionaban pisos de arco de ladrillo y bloques de piedra, tanto para la resistencia estructural como para la masa. La losa del piso está diseñada para varios tipos de condiciones de carga, incluida la carga concentrada de un barco y, según el tipo de muelle, la elevación hidrostática completa en la parte inferior del piso. Los dos medios principales para soportar las cargas del piso son los pilotes de apoyo directo sobre el suelo y los apoyos finales o de fricción. La carga directa sobre el suelo requiere que la losa tenga la resistencia suficiente para distribuir la carga al suelo, y que el suelo tenga la capacidad de carga adecuada para soportar la carga sin deformación o asentamiento excesivos. El análisis es similar al de una viga sobre una cimentación elástica continua.



*Ilustración 5: Piso de hormigón en dique seco, Algeciras. Fuente: Elaboración propia.*

Los pisos de los muelles pueden construirse horizontales o con una inclinación. Un piso

inclinado puede inclinarse longitudinalmente hacia la entrada del muelle o, transversalmente, desde la línea central a las paredes laterales. El suelo generalmente se inclina a una inclinación de aproximadamente 1: 300, lo que mejora el drenaje del muelle durante la extracción de agua. En los muelles donde el piso es horizontal, se logra un mejor drenaje mediante canales de desagüe inclinados o canales empotrados en la losa. Los canales de deshidratación transversales están orientados perpendicularmente al eje del dique, dirigiendo el flujo de agua hacia las paredes laterales donde los canales corren longitudinalmente, permitiendo que el agua fluya hacia los sumideros y hacia las alcantarillas principales de entrada. En la ilustración 5 podemos observar el piso horizontal y en las paredes laterales, las salidas de agua para llenar el dique. Se pueden requerir juntas de control en el piso para contracción. Las juntas de expansión raramente son necesarias, ya que la temperatura de la losa permanece muy constante porque está en contacto con el agua subterránea subyacente.

### **3.6. Paredes laterales del dique**

La mayoría de los muelles tienen muros verticales. Las paredes laterales están diseñadas para una variedad de cargas, incluyendo presión y recargo de tierra, presión de agua subterránea, presión de agua desde el muelle y cargas de equipos y accesorios como grúas, brazos de muelle de viaje, equipos de transporte de barcos, bolardos y servicios. Además de estas cargas, las paredes deben diseñarse para las cargas hidrostáticas transmitidas a través del piso del muelle. En la mayoría de los lugares, se deben considerar las cargas sísmicas. Los principales tipos de construcción de muelles incluyen hormigón en masa, hormigón reforzado, tablestacas y cajones. El uso del hormigón en masa prevaleció a principios del siglo XX y aún puede ser económico en algunos casos, pero generalmente no es común en la construcción moderna. Muchos de los muelles construidos en los últimos 40 a 50 años fueron construidos con muros de hormigón armado. Como por ejemplo en los astilleros del Nervión, en el dique seco fundacional N° 1, en el País Vasco. Así, como se muestra en la siguiente ilustración, es como está en la actualidad el dique seco.



*Ilustración 6: Paredes laterales de hormigón. Fuente:*

<http://www.patrimonioindustrialvasco.com/actividades/el-patrimonio-de-la-naval-de-sestao-los-astilleros-del-nervion-3-la-joya-del-dique-seco/>

Cuando se usan paredes de tablestacas, se recomienda el uso de láminas ligeramente más pesadas que las requeridas por el diseño para permitir la corrosión. Se requieren consideraciones especiales si las paredes deben transportar cargas verticales de grúas y columnas de edificios; y la integridad estanca de las láminas instaladas en las juntas también es motivo de preocupación. Si se requiere una pared de corte de agua subterránea, entonces la tablestaca se puede utilizar con gran ventaja al terminar la lámina en una capa impermeable a cierta distancia por debajo del piso del muelle. Esto efectivamente reduce la cantidad de agua que se bombea desde un sistema de drenaje inferior.

En algunos casos en que los bienes inmuebles son de primera, es posible extender la cuenca al canal mediante el uso de cajones flotantes de enclavamiento para las paredes. Una vez en su lugar, los cajones se llenan de tierra para asegurarlos.

El perfil vertical uniforme requiere que todos los equipos, conductos de tuberías, conductos eléctricos, etc., se instalen dentro de la galería cerrada con todas las salidas de servicio ubicadas en la plataforma de acoplamiento. El perfil vertical con galerías empotradas o en

voladizo justo debajo de la cofia brinda un lugar para las líneas de servicio y puntos de servicio.

### **3.7. Análisis estructural**

El método de análisis de elementos finitos es el método más preferido para analizar la estructura compleja de un dique seco de cuenca. Mientras que los análisis previos se realizaron utilizando la fuerza de los conceptos materiales y las teorías simplificadas de elasticidad, este método considera la interacción entre el suelo y la estructura, así como las características de tensión o deformación de la estructura misma.

Una descripción detallada está más allá del alcance de este estudio, pero se puede consultar en la sección (18) de “*Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring and Repair of Vessels*”. *American Society of Civil Engineers Press, Reston, VA*. Anunciado en la bibliografía.

Donde se describe el método e incluye ejemplos de los resultados de un análisis típico. Dicho análisis proporciona una evaluación exhaustiva de la seguridad de un dique seco sometido a presiones estáticas e hidrostáticas del suelo, cargas de barcos y cargas dinámicas inducidas por terremotos.

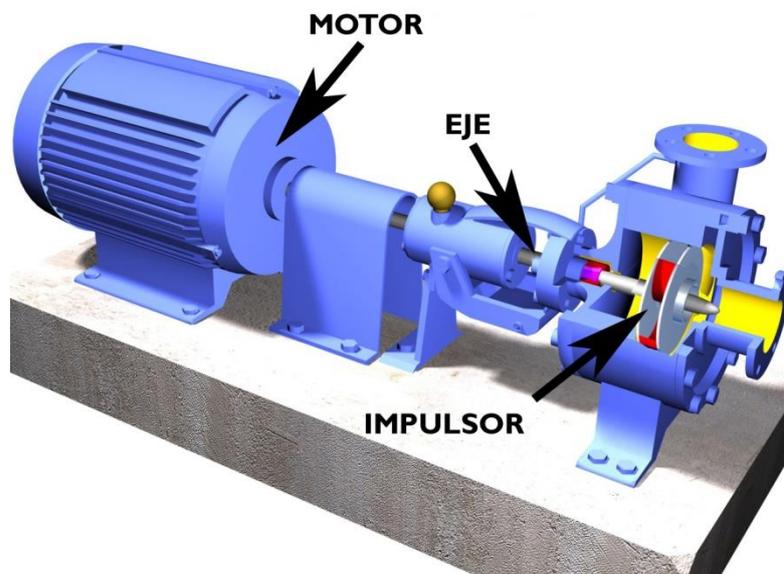
### **3.8. Sistemas de bombeo e inundación**

Los sistemas de bombeo e inundación controlan el vaciado y llenado del dique seco, lo cual debe lograrse de manera gradual y controlada. El proceso de deshidratación debe permitir que la nave se deslice hacia los bloques, y la inundación debe controlarse hasta el punto en que no haya una gran avalancha de agua, lo que podría perturbar los bloques.



*Ilustración 7: Operación de inundación a través de la puerta del dique. Fuente: <https://hegerdrydock.com/portfolio/nassco-san-diego-cadry-dock-no-1/>*

El tiempo de bombeo e inundación varían de un dique a otro, pero generalmente son dependientes del tamaño del dique. Normalmente, Los tiempos de bombeo normales para un dique seco de la cuenca están en el rango de 2 a 3 horas, pero algunos muelles requieren hasta 12 horas o más para la deshidratación. Los tiempos normales de inundación, por otro lado, son aproximadamente la mitad de los largos. En general, para diques secos dedicados principalmente a trabajos de reparación, cuanto menos tiempo se requiera para bombear y / o inundar el muelle, mejor. Esto se traduce en tiempos de atraque más cortos y, por lo tanto, disminuye el tiempo de tránsito del buque y el tiempo de inactividad para los trabajadores del astillero. Para las cuencas donde se hace hincapié en la construcción nueva, los tiempos de bombeo e inundación más largos son aceptables.



*Ilustración 8: Bomba centrífuga horizontal. Fuente:*

<https://www.cindex.com.mx/bombas/conoces-el-funcionamiento-de-una-bomba-centrifuga/>

Los tres tipos principales de bombas de desagüe utilizadas en los diques secos son bombas centrífugas de flujo mixto y de flujo axial. Las bombas centrífugas se pueden instalar con un eje horizontal o vertical, pero las bombas de flujo mixto y axial son instalaciones verticales. La selección final de la bomba debe tener en cuenta el tiempo de desecación, el consumo de energía, el costo inicial y el costo operativo. El número de bombas principales suele oscilar entre dos y cinco. Nunca se debe usar una sola bomba porque un desglose haría que el muelle no funcione. Los sistemas de inundación de dique seco utilizan varios tipos de válvulas, las más comunes son: válvulas de compuerta, que se usan en las alcantarillas de inundación; válvulas de equilibrio, para llenar el muelle; y válvulas de compuerta y mariposa, que pueden usarse para aislar válvulas y válvulas de inundación en la compuerta.

Las válvulas de compuerta, que se encuentran principalmente en muelles pequeños y antiguos, pueden variar en forma y en materiales de construcción. Su forma está determinada por la forma de la alcantarilla; los materiales de construcción pueden incluir madera, hierro fundido o acero. Las válvulas de equilibrio o cilíndricas consisten en un cilindro vertical grande soportado en guías verticales. Las válvulas están ubicadas en compartimentos con acceso directo al mar y el fondo de la válvula consiste en un sello colocado sobre la alcantarilla de inundación. Cuando se levanta la válvula, el agua fluye radialmente hacia la alcantarilla. Debido a que el cilindro es extremadamente grande, su peso está equilibrado, por lo que se requiere una fuerza relativamente pequeña para abrir la válvula. Las válvulas

de aislamiento en las alcantarillas de aspiración y desinfección proporcionan un medio para reparar o realizar mantenimiento en una bomba sin afectar el resto del sistema de desagüe. Los operadores de válvulas para las válvulas de mayor tamaño son eléctricos, hidráulicos o de aire comprimido. Todos deberían tener una disposición para el funcionamiento manual en caso de fallo del sistema.

Un edificio o cámara separada llamada estación de bombeo, construida en la pared del muelle, contiene las bombas de desagüe y los operadores de válvulas, así como otras bombas y equipos más pequeños para descargar agua de lluvia y proporcionar agua para lucha contra incendios o de lastre, o en el caso de un dique de drenaje inferior, bombas para la descarga de aguas subterráneas. El control local de las bombas y válvulas se proporciona en la estación de bombeo. Además, en la mayoría de las instalaciones se encuentra la operación remota desde una caseta de control central a nivel del astillero.

La ubicación preferida para la estación de bombeo se encuentra dentro de una de las paredes laterales cerca de la entrada al muelle, para minimizar las longitudes de las alcantarillas de succión e inundación. La pared lateral del muelle requiere detalles especiales para el cuarto de la bomba. En el caso de muelles iguales paralelos, la ubicación ideal para la estación de bombeo es en la pared entre los muelles, ya que una estación de bombeo grande es menos costosa que dos más pequeñas. Para muelles equipados con una puerta interior, es preferible tener la estación de bombeo cerca del alféizar o receso de la puerta interior, para servir a ambas secciones del muelle de manera eficiente.

La disposición y el tamaño de la estación de bombeo dependen principalmente del tipo de bombas seleccionadas. Si se eligen bombas de eje horizontal, deben montarse tan cerca del nivel del piso como sea posible debido a su limitada altura de succión. El motor de la bomba está acoplado a una extensión del eje de la bomba y está montado en el mismo nivel que la bomba. Esta disposición requiere un área de piso grande para cada bomba o unidad de motor.

Los muelles más recientes han utilizado bombas de eje vertical. El motor de accionamiento está en un eje vertical común con la bomba y está montado directamente encima de él. Esta disposición tiene la ventaja de que reduce significativamente la cantidad de espacio requerido, lo que resulta en ahorros considerables en la construcción.

En una estación de bombeo moderna es necesario contar con una fuente confiable de energía eléctrica, iluminación suficiente, un sistema de comunicación que consta de un teléfono o un sistema de radio y altavoz, y ventilación y calefacción adecuadas. Además, si hay bombas auxiliares en funcionamiento continuo para la manipulación de las filtraciones de aguas

subterráneas, es importante que haya una fuente de alimentación independiente disponible en caso de un fallo de energía.

Todas las operaciones de bombeo e inundación se controlan desde el centro de control. El centro generalmente está en una torre especial o edificio convenientemente ubicado con respecto a la cuenca. Además de los controles de la bomba y la válvula, hay medidores para monitorizar los niveles de agua en el dique seco, así como en las principales cámaras de succión. El centro de control tiene tableros e indicadores de estado eléctrico, un sistema de indicación de alarma para incendio, fallo del equipo, fallo de la fuente de alimentación principal, y un sistema de comunicación, controles de bomba de incendio y controles para todas las bombas auxiliares. La consola de control generalmente tiene un diagrama mímico que muestra esquemáticamente las disposiciones de alcantarillas, sumideros, bombas y válvulas, así como su estado de apertura/cierre o funcionamiento/no funcionamiento. [5] [9]

### **3.9. Puertas de dique seco**

La puerta del dique seco proporciona la separación necesaria entre la cuenca y el puerto. Estas puertas varían ampliamente en términos de diseño, configuración y medios de operación. Hay cinco tipos básicos de puertas: puertas flotantes, bisagras, corredizas, ingletes y aletas. El tipo, la forma y las dimensiones generales están influenciados por una variedad de factores:

- Ancho de la entrada
- Profundidad de la entrada
- La altura del agua que debe retenerse durante las diversas fases de operación.
- Mareas, vientos y olas, ya que afectan la altura de la puerta.
- La velocidad de operación. Para muelles de reparación, se prefiere un tiempo de funcionamiento de puerta de 10 a 15 minutos; para cuencas de construcción, un tiempo aceptable es de aproximadamente 30 minutos.
- Costo de la construcción, incluidas las obras civiles asociadas y los mecanismos operativos.
- Profundidad disponible debajo del umbral, justo afuera de la entrada del muelle, y

la posibilidad de sedimentación.

- Disponibilidad de espacio de estacionamiento para la puerta contra un muelle o el muro del dique.
- Costo y facilidad de mantenimiento.
- Mano de obra y mecanismos necesarios para operar la puerta.
- Se requiere una fuente de energía para operar la puerta.
- Acceso a través de la parte superior de la puerta para peatones y/o vehículos.
- Ubicación dentro o fuera del dique para la construcción de la puerta.
- Consideraciones especiales tales como cargas de hielo.

Cualquiera que sea el tipo de puerta elegida, es imprescindible que haga un sello hermético contra la entrada del muelle. La madera y el caucho duro son los materiales más comunes utilizados para los sellos de compuerta. El sello debe tener una forma precisa para proporcionar un buen ajuste; su capacidad de amortiguación compensa irregularidades a lo largo de la superficie del hormigón.

La flotabilidad es una consideración importante para todas las puertas, ya que deben tener suficiente flotabilidad para ayudar a su eliminación y colocación en el umbral. [6]

## **I. Puertas flotantes**

Las puertas flotantes independientes son las más utilizadas. Pueden construirse de acero, hormigón armado o pretensado. Una puerta flotante es completamente independiente del dique seco. Una vez que está libre del alféizar, es remolcado a un muelle o muelle para amarrar, fuera del camino del tráfico de barcos. Una puerta flotante es particularmente adecuada para largos tramos y se usa principalmente en casos donde el tráfico de vehículos pesados pase sobre ella. Las puertas flotantes se pueden hacer reversibles para facilitar el mantenimiento, y se pueden construir en una ubicación remota y remolcarlas para su uso inmediato. Sus principales desventajas son que el tiempo de operación es largo, y requieren una gran tripulación para operar torno y cabrestantes y manejar las líneas durante la colocación de la compuerta.



*Ilustración 9: Construcción de puerta flotante. Fuente:*

<https://infopunta.com.ar/contenido/2934/se-construye-la-compuerta-flotante-para-el-dique-2>

Las puertas flotantes pueden tener una variedad de formas transversales; y en alzado, los lados pueden ser verticales o inclinados. Internamente, la puerta se subdivide en compartimentos estancos para la estabilidad de la flotabilidad y el control del balasto. El sistema de control de lastre consiste en bombas y válvulas montadas en la puerta.

La estabilidad de una puerta flotante debe calcularse cuidadosamente. A medida que cambia la cantidad de lastre de agua, el centro de gravedad de la puerta cambia, al igual que su GM (altura metacéntrica). Para evitar cualquier inestabilidad, la mayoría de las puertas flotantes contienen lastre de concreto cerca de la parte inferior.

## **II. Puertas de bisagra**

Las puertas de bisagra son versiones modificadas de puertas flotantes, hechas con una bisagra vertical en un lado. Los principios hidrostáticos de la compuerta de bisagra son similares a los de la compuerta flotante. La puerta se abre por medio de cables y cabrestantes. Un método alternativo es conectar un aguilón operado por un ariete hidráulico capaz de empujar o tirar de la puerta. Ésta tiene muchas de las mismas ventajas y desventajas de la puerta flotante. Para el mantenimiento, la puerta se puede desconectar de las bisagras y

se traslada a otro lugar para reparaciones en la parte superior o dique seco.

### III. Puertas correderas

Las puertas correderas son típicamente pontones flotantes o cajones hechos de acero u hormigón. Cuando el muelle se abre al mar, la compuerta deslizante se desplaza transversalmente a una cavidad especial o rebaje integrado en la pared lateral de la plataforma. Las puertas correderas son similares en construcción a las puertas flotantes, y se pueden usar para puertas exteriores e intermedias. Son fáciles de maniobrar, requieren solo una pequeña tripulación y están diseñadas para una rápida apertura y dosificación. Su principal desventaja es la necesidad de una cámara de almacenamiento especial integrada en la pared lateral del muelle; dicha cámara puede aumentar significativamente el costo total de la construcción del dique. La configuración habitual es rectangular, pero algunos están contruidos en forma de arco. El rango típico de ancho a alto es de 1:4.5 a 1:6.5, para permitir el tráfico en la parte superior de la puerta. En la siguiente ilustración se puede observar la puerta de corredera en el dique seco de carena, en el Astillero de Cernaual, Puerto de La Bahía de

Algeciras.



*Ilustración 10: Puerta de corredera, astillero Cernaual. Fuente:*

<https://cernaval.com/facilities/port-of-algeciras/>

La puerta se desliza sobre un sistema de ruedas o rodillos sobre rieles, y también puede deslizarse sobre una superficie lisa. En cualquier caso, la puerta se desembraga para minimizar la reacción en las pistas deslizantes. De estos diseños, aquellos sin rieles proporcionan una mejor estanqueidad al agua, ya que toda la parte inferior de la compuerta presiona contra la superficie deslizante para formar un sello hermético. La puerta se puede construir con caras de punto de unión en ambos lados si existe la posibilidad de presión de cabeza inversa. A pesar del hecho de que la compuerta se desembraga antes de abrirse, se requiere una considerable fuerza de arranque, especialmente si la compuerta se ha estado asentando durante un tiempo prolongado. Los cables de alambre conectados a cabrestantes eléctricos o hidráulicos normalmente se utilizan para mover la puerta, aunque los arietes hidráulicos a veces se instalan para proporcionar la fuerza de arranque inicial.

#### **IV. Puertas de inglete**

La puerta de inglete se divide en el medio y consta de dos hojas, cada una girando alrededor de una bisagra vertical en la pared lateral del muelle. El eje vertical está soportado por un cojinete superior e inferior, y todo el conjunto de bisagra está empotrado en la pared de la cuenca. Las hojas son diseñadas para que formen un arco a través de la entrada del muelle para resistir la presión del agua. La estanqueidad se logra al juntar trozos de madera de corazón verde o caucho duro en los postes de inglete en la línea central, así como madera o goma en las bisagras de la pared y en la parte inferior en el alféizar. Una compuerta de inglete es de funcionamiento rápido, requiriendo solo una pequeña tripulación, y las compuertas están diseñadas con cierta flotabilidad para minimizar la carga en las bisagras y eliminar la necesidad de rodillos inferiores.



*Ilustración 11:* Puerta de inglete. Fuente: <https://www.vortexhydradams.com/hydraulic-works/miter-gates/>

Al abrir, las hojas de la puerta entran huecos formados en las paredes laterales en la cabeza del muelle. Por lo tanto, el ancho de la entrada puede ser tan ancho como la cámara principal del dique.

Algunas desventajas incluyen la incapacidad de la compuerta para dar cabida a la carga inversa o al tránsito por la carretera. También es difícil mantener la estructura, y generalmente se considera inadecuada para anchos de entrada grandes.

## **V. Puertas abatibles**

Una compuerta batiente consta de una sola hoja que se extiende por todo el ancho del dique, articulada horizontalmente sobre dos cojinetes de muñón a nivel del piso de la plataforma. La operación de la puerta es simple y rápida, ya que puede subir o bajar en unos cinco minutos con cabrestantes accionados eléctricamente. Cuando está abierto, la puerta entera está debajo del nivel del alféizar del muelle, por lo que no presenta ninguna limitación en la profundidad del agua en el alféizar. Se puede acomodar en la vía fluvial o canal contiguo al dique seco y no requiere un hueco especial en la estructura del piso o la pared. La puerta está diseñada para ser semi flotante para reducir la carga en el cable utilizado para abrir y cerrar la aleta. El diseño de una compuerta batiente está muy influenciado por la relación de altura

de la entrada y al ancho. La puerta puede diseñarse con una viga de caja profunda que forma la parte superior de la puerta que abarca toda la entrada y con la parte inferior una serie de refuerzos que se extienden verticalmente entre el umbral y la viga. Alternativamente, la puerta puede diseñarse como una serie de vigas pesadas soportadas por tres lados: las dos paredes laterales y el alféizar. Como se muestra en la siguiente ilustración, una puerta abatible en el dique seco del Puerto de Barcelona.



*Ilustración 12:* Puerta abatible. Fuente: <https://ereventos.com/es/projects/puerta-foster-puerto-barcelona/#tab-id-1>

Para entradas muy anchas, la simple compuerta abatible es demasiado pesada y antieconómica. En esta situación, se puede considerar una puerta de aleta pavoneada. Cuando se cierra, la compuerta es sostenida a intervalos por una serie de puntales inclinados diseñados para tomar la presión de agua horizontal. Otra alternativa es la compuerta colgante en voladizo. Esta puerta está dispuesta en voladizo desde el umbral justo por encima de donde está articulada. La tendencia en la construcción del muelle ha sido eliminar dispositivos complejos y simplificar el proceso de apertura y cierre de la cámara del muelle. La compuerta de aleta se ha convertido en el tipo más económico y confiable de cierre de dique seco.

## **4. RAMPAS DE VARADERO (MARINE RAILWAYS DRY DOCKS)**

El dique seco con rampas de varadero es un medio mecánico para levantar un barco fuera del agua a una elevación por encima de las mareas más altas. Operando según el principio básico del plano inclinado, la rampa del varadero se compone de una cuna o carro que se baja al agua a lo largo de una pista inclinada sobre un sistema de rodillos o ruedas, por lo que el buque que se va a secar puede flotar encima de la estructura. Una vez que el buque ha sido centrado, la cuna es arrastrada por la pista hasta que el recipiente se apoya en el bloque. La

operación está completa cuando la plataforma de la cuna está fuera del agua, guardando el barco en alto y en seco. La rampa junto con la vía férrea, está diseñada para que el buque atracado se coloque en el nivel del astillero o por encima del mismo, lo que permite que los materiales y el montaje se puedan mover fácilmente hacia la posición que se encuentra en el área del astillero adyacente. Además, debido a que la cuna está prácticamente abierta en todos los lados, hay circulación libre de aire y buena iluminación, lo que permite que los buques se reparen rápida y eficientemente.



*Ilustración 13: Buque elevado en rampa de varadero. Fuente:*

<https://www.marinelink.com/news/crandall-dry-dock-engineers-inc-sale-503304>

Este dique se desarrolló a mediados del siglo XIX, y se originó en el varadero de tipo inglés. Las características introducidas en el primer dique con Rampas de varadero en East Boston, que lo diferenciaba del varadero, incluían bloques superiores de quilla y una plataforma sobre la cuna, plataformas de anclaje con potencia de vapor para que los hombres puedan caminar mientras manejan las líneas durante el atraque.

Éste tipo de varadero de diseño moderno funciona rápidamente, es confiable y extremadamente duradero en el entorno del mar. En general, es económico tanto en la instalación como en el funcionamiento en comparación con otras instalaciones en el mismo rango de capacidad.

La rampa de varadero con vía férrea es el más adecuado para un rango de capacidad de 100 a 8000 toneladas. Teóricamente, son posibles más allá de las 8000 toneladas, siempre que las

condiciones de la cimentación sean satisfactorias. El tipo de barcos que se atracan y las restricciones especiales del sitio generalmente dictan las dimensiones finales del varadero.

Los varaderos de rampa pueden ser de extrema largura o de lado. La mayoría de ellos modernos son de larga distancia porque ese tipo de operación generalmente es más segura y menos complicada que la otra. Además, el tipo de recorrido final requiere solo aproximadamente un tercio de frente de agua como el tipo de transporte lateral.

#### **4.1. Consideraciones del sitio**

La rampa de varadero es el más adecuado para sitios con fondos gradualmente inclinados. En áreas donde la sedimentación es un problema, el fondo natural en el extremo marino de la vía debe estar por debajo del nivel de la vía. Es esencial un sitio en un puerto protegido con protección natural de fuertes vientos, olas y corrientes. Para algunos lugares, la formación de hielo es una preocupación seria, ya que el hielo puede obstaculizar gravemente el funcionamiento de la rampa de varada. Debido a que el seguimiento es bastante largo, debe haber suficiente área disponible para evitar infracciones en el canal. Las condiciones favorables del subsuelo son esenciales para soportar las cargas previstas. La capacidad de cimentación determinará la capacidad lineal de la vía férrea. En la siguiente ilustración podemos observar un ejemplo de rampa de varada: El Big Chute Marine Railway es una patente en la esclusa 44 del Trent-Severn Waterway en Ontario, Canadá. Trabajando en un plano inclinado, transporta barcos en cunas individuales en un cambio de altura de aproximadamente 60 pies.



*Ilustración 14:* Rampa de varadero y su cuna. Fuente: <https://pilebuck.com/marine/guide-marine-railways-patent-slips/>

## 4.2. Diseño de vías y cimientos

La carga que ejerce el barco se transmite directamente a la vía y cimentación a través del sistema de cuna y rodillos (o ruedas). Las cargas de diseño para la vía varían a lo largo de toda la vía. Por ejemplo, la parte costera debe diseñarse para la carga muerta de la cuna más la carga viva del barco. La parte costa afuera de la vía está diseñada para la carga muerta de la cuna sumergida y sin carga viva. Moviéndose hacia la costa, la carga de diseño aumenta constantemente desde el punto en el que la embarcación va a tierra en el primer bloque hasta que la embarcación está completamente fuera del agua, y la carga viva y la carga muerta se completan.

Dependiendo del litoral natural, disponibilidad de espacio, río o corrientes de marea, variedad en el nivel de agua y la capacidad de elevación deseada, el declive de la pista puede variar de uno en diez a uno en treinta. En la mayoría de los casos, la pendiente de la pista se selecciona cuidadosamente para minimizar o eliminar por completo el dragado con un gradiente suave.

Una tendencia en el diseño ferroviario ha sido la desviación de una pendiente recta y el desarrollo de una vía construida sobre una curva circular vertical. Esta geometría hace que la cuna gire mientras viaja a lo largo de la vía, permitiendo que los bloques de la quilla y la plataforma de la cuna estén en declive cuando están sumergidos para estar estrechamente alineados con el equilibrio y arrastre de una embarcación. También permite que la cuna quede horizontal en la posición máxima, necesaria en caso de traslado a tierra. Un beneficio secundario del diseño de la vía curva vertical es que puede proporcionar las profundidades de agua necesarias al tiempo que minimiza la longitud total de la vía.

Con respecto a la profundidad del agua, el diseño óptimo prevé el atraque en la bajamar media, especialmente en lugares donde el rango de la marea es pequeño.

Los primeros varaderos con vías férreas de pequeña capacidad utilizaban alféizares de barro o traviesas para durmientes sobre un lecho de grava. A medida que aumentaban las concentraciones de carga, se hizo evidente la necesidad de una mayor capacidad de cimentación. Hoy en día, se usan pilotes de madera, acero o concreto. Cuando hay rocas disponibles cerca de la vía, se pueden usar zapatas de concreto para soportar la vía. Las zapatas se deben diseñar con la relación de aspecto adecuada para la estabilidad y espaciadas para que sean compatibles con la capacidad de carga lineal del ferrocarril.

Los primeros diseños de las vías se hicieron completamente de madera. Hoy se usa una variedad de material, que incluye acero, concreto y madera. El diseño compuesto consta de una sección de hormigón armado por encima de la línea de bajamar y acero o madera para las partes sumergidas. Se puede fabricar una nueva vía de acero en seco en secciones de 40 a 60 pies de largo. Luego, las secciones flotan en su posición y se sumergen dónde están aseguradas a las pilas de acero. En comparación con la pista y la base de madera, este tipo de estructura presta en sí mejores métodos de construcción de muelles pesados. El producto final está libre de ataque de barrena marina, y con una buena capa de protección y sistemas de protección catódica es muy duradero en agua de mar.

La estructura de la pista puede estar compuesta de dos, tres o cuatro formas, dependiendo del tipo y tamaño del buque. La mayoría de los ferrocarriles marinos de hoy están construidos con una disposición de vías de dos pistas. [3] [11]

### 4.3. Diseño y construcción de la cuna

Para mayor durabilidad y resistencia, la superestructura de la cuna en un ferrocarril moderno está construida de acero, incluidas las vigas transversales, los corredores, las columnas y los montantes que soportan las plataformas de acoplamiento. La plataforma de la cuna y el bloque están hechos de madera. La estructura de cuna debe tener resistencia y estabilidad para soportar el buque y, al mismo tiempo, ser flexible en la flexión longitudinal y en la torsión para acomodar cualquier irregularidad que pueda ocurrir en la vía y/o en el buque.

El calibre de las correderas de la cuna debe ser lo suficientemente ancho para proporcionar estabilidad contra el vuelco por cargas sísmicas, de viento o corrientes. Como regla general, el gálibo de un ferrocarril es aproximadamente la mitad de la manga del buque más el ancho y/o un tercio del ancho de la cuna. La plataforma de cuna está compuesta de una serie de vigas transversales largas y cortas. Las vigas cortas tienen la misma longitud que el calibre del corredor y están diseñadas para soportar cargas de los bloques de la quilla únicamente. Como se muestra en la ilustración 15. Las vigas largas se extienden simétricamente más allá de las correderas de la cuna y están diseñadas para soportar los bloques de sentina y los bloques de quilla. Las vigas pueden estar espaciadas en cualquier incremento, pero el patrón generalmente aceptado requiere vigas largas a 12 pies en el centro con vigas cortas en el medio con un espaciamiento de 4 o 6 pies.



Ilustración 15: Plataforma de cuna. Fuente: <https://stock.adobe.com/es/images/dry-dock-slipway/739759>

Una cuna dividida se construye en varias secciones, generalmente dos, que se puede operar como una sola unidad o por separado para una operación independiente. Su diseño proporciona flexibilidad operativa y facilita el mantenimiento de la cuna. La cuna dividida permite acoplar una nave grande o dos embarcaciones más pequeñas. En este último caso, es posible tener un barco atracado en la sección de proa, para reparaciones a largo plazo, mientras que la sección de popa sirve a los barcos que requieren reparaciones menores. El mantenimiento de una cuna dividida es algo más fácil que el de una cuna de una sola pieza, ya que es relativamente simple flotar lejos de la cuna de proa y luego transportar la cuna posterior completamente libre del agua.

Las vigas verticales de acero, llamadas montantes, se colocan al final de las vigas largas de la cuna. Los montantes cumplen varias funciones. Sostienen una plataforma continua que es utilizada por el personal de atraque para manejar las líneas durante el posicionamiento del barco. Los cabrestantes que operan bloques de sentina deslizantes generalmente se montan en soportes espaciados a lo largo de la plataforma de atraque. Además, los montantes están equipados con defensas de madera y están diseñados para resistir una cantidad modesta de carga del impacto del barco durante una operación de atraque. [3] [7]

#### **4.4. Sistemas de bloqueo**

Los diques secos ferroviarios suelen estar equipados con un sistema de bloqueo de maderas estándar de tres a cuatro pies de altura. Al diseñar la línea de bloque en una cuna, es aconsejable tener la parte superior de los bloques de quilla paralelos a la quilla del barco cuando se establece contacto; de lo contrario, se desarrollan fuerzas de vuelco que, en casos severos, podrían causar inestabilidad de conexión a tierra. La línea de los bloques de quilla puede ser diferente de la línea de la pista. Por lo tanto, la pendiente de la pista puede ser suave e inclinada para adaptarse a las condiciones locales, sin embargo, las embarcaciones se levantan prácticamente en una quilla pareja. Las cunas equipadas con bloques de sentina y quilla de liberación, bloques de sentina retráctiles deslizantes y torres de bloqueo especiales altas permiten que muchos tipos de embarcaciones se alojen con un mínimo de tiempo y mano de obra mínima.

## 4.5. Acarreo de maquinaria y cadenas

El arrastre de la vía inclinada se lleva a cabo mediante una potente maquinaria y cadenas, que tiran de la cuna y su carga superpuesta en un sistema de rodillos o ruedas. Algunos de los ferrocarriles más pequeños utilizan cabrestantes de cable con varias cuerdas de alambre en lugar de cadena. La siguiente discusión se enfoca en el sistema de acarreo en cadena y maquinaria asociada.

Desarrollado especialmente para diques secos con vías férreas, las máquinas de transporte consisten en un motor eléctrico que impulsa un reductor de velocidad y un tren de engranajes. Los engranajes llevan una o más ruedas de cadena dentada, o ruedas dentadas, que manejan la cadena de transporte. A diferencia de la cuna, la pista y la base, donde las cargas locales concentradas pueden afectar en gran medida el diseño, la máquina de transporte y las cadenas son sensibles solo al total de cargas vivas y muertas. La carga en la cadena es completamente una función de la carga de la cuna, el gradiente y la fricción, y no proviene del motor de accionamiento. Básicamente, la carga en la cadena puede expresarse como  $W \sin \Theta + WC_f$ , donde  $W$  es el peso total del recipiente de diseño máximo más el peso de la cuna y las cadenas,  $\Theta$  es el ángulo de inclinación de la pista en grados, y  $C_f$  es el coeficiente de fricción.

Para un sistema de rodillos, el valor de diseño para el coeficiente de fricción oscila entre 0.15 y 0.20. (“Mary Jane Brady” y “Crandall Dry Dock Engineers, Inc.” informaron que en pruebas reales realizadas en el Astillero Naval de Boston en la vía marítima N° 11, el coeficiente de fricción promedio para un sistema de rodillos existente se calculó alrededor de 0.07). Para un sistema de ruedas, se usa para su diseño un coeficiente de fricción de alrededor de 0.5. Fuente de estudio expuesta en el siguiente link: [https://www.nps.gov/parkhistory/online\\_books/bost/marine\\_railway.pdf](https://www.nps.gov/parkhistory/online_books/bost/marine_railway.pdf)

Además, exponen que la potencia requerida es una función del tirón multiplicado por la velocidad. La máquina está diseñada para tener una velocidad de acarreo de aproximadamente un pie vertical por minuto, siempre que sea posible. Por ejemplo, si un ferrocarril se construye sobre un gradiente de 1:22, entonces la velocidad ideal de acarreo sería de 22 pies por minuto.

Las cadenas son mucho más satisfactorias que los mejores cables de acero debido a su enorme resistencia a la tracción, durabilidad, economía y facilidad de conexión con grilletes

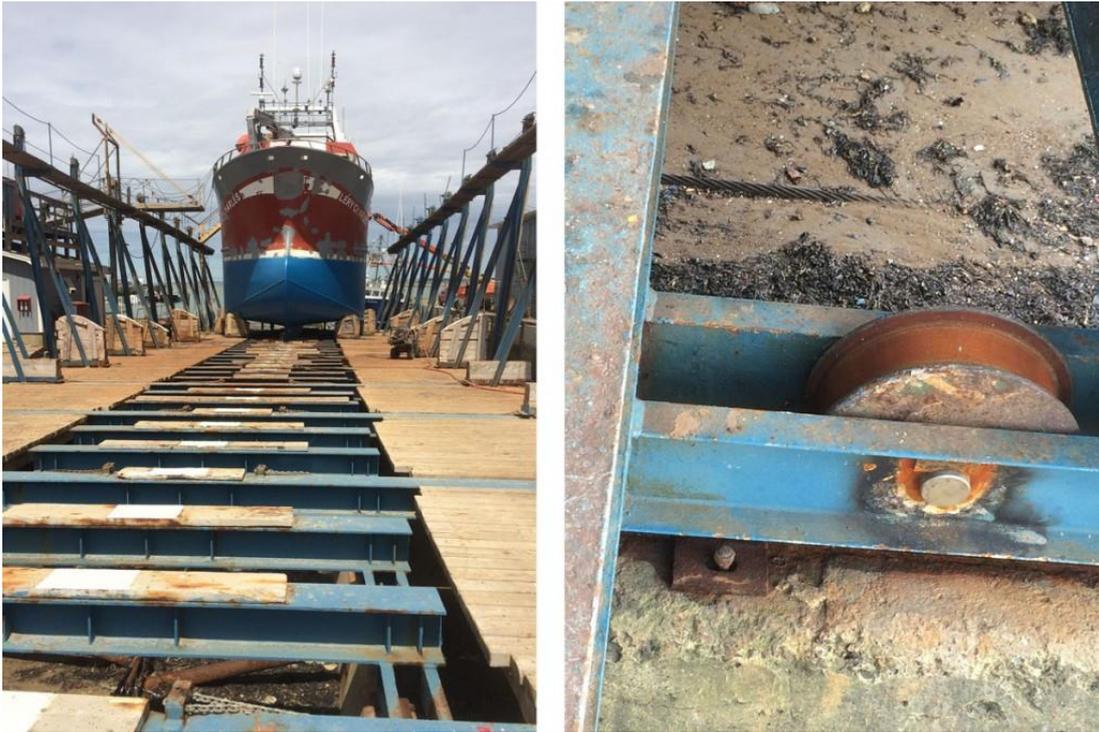
de transporte especiales. Los ferrocarriles construidos hoy en día utilizan cadenas de calidad de plataforma petrolífera o clase 3. Esta cadena de aleación soldada de alta resistencia es aproximadamente un 50 % más resistente que la cadena de acero fundido y tiene una carga de trabajo de aproximadamente el 40 % de la carga de rotura de la cadena. La cadena de acarreo se puede medir fácilmente para determinar si se estira o verificar con calibradores para determinar su resistencia restante. Las cadenas durarán hasta 20 años en un entorno de agua salada con poco o ningún mantenimiento.

Desde la cuna, la cadena pasa a la rueda de cadena donde gira 180° y luego se estira a lo largo de la pista para su almacenamiento. El extremo amargo está conectado a una cadena de respaldo de menor tamaño, que pasa a través de una polea sumergida asegurada a la vía y regresa a la cuna para formar un bucle sin fin.

El sistema de bucle sin fin proporciona un medio para tirar de la cuna por la vía si la fuerza de fricción causada por el cieno y los escombros ligeros en la vía no puede ser superada por la gravedad. [3] [8]

## **4.6. Rodillos y ruedas**

Para varaderos de capacidad media y grande, la cuna corre a lo largo de la vía en un sistema de rodillos. Este sistema típico es similar a un rodamiento de rodillos longitudinal y exige la misma precisión, espacio libre y alineación perpendicular. Los sistemas de rodillos actuales consisten en rodillos de hierro fundido, hierro dúctil o acero fundido, sujetos por marcos de acero que consisten en ángulos con casquillos de hierro maleable soldados para recibir los pernos de los rodillos. El ancho y el espaciado de los rodillos están dictados por la carga lineal máxima. El ancho mínimo de rodillos para un ferrocarril moderno es de 6 pulgadas, mientras que los varaderos más grandes hasta la fecha tienen rodillos de 14 pulgadas de ancho. Cada bastidor de rodillo tiene aproximadamente 12 rodillos individuales espaciados a aproximadamente 12 a 18 pulgadas en el centro. Los marcos se conectan entre sí, formando una longitud continua de rodillos en cada sentido. Los varaderos pequeños de 250 toneladas de capacidad o menos generalmente se construyen con ruedas. Las ruedas del tipo de eje fijo tienen al menos 2,5 veces la fricción de los rodillos, por lo que requieren una cadena más pesada y una maquinaria ligeramente más potente que los rodillos.



*Ilustración 16: Rodillo en la cuna.*

Fuente: <https://ajot.com/news/thordon-keeps-comeau-marine-railway-drydock-operational>

## 4.7. Transporte lateral

Una disposición de transporte lateral del varadero se usa más comúnmente en sitios fluviales, donde hay amplios rangos de niveles de agua. Los períodos de bajamar pueden durar varios meses, pero pueden estar intercalados con períodos más cortos de altamar. Las embarcaciones típicas que navegan en estos ríos son embarcaciones de poco calado, de fondo plano y de construcción ligera. El varadero típico de recorrido lateral, está construido sobre un gradiente relativamente empinado, lo que proporciona suficiente movimiento vertical para permitir el atraque en todas las etapas del río. En general, el transporte lateral es costoso de construir y no se adapta muy bien a los buques transoceánicos. El varadero con rampa de recorrido lateral debe elegirse solo si un estudio cuidadoso indica que otros tipos no son adecuados.

Un transporte lateral generalmente consta de varias cunas, cada una manejada por una o dos

bandejas de cadena o cable. La principal desventaja técnica es que la carga en cualquier sección de la cuna es estáticamente indeterminada y varía según la ubicación del centro de gravedad longitudinal del barco. En consecuencia, es necesario utilizar cadenas o cables de acero de gran tamaño para permitir la sobrecarga. Además, los cables muy cargados pueden estirarse, provocando un movimiento diferencial de la cuna. Esto se puede solucionar utilizando cadenas accionadas por ruedas dentadas que funcionan a la misma velocidad.

## **4.8. Transferencia de buques**

A la versatilidad de las rampas de varadero se suma la capacidad de transferir embarcaciones desde la cuna hasta los atraques en tierra y viceversa. Los sistemas de transferencia de barcos se han vuelto extremadamente populares debido a las necesidades creadas por las técnicas de línea de ensamblaje de tipo modular prefabricadas utilizadas en la construcción de barcos modernos. Además, los beneficios económicos de manejar varios barcos para trabajos de reparación a largo plazo, así como las posibilidades de almacenamiento de invierno, son algunas de las razones por las que los propietarios optan por incorporar un atracadero o atracaderos de transferencia en la construcción original, o tener en cuenta dicha instalación en una fecha futura.

El traslado hace muy ventajoso el desarrollo a gran escala de los sistemas de transferencia que utiliza un solo dique seco ferroviario como instalación básica de elevación y lanzamiento. El costo es relativamente bajo, pero varía mucho, según la disposición, el número de amarres y la selectividad requerida. En general, un atracadero de transferencia que incluya una cuna de traslado costará del 25% al 30% del costo del ferrocarril mismo.

Los principios de rodadura y arrastre utilizados para el ferrocarril inclinado se pueden aplicar al traslado de un buque en un plano horizontal. La diferencia es que no es necesario superar ningún componente de la gravedad; sólo las fuerzas de fricción deben serlo. El esfuerzo requerido para mover un barco horizontalmente es solo una fracción de lo que se necesita para subir una pendiente.

Un sistema típico de transferencia consta de un par o una serie de vías que se relacionan entre sí, con un carro o bandeja para apoyar el barco. Se proporciona un espacio libre entre el carro de transferencia y el barco para trabajar en el casco. También se distribuye el peso de la embarcación tanto como sea posible. Los carros donde trasladan los buques están

equipados con ruedas o se desplazan con un sistema de rodillos.

La elección entre transferencia lateral y transferencia longitudinal es en gran medida una cuestión de conveniencia con respecto a las diversas condiciones del sitio. La transferencia longitudinal desde el extremo de la cuna ha demostrado ser muy económica, especialmente si solo se usa una sola vía. Sin embargo, requiere que toda la máquina de acarreo esté hundida en un pozo por debajo del nivel de los rieles de transferencia. Cuando se desea una selectividad total del espacio de almacenamiento, se requiere una transferencia bidireccional. En este caso, el costo de la transferencia final es aproximadamente igual al costo de la transferencia lateral.

La capacidad de transferir embarcaciones en una cuna de varadero ha permitido a algunos astilleros abandonar el uso de vías engrasadas para botar barcos y adoptar el método más seguro de botadura controlada, con la ventaja adicional de poder construir la embarcación desde un plano de trabajo horizontal.

## **5. DIQUES SECOS FLOTANTES (FLOATING DRY DOCKS)**

Los diques flotantes son estructuras flotantes con dimensiones, fuerza, desplazamiento y estabilidad suficientes para levantar un barco del agua. Por lo general, constan de dos partes principales, pontones y dos cajeros laterales. El pontón (o pontones) es el principal cuerpo de sustentación, que debe desplazar el peso de la embarcación y del dique seco. También debe ser capaz de resistir la flexión transversal causada por el peso del barco a lo largo de la línea central opuesta a la presión del agua desde debajo. Las alas brindan estabilidad mientras los pontones están sumergidos. Parte de la estructura de ala se utiliza para el agua de lastre necesaria para hundir y controlar la profundidad de inmersión del muelle. Las paredes de ala continuas sirven como vigas longitudinales. La mayoría de los diques secos tienen forma rectangular, aunque algunos tienen forma más parecida a barcos.



*Ilustración 17:* Dique flotante con capacidad para buques Panamax. *Fuente:*

<https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3127192/cuba-compra-china-dique-flotante-capacidad-buques-panamax>

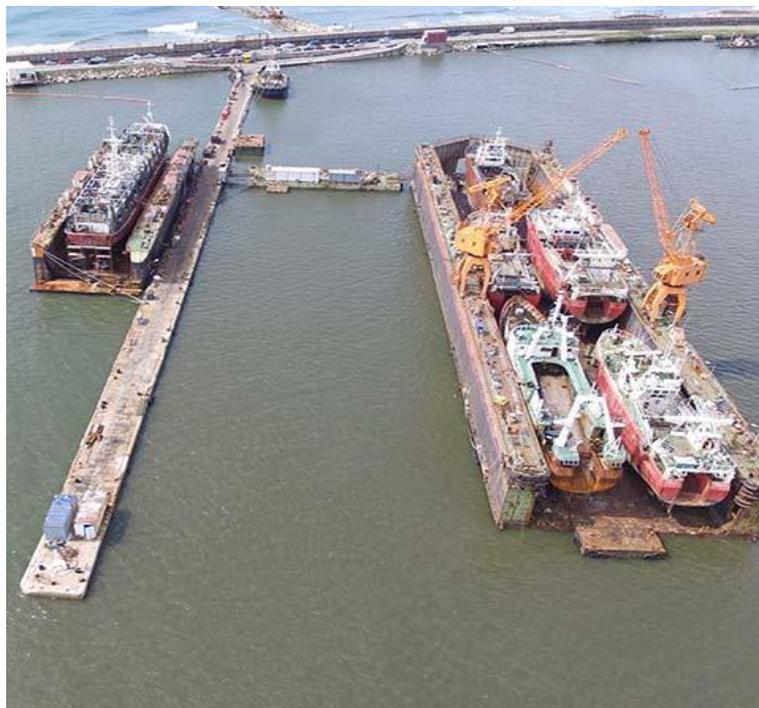
El tamaño de los diques secos flotantes puede variar hasta 100.000 toneladas largas de capacidad de elevación, con longitudes superiores a 1.000 pies y mangas superiores a 200 pies. Han sido construidos de madera, hierro, acero, hormigón armado y una combinación de madera y acero. Casi todos los diques secos flotantes modernos están construidos completamente con acero soldado.

“Con respecto a los diques flotantes es preciso tener presente que éstos exigen unas profundidades marinas adecuadas, que no siempre existen en las proximidades de las zonas portuarias. Este tipo de diques suelen construirse en los lugares donde su realización resulte más conveniente y cómoda por razones de disponibilidad de mano de obra, materiales e instalaciones, desde los que sea fácil transportarlos más tarde al lugar de su utilización. Con los sistemas actuales de prefabricación, los diques flotantes requieren un plazo de construcción muy inferior al de los diques secos y tienen además la ventaja de poderse equipar y utilizar como arsenales móviles, siempre que vayan acompañados de barcos taller. Con esta finalidad, durante la Segunda Guerra Mundial fueron muy utilizados en las operaciones navales del océano Pacífico”. Según “*El mar*” Gran Enciclopedia Salvat, citada

en la bibliografía. [4]

El primer uso reportado de un dique seco flotante ocurrió alrededor del año 1.700 en el Mar Báltico, sin mareas. Para realizar las reparaciones de su embarcación, el capitán de un barco adquirió el casco de una embarcación más grande, el "Camel", quitó la cubierta y los mamparos y cortó la proa. Después de hacer flotar su propia embarcación en el casco más grande, remató la proa y extrajo el agua del interior de la embarcación más grande. El "Camel" flotaba con la embarcación más pequeña dentro, alto y seco y con el casco accesible para reparaciones. [1] [3]

El peso del barco se transmite a las estructuras de la solera mediante una fila central y dos laterales de picaderos de madera, y para impedir que cualquier leve inclinación del dique provoque la caída del barco, se colocan puntales entre las cajas laterales del dique y los costados. En un compartimento estanco situado en la parte más alta de tales cajeros se encuentran los aparatos y dispositivos para la inmersión y emersión, los cabrestantes para el remolque y el alineamiento del barco sobre los picaderos, los servicios logísticos para el personal de maniobra del dique y la tripulación del buque que estén en dique, así como los talleres, centrales eléctricas, compresores de aire, equipos contra incendios, etc. En cada una de las cajas laterales existe una grúa deslizable sobre raíles. Como se puede observar en la imagen 18, en los Astilleros SPI :



*Ilustración 18:* Infraestructura de dique flotante con grúas en las cajas laterales.

*Fuente:* <https://www.astillerospi.com/infraestructura>

Durante algún tiempo, los muelles flotantes se hacían en forma de cascos de barco. A mediados del siglo XVIII, poco a poco los diques secos se hicieron en forma de U y rectangular o en forma de caja. Al principio, solo se disponía de madera para la construcción, pero la introducción de hierro y, finalmente, de acero como materiales de construcción proporcionaba capacidades mejoradas y mayores tamaños en diques secos flotantes.

A medida que los barcos se hicieron más grandes y pesados, los diques secos flotantes siguieron su ejemplo, con una variedad de diseños. El mantenimiento del dique seco en virtud de una capacidad de auto-acoplamiento fue una característica importante. Las potencias navales, particularmente Inglaterra y Alemania, requerían la movilidad de sus diques secos para dar servicio a sus grandes flotas dispersas por todo el mundo. Estos dos factores contribuyeron en gran medida a los diversos tipos de diques secos flotantes desarrollados a lo largo de los años.

Hoy en día, los diques secos flotantes continúan siendo partes importantes de muchas instalaciones de reparación de barcos. Mediante el uso de revestimientos protectores mejorados y sistemas de protección catódica para extender la vida útil antes de que se requieran reparaciones o dique seco, los diques secos flotantes modernos se construyen con mayor frecuencia como unidades de acero de una sola pieza que no se acoplan automáticamente.

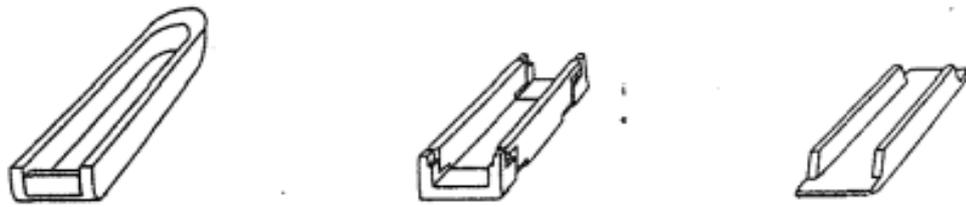
Los diques secos flotantes son el tipo de instalación de reparación más flexible disponible, ya que pueden acomodar embarcaciones de todos los tamaños, hasta superpetroleros y VLCC, y representan un activo que puede reubicarse fácilmente según lo requieran las condiciones. Pueden operar con una escora y/o un asiento para aceptar embarcaciones flotando en casi cualquier condición. Debido a que estos diques secos flotan junto a un muelle o amarradero, se pueden ubicar más allá de las líneas de los muelles y no ocupan un valioso espacio frente a la costa.



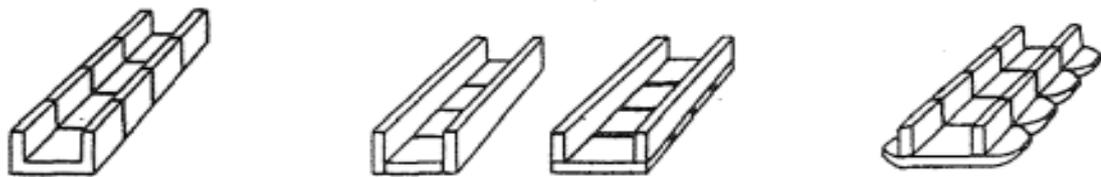
*Ilustración 19: Dique flotante más grande del mundo. Fuente: <https://vadebarcos.files.wordpress.com/2013/09/emeishan.jpg>*

### **5.1. Tipos de diques flotantes**

Los diques secos flotantes se pueden categorizar de varias maneras. Se pueden dividir en aquellos que están destinados a acoplarse automáticamente y los que se fabrican como unidades de una sola pieza y requieren otra instalación de dique seco para el mantenimiento y las reparaciones bajo el agua. Los diseños de acoplamiento automático generalmente utilizan secciones removibles que encajarán en las partes restantes del dique seco. A través de un ciclo de operaciones de autoacoplamiento, se puede dar servicio a todo el dique seco.



a) Con forma de barco. b) De autoacomplamiento de tres piezas. c) Con forma de caja.



d) Tipo modular. e) Compuesto o de Rennie. f) Modular con capacidades de remolque mejoradas.

*Ilustración 20: Tipos de diques flotantes. Fuente: Gaythwaite, John W. "Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring and Repair of Vessels".*

La primera de estas estructuras fue desarrollada por Rennie a mediados del siglo XVIII, utilizando pontones seccionales con estructuras de ala continuas. Una unidad de pontón individual podría desconectarse de la estructura de ala y ser levantada por los pontones restantes para mantenimiento y reparaciones. Esta fue una característica importante ya que ayudó a extender la vida útil de un muelle. Este tipo de dique seco todavía está en uso. Las variaciones del concepto de Rennie incluyen muelles secos que son completamente desmontables con varias unidades de alas y pontones de una pieza en conjunto. Una unidad individual puede desconectarse de la unidad adyacente y ser elevada por las unidades restantes para el servicio. Otros tipos utilizan dos piezas de extremo relativamente cortas y una sección central larga como unidad operativa. Las unidades de extremo corto se pueden acoplar en seco en la unidad central más larga, y las dos unidades de extremo se pueden usar para levantar la sección central. Varios de estos muelles aún existen desde sus días de la Segunda Guerra Mundial.



*Ilustración 21: Dique flotante de la Segunda Guerra Mundial. Fuente:*

<https://www.unabrevehistoria.com/2008/06/diques-secos-para-ganar-una-guerra.html>

Todos los diques secos modulares exhiben debilidad inherente en las conexiones entre las secciones. El dique seco más fuerte con el uso más eficiente del material de construcción es el muelle de caja continuo de una sola pieza. Este tipo con forma de caja o canal no es autocarenable, por cuanto para su mantenimiento se requiere ponerlo en seco encima de otro dique. Los demás permiten el autocarenamiento, es decir, el empleo de una o varias secciones para poner en seco las otras.

Los muelles secos flotantes también se pueden diferenciar por su forma (es decir, en forma de barco o en forma de canal). El muelle flotante en forma de barco es esencialmente un dique flotante con una proa cerrada y una puerta de popa. El buque que va a vararse en seco debe caber completamente dentro de los límites del muelle. El levantamiento es proporcionado por el desplazamiento de la estructura del dique seco y la cavidad evacuada dentro de esa estructura. Aunque no es autopulsado, su forma permite remolcarlo fácilmente para avanzar bases. El pontón tiene menos profundidad que un dique seco en

forma de canal de capacidad de elevación similar porque la cubierta de trabajo o del pontón está por debajo del nivel del agua exterior, lo que requiere menos profundidad operativa y posiblemente menos dragado en el sitio de operación.

El dique seco en forma de canal o artesa, que debe tener su plataforma de trabajo sobre el nivel del agua, requiere un pontón más profundo y un sitio de operación para una capacidad equivalente, en comparación con el tipo con forma de barco. Debido a que los extremos están abiertos, un barco atracado puede exceder la longitud del dique seco y sobresalir de los extremos del pontón. Estos muelles se pueden reubicar, pero los preparativos de remolque para este tipo de instalaciones suelen estar más involucrados que los requeridos para el dique seco en forma de barco.

Otra forma de clasificar los diques secos es mediante los materiales de construcción. Originalmente todos los muelles flotantes estaban contruidos con madera. El hierro, luego el acero y el concreto reforzado gradualmente reemplazaron a la madera como el material de construcción favorito. La construcción compuesta generalmente de pontones de madera y alas de acero en un diseño seccional, produjo un muelle seco y capaz de prestar muchos años de servicio útil.

Los diques de madera estaban limitados en sus dimensiones y capacidad de carga, así que a medida que los barcos se hicieron más grandes, el dique seco de madera se volvió menos práctico. La madera fue utilizada extensamente en la Primera Guerra Mundial y la Segunda Guerra Mundial debido a la necesidad desesperada de muelles secos y la escasez de acero, pero desde entonces no se han construido muelles secos de madera. Las dificultades para obtener madera de buena calidad en las dimensiones requeridas y el hecho de que trabajar con maderas grandes es un arte perdido, así como el aumento del tamaño de diques secos y las capacidades de la construcción de acero, han llevado a la discontinuación de la construcción de muelles de madera. La madera es un material de construcción natural para el agua salada debido a su esperanza de vida en ese entorno preservado; mientras la madera se mantuviera húmeda mediante una operación ocasional y se pudieran repeler los barrenadores marinos, se conservaría. Sin embargo, la exposición de algunas áreas de las paredes laterales al agua de lluvia y las capacidades destructivas de los barrenadores marinos en los pontones llevó a la desaparición de la mayoría de los diques secos de madera.

La construcción compuesta, que incorpora unidades de pontones de madera y paredes laterales de acero, utilizó las ventajas de la autopreservación de la madera en el agua de mar y la resistencia y capacidad de supervivencia del acero sobre ella. Muchos de los diques

secos totalmente de madera se repararon reemplazando las paredes de las alas deterioradas con cajas de alas de acero. Esto ayudó a extender en gran medida la vida útil de la instalación, y algunas de estas estructuras todavía están en funcionamiento en la actualidad.

El hormigón armado se usó para la construcción de varios muelles flotantes para la Marina de EE.UU. durante la Segunda Guerra Mundial, en gran parte debido a la falta de acero durante el periodo de guerra.

Los muelles secos de concreto tienen una alta relación de peso muerto a elevación, requiriendo pontones más profundos que los muelles de acero para capacidades de sustentación equivalentes.

En la actualidad, el uso de la construcción de acero totalmente soldado proporciona una relación eficiente entre el peso, la resistencia y la capacidad de elevación necesaria para las instalaciones modernas de reparación de buques. Estos muelles generalmente son construidos por astilleros o astilleros de fabricación dedicados a la construcción de muelles flotantes utilizando técnicas modernas de construcción naval.



*Ilustración 22: Diques secos y flotantes modernos, en el Puerto de Hamburgo (NVL Group).*

Fuente: <https://nvl.de/es/astilleros-y-diques/blohmvooss>

En la ilustración 22 se muestran diques secos y tres muelles flotantes modernos, en el puerto de Hamburgo, Alemania. Uno de los diques flotantes mayores de Europa en sus dimensiones: 320m x 52m, y su capacidad de elevación de 65.000 toneladas. El que le sigue, con dimensiones de 199m x 32m, con capacidad de elevación de 22.000 t. El muelle flotante más pequeño que se observa en dicho puerto tiene unas dimensiones de 162m x 24m, y su

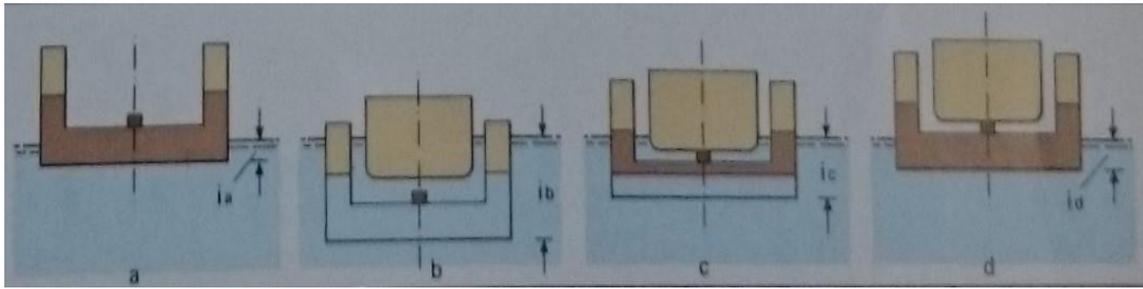
capacidad de elevación es de 9.000 t. Datos recogidos en la página web oficial del Astillero NVL Group en el Puerto de Hamburgo.[12]

## 5.2. Principios de operación

Un dique seco flotante funciona según el principio de Arquímedes, todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado. Las dimensiones y disposición de la estructura, y la presencia del sistema de bombeo e inundación, permiten variar el peso del dique seco de modo que la cubierta de pontones del dique pueda sumergirse para atracar o desatracar una embarcación. Se añade agua a los tanques de lastre, hundiendo el dique hasta alcanzar la profundidad de agua deseada. Luego, la embarcación se coloca o se retira del dique seco. Después, se evacua el agua de los tanques de lastre y el dique seco se eleva desde el agua hasta que la cubierta del pontón esté por encima del nivel del agua.

En la ilustración 23 podemos observar que las fases principales, para poner en seco un buque por medio de un dique flotante, son cuatro:

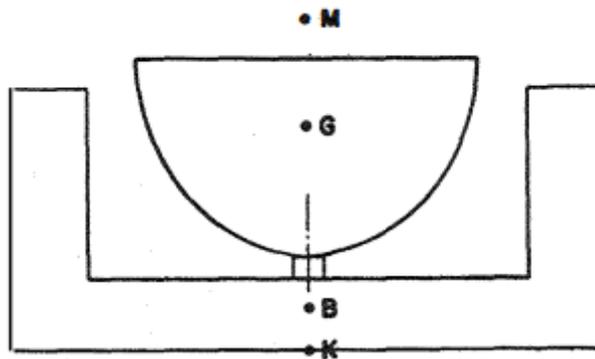
- a) El dique flota con los tanques de lastre vacíos y con un calado  $i_a$  tal que su propio peso es igual al del agua que desaloja.
- b) Después de inundar los tanques de lastre, el dique se sumerge hasta alcanzar un calado  $i_b$  que permite la entrada del buque colocando su quilla sobre los picaderos centrales, los cuales, al igual que en los diques secos, es necesario adaptar previamente a la forma del buque. En estas condiciones el peso del dique más del agua contenida en los tanques de lastre sigue siendo igual al del agua desalojada.
- c) El dique se encuentra en fase de emersión; los tanques de lastre se hallan parcialmente vacíos y la suma de los pesos del dique, del agua existente en dichos tanques y del buque es igual al peso del agua desalojada por el conjunto dique-buque. En esta fase, la estabilidad es reducida por la existencia de superficies libres.
- d) El dique ha emergido y los tanques están completamente vacíos; ahora el calado  $i_d$  es de tal naturaleza que iguala el peso del conjunto dique-buque con el peso del agua desalojada por el pontón. La diferencia entre el desplazamiento con el calado  $i_d$  y el desplazamiento con el calado  $i_a$  es, evidentemente, igual al peso del buque. [3] [4]



*Ilustración 23:* Fases principales para poner en seco un buque por medio de un dique flotante. *Fuente:* Gran Enciclopedia Salvat “El mar” [8]

La capacidad de un dique seco flotante puede verse limitada por su flotabilidad, su estabilidad y/o la resistencia de la estructura. En general, la flotabilidad será la condición límite debido a que se diseñará suficiente estabilidad y resistencia alrededor de la flotabilidad. Sin embargo, existen excepciones a esta regla general, que implican estabilidad y fuerza.

Las dimensiones de las paredes laterales y la compartimentación del pontón proporcionan la estabilidad para un sistema dique-buque, y la estabilidad intacta debe evaluarse para todas las fases durante una operación de atraque. La estabilidad crítica ocurre después de que la quilla del barco sale del agua pero antes de que la plataforma del pontón rompa la superficie del agua. A medida que el dique seco se eleva y levanta el recipiente del agua, se eleva el centro vertical de peso (VCG) del sistema dique-barco. La inercia positiva del plano de flotación es proporcionada por las paredes laterales y el plano de flotación del buque que se está levantando. Cuando la quilla del buque rompe la superficie del agua, el centro de gravedad del sistema es muy alto, y la inercia positiva, que ahora está siendo proporcionada solo por las alas del dique flotante, es mínima. Hasta que la plataforma del pontón rompa la superficie del agua, la estabilidad es mínima. Esta es la fase crítica de la estabilidad intacta, y las dimensiones de las paredes de las alas y los tanques de lastre deben coordinarse con el recipiente de diseño del dique para asegurar las características de estabilidad positivas.



*Ilustración 24:* Imagen de estabilidad del sistema dique-buque. *Fuente:* Apuntes Teoría del Buque.

- M → Metacentro del sistema dique-buque
- G → Centro vertical de Gravedad del sistema dique-buque
- B → Centro de flotabilidad del dique flotante
- K → Quilla del dique flotante

El cambio en las características de estabilidad del dique seco debido al gran plano de flotación del pontón frente al pequeño plano de flotación de las paredes de las alas puede tener un efecto dramático en el funcionamiento del dique. Este “efecto de multiplicación” se calcula como la relación de la altura metacéntrica (GM) del sistema dique-buque antes y después de que la plataforma del pontón rompa la superficie del agua. Cualquier escora presente en la actitud del dique a medida que pasa por esta fase se verá agravada por esta relación.

Cuando un buque se sumerge es más preocupante de lo que es durante la emersión porque el efecto es la inversa de la relación. El operador del muelle puede disminuir la velocidad de inundación y operar el dique en un borde longitudinal para reducir la tasa de transición y minimizar el impacto del efecto de multiplicación de riesgo durante la operación. Las dimensiones del dique seco determinarán la relación y el impacto de este fenómeno.

En los diques flotantes se exige un análisis de estabilidad para el dique seco en estado dañado. Este requisito en el diseño de la dársena seca es que se usa una estructura con más compartimentos y paredes de ala más grandes que las que se requieren solo para consideraciones de estabilidad intactas. Las limitaciones de estabilidad de flotabilidad, estructurales pueden ser secundarias a las restricciones en la capacidad de atraque dictadas por el análisis de estabilidad de daños.

Por otro lado, en el diseño de los diques secos diseñados con la capacidad de transferir embarcaciones entre el muelle y la costa cuando se utiliza el muelle para transferir los buques a tierra, es necesario levantar embarcaciones a un francobordo más alto de lo que se necesitaría para un dique seco convencional, a fin de llevar la cubierta del pontón a la pendiente del astillero/varadero. Para lograr esto, se necesita profundidad adicional de pontones. Para una economía de diseño en la fuerza y el peso de la estructura, la capacidad estructural de este pontón muy profundo puede ser menor que la capacidad real de flotación. Por lo tanto, la estructura es la consideración limitante en la capacidad del dique seco.

La compartimentación del pontón proporciona un control más preciso del dique seco, además de mejorar la estabilidad. El deslastrado diferencial de los compartimentos de balasto del dique seco permite una reacción más igual y opuesta a la carga impuesta por el buque, reduciendo las tensiones en el dique seco y la estructura del buque durante el dique seco. También la actitud del muelle se puede ajustar por deslastrado diferencial para acomodar la escora y/o asiento de un buque.

La determinación de la distribución de la carga de los buques para el atraque se puede calcular con la manga, el máximo desplazamiento del buque, la ubicación del centro de gravedad longitudinal, y la ubicación en la longitud de la quilla que lleva en los bloques. La información más detallada, como la proporcionada por la distribución típica de un arquitecto naval, normalmente no es necesaria para atraques estándar debido a la elasticidad del sistema de bloqueo entre el buque y el dique seco, así como a la resistencia y rigidez de ellos. Las situaciones de atraque más complicadas, como las creadas por barcos dañados o en los casos en que el buque se va a cortar en dique seco, requieren un análisis más detallado.

Por otro lado, el lastre y desagüe del dique seco se logra a través de una disposición de bombas y válvulas. Las operaciones de bombeo o inundación deben completarse entre una y tres horas aproximadamente. Un dique seco flotante puede describirse como controlado por bomba o controlado por válvula. Como se aprecia en la siguiente ilustración el vaciado de

los tanques de lastre del dique flotante para sumergirlo y prepararlo para la entrada de un buque. Se observa la presión de salida del agua del desagüe con bombas. En el Astillero Repair Vessel de Texas.



*Ilustración 25: Deslastrando un dique flotante. Fuente:*

<https://www.waterwaysjournal.net/2020/12/04/vessel-repair-puts-new-drydock-into-service-port-arthur-texas/>

Un dique controlado por bomba utilizará una gran cantidad de pequeñas bombas y válvulas, ya que cada compartimento de balasto normalmente tiene su propia bomba de desagüe y válvula de inundación. La velocidad de deshidratación para cada timbal de lastre se controla iniciando y deteniendo la bomba. Se proporciona una conexión cruzada para unir los compartimentos de balasto adyacentes de manera que si una bomba falla, la bomba adyacente se puede usar para deshidratar dos tanques de lastre. La disposición controlada por bomba puede resultar beneficiosa en las zonas donde la acumulación de sedimentos en los tanques de lastre pueda ser importante. Los tanques de lastre se pueden enjuagar y deshidratar al mismo tiempo para remover el sedimento acumulado y descargarlo. Este tipo de disposición puede no ser práctico para pontones con tres o más tanques de lastre en su ancho debido a las dificultades para alcanzar los tanques interiores y la redundancia necesaria en el sistema de tuberías.

Un dique seco controlado por válvula utiliza unas pocas bombas grandes para deshidratar los

compartimientos de balasto a través de una disposición de tuberías y válvulas. La velocidad de deshidratación se controla ajustando las válvulas a cada tanque mientras la bomba funciona continuamente. Algunas entradas de inundación grandes también se utilizan para suministrar lastre a muchos tanques a través de la disposición de la tubería. Este tipo de organización es muy adecuado para diques con tres o más tanques de lastre en todo de su ancho.

### **5.3. Consideraciones de diseño**

Un dique seco generalmente está destinado a servir a un buque específico o un grupo concreto de buques que determinan los criterios de diseño. Cualquier embarcación cuyos requisitos no excedan los del buque de diseño puede recibir servicio en el dique seco.

El área de la plataforma de pontones debe proporcionar suficiente espacio de trabajo debajo y alrededor del buque para el acceso de los trabajadores del astillero y su equipo. Las áreas de la plataforma de ala y la cubierta de seguridad deben acomodar el equipo que se montará sobre o en estas áreas. El pontón debe tener la profundidad suficiente para proporcionar la capacidad de elevación requerida para la embarcación de diseño, y las paredes laterales deben ser lo suficientemente altas para lograr el calado adecuado, de modo que los buques puedan entrar y salir del dique sobre el bloqueo.

Las paredes del ala deben proporcionar la inercia y la flotabilidad requeridas para condiciones de estabilidad mínima e inmersión total. La compartimentación del pontón debe proporcionar una adecuada estabilidad y control de flotabilidad para la operación segura del dique.

La fuerza transversal del pontón debe soportar adecuadamente la carga concentrada del buque a lo largo de la línea de la quilla y distribuir la carga a lo largo de toda la manga del dique hasta la flotabilidad de abajo. También se deben considerar otras situaciones para la distribución de la carga de la embarcación en la cubierta de pontones, incluida la carga impuesta por los bloques laterales y el efecto de la carga flotante sin carga del barco desde arriba.

Longitudinalmente, se deben investigar las fuerzas de cizalladura y los momentos de flexión para garantizar que las tensiones y deflexiones resultantes se encuentren dentro de los límites

aceptables. Para un dique de una pieza, esta carga puede ser transportada por la estructura del ala y el pontón. Para diques de tipo compuesto, todas las tensiones longitudinales deben ser llevadas por las paredes continuas del ala. Los diques seccionales no pueden atarse longitudinalmente a menos que las secciones estén inmovilizadas o conectadas de otra manera. En este caso, es probable que la capacidad de las conexiones sea muy limitada, y se requiera un cuidadoso lastrado.

El revestimiento del armazón y los mamparos estancos internos deben estar diseñados para soportar las presiones más altas experimentadas durante la operación del muelle. Una determinación de la presión máxima que se encuentra durante una operación de atraque o desatraque revelará la peor carga de la placa del armazón. La presión máxima entre tanques de lastre estará en función de la sumersión prevista del dique, las dimensiones de las paredes laterales, y el calado y manga del buque que vaya a entrar en dique seco.

También se deben investigar las condiciones locales de carga, incluidas las cargas de bloques de sentina y quilla y otras cargas en la cubierta del pontón, como el tráfico de vehículos para montacargas o camiones de remolque. Los cimientos para el equipo que se montará en la cubierta lateral y la cubierta de seguridad, como cabrestantes, tornos, ventiladores, cornamusas, etc., deben estar diseñados en la estructura.

Se debe considerar la disposición del amarre y los medios de acceso tanto para el tráfico vehicular como para el peatonal. El dique seco puede estar anclado a cadenas en medio de un puerto, con acceso a través de lanchas o rampa de acceso. A menudo, para que el dique seco sea más accesible, el dique se unirá a un muelle o a los diques de alba cerca de la costa mediante un arreglo de amarre fijo. La guía de diseño se puede encontrar en las reglas de varias sociedades de clasificación, como “American Bureau of Shipping” y “Lloyd's Register of Shipping”, que han preparado reglas para la clasificación de diques secos por parte de sus organizaciones. [3] [9]

## **5.4. Características en el diseño**

Aunque no se requieren específicamente para la operación, varias características consideradas en el diseño del dique seco ofrecen ventajas prácticas. Su accesibilidad puede ser una gran ventaja para este tipo de instalaciones, en comparación con un dique seco de dársena. La cubierta de pontones está al nivel del astillero o cerca de él y, con acceso

adecuado a través de rampas de acceso para peatones y vehículos y servicio de grúa, puede servir como una extensión del astillero mismo. El movimiento rápido y eficiente de personal y materiales hacia y desde el muelle puede hacer que los esfuerzos de reparación de barcos sean más eficientes.

Los controles remotos de bombas y válvulas y los sistemas de indicación de balasto aumentan en gran medida el conocimiento de los operadores sobre el estado de la operación y reducen la mano de obra necesaria para controlar las bombas y válvulas. Una estación de control central, a menudo una caseta de control ubicada en la parte superior de la pared de un ala, contiene los indicadores de nivel de agua, los operadores de válvulas y los controles de bomba necesarios para monitorizar y operar el dique seco flotante. Los indicadores de calado se pueden mostrar y sus datos interpretarse para indicar la condición de deflexión, escora y asiento del muelle.

Los sistemas de alarma permiten controlar incendios en los espacios de la cubierta de seguridad, y los sistemas de comunicación permiten la comunicación entre la caseta de control y todas las áreas del ala y las cubiertas de seguridad.

## **5.5. Sistemas de transferencia**

Los diques secos flotantes se pueden equipar para acomodar la transferencia horizontal de los buques hacia y desde instalaciones terrestres, esto se puede hacer en una dirección longitudinal o transversal. Normalmente, el dique seco funciona en aguas profundas o atracadero, y es trasladado al área de transferencia menos profunda. La zona de transferencia puede incluir una o más posiciones de transferencia, y a menudo incluye algunos medios para soportar el dique seco a una elevación fija.

Se puede proporcionar soporte para todo el dique seco, como una rejilla submarina, o solo para el extremo del dique que se acopla al lado de tierra. El soporte de extremo puede adoptar la forma de un estante a lo largo del paseo marítimo sobre el que descansa el extremo o el costado del dique seco; se pretende alinear el muelle a la altura adecuada con las vías de transferencia del lado terrestre. El soporte solo necesita ser capaz de soportar una carga de asiento y no es necesario que soporte todo el peso del dique seco. Las capacidades diferenciales de lastrado del dique seco se utilizan para contrarrestar el peso del dique seco y la carga en movimiento. Algunos diques secos flotantes se basan únicamente en el control de

lastre para mantener la elevación adecuada, pero utilizan largas vigas de transición desde la orilla hasta el dique seco para adaptarse a los errores en la elevación del dique seco y la orilla.

La capacidad de transferencia generalmente es menor que la capacidad de elevación porque la plataforma del pontón debe elevarse hasta el nivel del astillero, reduciendo así la cantidad sustentación aplicable a la carga del buque. La transferencia final se logra fácilmente debido a los extremos abiertos del dique seco flotante; una transferencia lateral es considerablemente más engorrosa que la transferencia final, ya que la operación implica la eliminación de las cajas de ala en el lado donde se realizará la transferencia.

Varios métodos y mecanismos están disponibles para el movimiento de embarcaciones desde instalaciones costeras hacia o desde un dique seco flotante, incluyendo patines, sistemas de rodillos, sistemas de ruedas, rodamientos de aire o agua y vigas para caminar.

El deslizamiento horizontal de los buques que descansan sobre bloques de madera y cunas a lo largo de caminos engrasados es un concepto antiguo. Los métodos en uso hoy en día son similares, con la excepción del equipo utilizado para propulsar el buque. Los gatos hidráulicos, usados en conjunto con las pinzas con cuña que se sujetan a las bridas de la vía de transferencia, son capaces de moverse continuamente.

Los sistemas de rodillos pueden usar soporte similar al de las rampas de varadero. Los rodillos de recirculación y las unidades esféricas de bolas también se pueden usar como mecanismo de transferencia. Los sistemas de bastidor de rodillos son capaces de soportar una carga considerable, pero tienen la desventaja de que requieren una longitud adicional en los bastidores de rodillos teniendo en cuenta el movimiento diferencial entre el bastidor y el recipiente. Los rodillos de recirculación eliminan este problema, pero tienden a concentrar cargas para reducir el número de unidades requeridas para una transferencia. Las unidades esféricas de bolas son capaces de moverse en cualquier dirección, pero no han sido ampliamente utilizadas.

Los rodamientos de agua y aire están desarrollados recientemente en los sistemas de transferencia. Varias unidades de tipo pallets se colocan debajo de una cuna en un patrón que contrarresta el peso de la nave que se va a mover, y el flujo de aire o agua crea una presión entre los pallets y la superficie del área de transferencia, flotando la cuna con la embarcación. El movimiento es relativamente fácil de lograr debido a la baja fricción involucrada, sin embargo, esto podría ser perjudicial en vientos fuertes o en superficies con pendientes muy pequeñas. La necesidad de una superficie muy lisa es otro inconveniente de

tales sistemas.



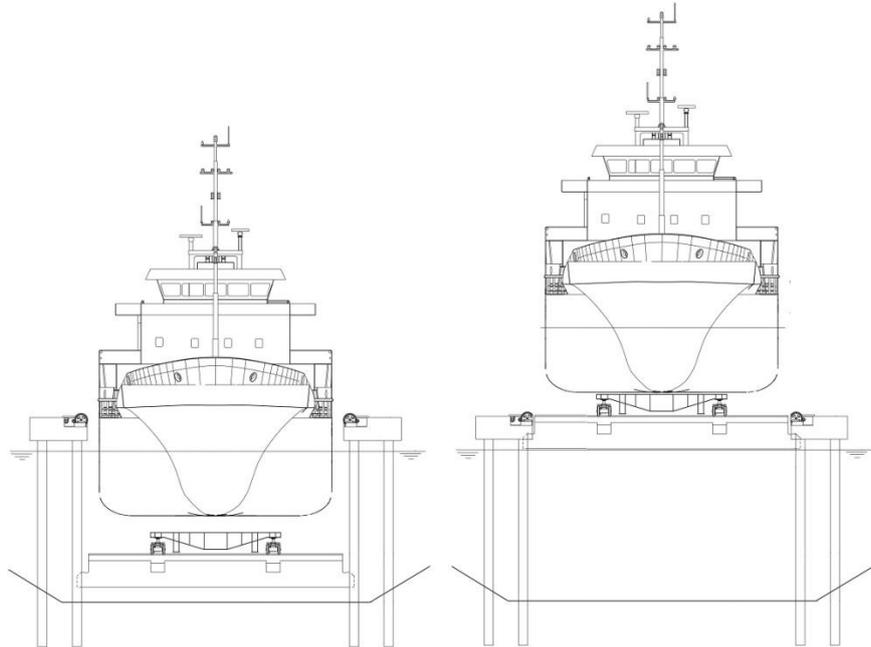
*Ilustración 26: Remolcador en construcción en el dique flotante. Fuente:*

<https://www.waterwaysjournal.net/2020/12/04/vessel-repair-puts-new-drydock-into-service-port-arthur-texas/>

El método de transferencia más utilizado es el sistema de ruedas, que consta de cunas continuas o de carros individuales, generalmente de cuatro ruedas cada uno. Las cunas continuas suelen estar equipadas con dos o más filas de ruedas con pestañas que se desplazan sobre rieles planos o de grúa. El movimiento lo proporciona una fuente externa, como cabrestantes con cable de acero o un tractor. Los automóviles individuales generalmente tienen cuatro ruedas cada uno y requieren una vía doble. A menudo, estos carros están equipados con gatos verticales y son autopropulsados eléctricamente, lo que ofrece capacidades adicionales para la construcción de embarcaciones. Por lo general, se utilizan vigas de cuna o respaldos individuales con estos automóviles para brindar flexibilidad. Aunque las cunas continuas permanecerán con una embarcación durante su permanencia en tierra, los carros individuales se pueden quitar de debajo de los respaldos fuertes y usarse en otro lugar. También deben retirarse antes de sumergir el dique seco para que no sufran daños por agua. Se pueden usar bloques de madera y/o caucho para sostener la embarcación sobre la cuna o los respaldos fuertes. [5]

## **6. ELEVADORES VERTICALES (VERTICAL LIFTS)**

Un dique seco de elevación vertical es simplemente un elevador de barcos, que consiste en una plataforma horizontal y un equipo de elevación. La plataforma que soporta el buque está fabricada con vigas de acero, transversales y longitudinales. El soporte de plataforma se transmite desde los extremos de las vigas, a través de cables, cadena o componentes hidráulicos, hasta la maquinaria de elevación, que es una serie de gatos o montacargas montados en una estructura de muelle a cada lado de la plataforma. El número y la capacidad de las unidades de elevación determinan la capacidad de elevación general del sistema, mientras que el espaciamiento de las unidades determina la capacidad por pie. El dique seco está diseñado para levantar verticalmente una carga total igual a la carga muerta de la plataforma más la carga viva superpuesta.



*Ilustración 27:* Plataforma elevadora vertical en el fondo y en posición de trabajo. *Fuente:* [https://tehnoros-ship.com/eng/products/ship\\_launchng\\_lifting\\_equipment/syncrolifts/](https://tehnoros-ship.com/eng/products/ship_launchng_lifting_equipment/syncrolifts/)

Aunque se han desarrollado varios tipos de sistemas manuales, incluidos algunos que utilizan principios de flotabilidad con una estructura estabilizadora y de soporte positiva los dos tipos más comunes de ascensores verticales son mecánicos e hidráulicos.

Los sistemas de elevación vertical son las innovaciones más recientes en los grandes sistemas de elevación de barcos, las versiones prácticas de este concepto tienen alrededor de 30 años.

## **6.1. Características del sistema de elevación vertical**

La posición horizontal de la plataforma a nivel de la tierra se adapta idealmente a los ascensores verticales para la transferencia de los buques a la costa, y la mayoría de ellos están diseñados con sistemas de transferencia extensos.

El material puede fluir naturalmente hacia un buque en un elevador de barcos debido al área despejada alrededor de la plataforma. La ausencia de paredes verticales, que están presentes en diques flotantes y diques secos, permite un fácil acceso a la nave.

La velocidad de operación para un levantamiento vertical es mayor que la de la mayoría de los otros tipos de dique seco; el tiempo promedio para el atraque en seco de un barco de esta manera es de 20 a 40 minutos. Además, el número total de personal operativo requerido para un acoplamiento típico es algo menor que para otros tipos de diques secos de igual capacidad. El centro de operaciones remoto que alberga los controles del montacargas y las lecturas de carga se encuentra en un recinto cercano, con buena visibilidad de toda la operación de acoplamiento.

Finalmente, un elevador vertical es particularmente adecuado para el alargamiento y puede ampliarse mediante la adición de secciones de plataforma junto con un número apropiado de montacargas apoyados en extensiones de los pilares existentes.

## **6.2. Sistemas mecánicos de elevación**

Normalmente, los sistemas mecánicos de elevación utilizan montacargas accionados eléctricamente con cables de varias piezas unidos a vigas estructurales a través de un sistema de poleas en ejecución. La mayoría de los ascensores utilizan cable de acero galvanizado, que debe inspeccionarse con frecuencia, ya que está sujeto a fatiga por tensiones axiales y de flexión. Además, la inmersión en agua salada conduce a la corrosión entre los filamentos que es difícil si no imposible de detectar. Por lo tanto, los cables de elevación deberían engrasarse regularmente para minimizar el desgaste y evitar la corrosión. También se recomienda que se establezca un cronograma para pruebas y / o reemplazo de cables. Algunos sistemas utilizan una cuerda galvanizada con un núcleo revestido de plástico. El plástico, que tiene una alta resistencia a la compresión, forma un revestimiento resistente al agua y mejora la vida útil del cable.

El movimiento de los montacargas individuales debe sincronizarse lo más posible para garantizar que todos los puntos de elevación de la plataforma cubran la misma distancia en el mismo período de tiempo. La sincronización se logra mediante el uso de motores de inducción de CA (Corriente Alterna) que operan a una velocidad constante

independientemente de la carga.

Dos de los sistemas de transporte naval de tipo mecánico más populares son el Schiess Defries Lift-Dock y el sistema Syncrolift. El sistema Syncrolift fue patentado en 1958 y ha sido perfeccionado para elevadores de 30 toneladas hasta casi 30,000 toneladas. Los ascensores verticales más grandes construidos hasta la fecha son sistemas Syncrolift.

El Syncrolift más grande de América, en términos del tamaño general de la plataforma, es el sistema de transporte naval en Todd Pacific Shipyards, Los Ángeles. Como se observa en la ilustración 28. Tiene una capacidad de elevación bruta de 26.400 toneladas largas. La capacidad de carga dinámica para atracar directamente en la plataforma, es decir, sin cunas de transferencia, es de 22.200 toneladas largas. La carga máxima permisible por pie para atracar en las cunas es de 33 toneladas largas por pie. La estructura mide 655 pies por 106 pies y tiene una velocidad de elevación de 9 pulgadas por minuto. El recorrido vertical disponible es de 54 pies, y el calado máximo sobre la cuna es de 32 pies. Éste astillero es un ejemplo ideal de la idoneidad de un ascensor vertical para transportar buques a tierra. El sistema está diseñado para la transferencia final desde la plataforma a una mesa de transferencia que permite el traslado lateral a varias zonas de trabajo. Este esquema permite la utilización óptima de la tierra disponible y proporciona un medio para dar servicio a varias naves a la vez. []



*Ilustración 28: Syncrolift del Todd Pacific Shipyard en 1979.*

Fuente: <https://shiplift.com/our-history/>

### **6.3. Sistemas de elevación hidráulica**

Los sistemas hidráulicos no son tan populares como los sistemas mecánicos. Se han propuesto y construido varios tipos de sistemas de elevadores hidráulicos, algunos utilizan gatos de empuje largo y otros utilizan gatos de empuje corto, siendo estos últimos más comunes. Un sistema de elevador de empuje largo está diseñado para levantar la plataforma en un solo golpe, mientras que el sistema de ascensor de empuje corto se basa en varios golpes repetitivos. En general, los ascensores que utilizan gatos automáticos de empuje corto son más simples, más confiables y menos costosos que los de empuje largo. Esta sección se enfoca en sistemas de empuje corto.

Dos tipos de sistemas de elevación hidráulica que usan gatos de empuje cortos son, por ejemplo, el sistema de elevación Kramo, producido por Kramo Limited de Inglaterra, y el sistema de elevación Hy-chain, producido por la empresa conjunta de AG Weser Seebeckwerft, F.A.G. Kugelfischer, y Georg Schafer Company.

En el sistema Kramo, la carga se suspende de las unidades de elevación por medio de barras de acero cuadradas de seis u ocho pulgadas. Las unidades de elevación están montadas en un muelle a nivel del varadero, y el extremo inferior de la barra está unido a la plataforma. El funcionamiento de las unidades de elevación eleva la barra de acero, levantando así la plataforma. El extremo superior, o extremo libre, de la barra de acero debe guiarse o retirarse a medida que se proyecta hacia arriba desde la unidad de elevación durante la operación de elevación.

Cada unidad de elevación está equipada con un juego de cilindros de compensación. En funcionamiento, la carga suspendida se transfiere de la barra de carga a la unidad de gato a través de los cilindros de compensación y a la viga de soporte del gato unida al muelle. Un cojinete esférico incorporado en la viga de soporte principal que alberga la unidad de elevación asegura que solo las cargas axiales pasen a la unidad de elevación y también proporciona suficiente articulación para permitir que la plataforma adopte un ángulo de

compensación modesto.

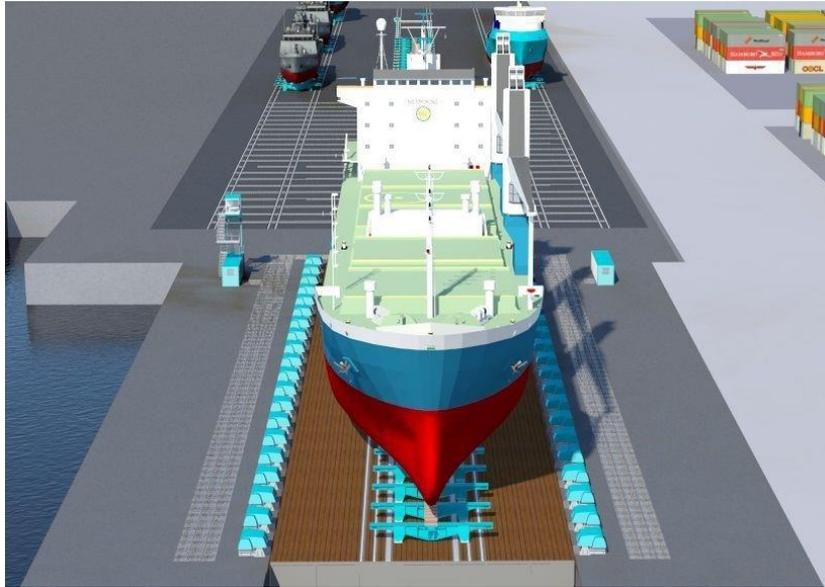
Las bombas hidráulicas estándar permiten una velocidad de escalada de entre 7 y 12 pulgadas por minuto. Todas las unidades de elevación se operan desde un panel de control central con un solo botón. En cualquier punto durante el levantamiento o descenso de la plataforma, la operación puede detenerse y cualquier unidad de elevación individual puede ajustarse por medio de su propio control individual.

Una unidad de elevación típica, que está fabricada en tamaños estándar desde 100 hasta 400 toneladas, se compone de dos bloques de cabeza de acero con pistones hidráulicos de doble acción entre ellos. Cada bloque de cabeza contiene un par de cuñas de acero cuyas caras tienen dientes ranurados. Cuando se aplica una carga vertical, la acción de cuña fuerza los dientes ranurados contra las caras laterales opuestas de la barra de elevación cuadrada, lo que hace que los dientes muerdan la barra y de este modo proporcionen una sujeción prácticamente segura.

El sistema de elevación Hy-Chain es similar al sistema Kramo porque se recarga en una unidad hidráulica de bloqueo y elevación, pero en lugar de barras de carga cuadradas de acero utiliza una cadena especialmente diseñada hecha de barras de unión rectangulares pesadas unidas con varillas de acero.

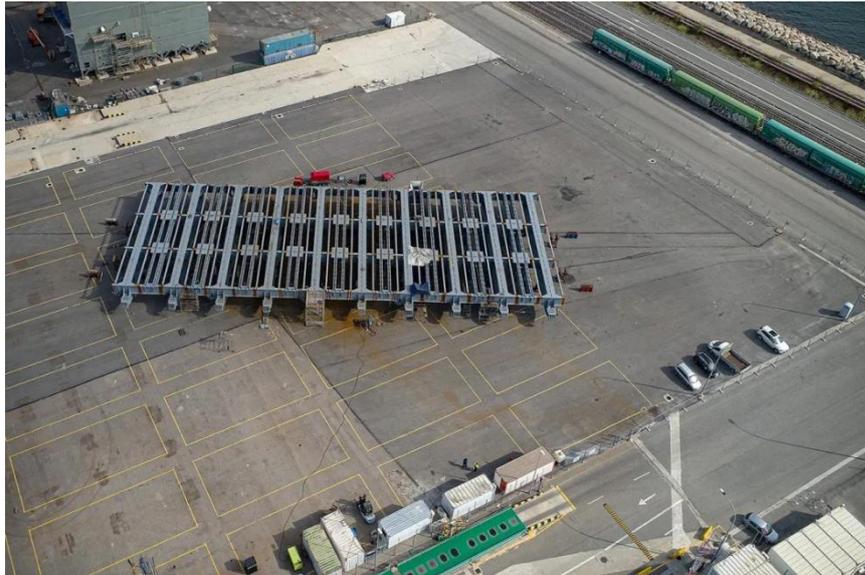
## **6.4. Diseño y construcción de elevadores verticales**

Los requisitos de espacio frente al mar para un ascensor vertical son similares a los de un dique seco flotante. El espacio real requerido es el área de la plataforma más algún espacio adicional en cada lado de la plataforma de soporte del mecanismo de elevación. El elevador se puede instalar perpendicular o paralelo a la costa, ya sea total o parcialmente fuera de la línea de flotación baja o completamente por encima de la línea de flotación alta. Aunque un ascensor vertical no requiere espacio en el agua como lo hace la estructura de vías de rampas de varadero, no es muy adecuado para sitios con pendientes largas donde el astillero está a gran altura. El elevador vertical ha demostrado ser económico para los muelles existentes en aguas profundas donde el dragado es mínimo. Como se observa en la siguiente ilustración, un diseño gráfico del sistema de transferencia de buques a tierra con el elevador sincrolift.



*Ilustración 29: Diseño gráfico del sistema de transferencia. Fuente: <https://trends.nauticexpo.es/project-323624.html>*

La fuerza de elevación requerida está determinada por la intensidad de la carga del buque. Debido a las concentraciones de carga a lo largo de un buque, ciertos gatos o montacargas transportan más carga que otros. Por lo tanto, para un sistema de elevación vertical, la capacidad de elevación requerida no está determinada por el peso total del buque, sino por la concentración de carga máxima aplicada a lo largo de toda la plataforma. La capacidad neta podría ser tanto como el doble del desplazamiento total del barco. La mayoría de los ascensores actuales están equipados con celdas de carga en los puntos de elevación que muestran el peso total y la distribución de la carga en la plataforma. En el sistema de levantamiento de buques Syncrolift, las celdas de carga excluyen automáticamente la posibilidad de sobrecargas del montacargas.



*Ilustración 30: Construcción del sincrolift en Tarragona. Fuente:*

<https://www.diarioelcanal.com/el-montaje-del-syncrolift-para-ser-embarcado-en-tarragona-avanza-a-gran-ritmo/>

Para aquellos sistemas diseñados para la transferencia, el movimiento de la nave hacia y desde la plataforma puede ser transversal o longitudinal, con la dirección determinando el tipo y la construcción de la plataforma. En general, el peso de una plataforma diseñada para la transferencia longitudinal es aproximadamente un tercio mayor que el de una diseñada para la transferencia lateral debido a que se requieren vigas longitudinales más pesadas para el soporte de los rieles de transferencia en el primer caso.

Hay dos tipos básicos de plataforma rígida y articulada. En una plataforma rígida, las vigas longitudinales son continuas y se extienden sobre las vigas transversales. En una plataforma articulada, las vigas longitudinales se enmarcan intercostales con las vigas transversales. Las vigas longitudinales son en este caso más ligeras y están enmarcadas para actuar como elementos estáticamente flexibles entre las vigas transversales principales. En términos relativos, cualquier tipo de plataforma es flexible en comparación con la estructura muy rígida del casco de un buque; pero, en general, la plataforma de tipo rígido asegura una distribución lineal de la carga sobre la plataforma debido a su capacidad para redistribuir la carga a las vigas adyacentes. Cualquier tipo de plataforma se puede diseñar para operar como dos o más secciones separadas para atraques independientes de pequeñas embarcaciones. Además, una sección se puede desplazar verticalmente de otra para dejar libre una

proyección del casco, como una hélice o un cabezal de sonda.

Los cables de izado de cable deben dimensionarse para una carga de diseño o carga de trabajo igual a la carga nominal, es decir, carga muerta más carga viva, por un factor de impacto de al menos 50%. El factor de seguridad, que es la relación entre la carga de rotura del cable dividido por la carga de trabajo, debe ser del orden de 6.0 a 8.0.



*Ilustración 31: Nuevo elevador de barcos en el puerto de Barcelona. Fuente: <https://elmercantil.com/2019/08/30/el-puerto-de-barcelona-estrena-un-nuevo-elevador-de-barcos-de-4-800-toneladas/>*

Las unidades de elevación para sistemas de cable de acero consisten en pequeños motores síncronos de CA, engranajes reductores, un tambor de cable de acero y un freno. El freno está diseñado para detener la unidad automáticamente en caso de corte de energía. El tamaño del motor y el engranaje de reducción generalmente se seleccionan para permitir una velocidad de elevación de 6 a 12 pulgadas por minuto.

Las unidades de elevación generalmente se montan sobre pilotes de madera o pilares de hormigón a cada lado de la plataforma elevadora de barcos. Además de soportar las unidades de elevación, los pilares están diseñados para grúas sobre neumáticos o provistos de raíles para grúas viajeras. La elevación a la que se montan los montacargas eléctricos debe seleccionarse cuidadosamente. Deben estar muy por encima de los niveles de agua

extremadamente altos (es decir, las mareas de tormenta) para evitar daños eléctricos por inundaciones. [16]

## 7. EJEMPLOS DE LOS DIVERSOS TIPOS DE DIQUES QUE SE ENCUENTRAN EN LA PENÍNSULA Y EN CANARIAS

Estudiando los diferentes tipos de diques que podemos encontrar en España, observamos las diversas infraestructuras que existían hace unos años hasta la actualidad. Los datos extraídos de la Enciclopedia citada en la bibliografía [2] se recaban en la siguiente tabla:

Localización	Tipo	Eslora	Manga	F.Ascen.	Astillero
Cádiz	seco	58.00	19.00		Bazán (San Fernando)
Cádiz	seco	73.00	26.00		Bazán (San Fernando)
Gijón	seco	155.00	17.00		Juliana Constructora Gijonesa
Cádiz	seco	130.00	25.00		Bazán (San Fernando)
Santander	seco	132.00	17.60		Astilleros del Atlántico
Ferrol	seco	133.00	26.80		Bazán (Ferrol)
Sestao	seco	146.00	21.18		AESA (Factoría de Sestao)
Cádiz	seco	147.00	30.50		Bazán (San Fernando)
Sevilla	seco	148.00	22.50		AESA (Factoría de Sevilla)
Sestao	seco	155.00	20.00		AESA (Factoría de Sestao)
Ferrol	seco	160.00	26.00		Astano
Santander	seco	160.00	23.80		Astilleros de Santander
Gijón	seco	170.00	25.00		Juliana Constructora Gijonesa
Ferrol	seco	205.00	31.00		Bazán (Ferrol)
Barcelona	seco	215.00	35.00		Talleres Nuevo Vulcano-U.N.L.
Cartagena	seco	216.00	30.10		Bazán (Cartagena)
Santander	seco	231.00	32.00		Astilleros de Santander
Cádiz	seco	237.00	34.50		AESA (Factoría de Cádiz)
Ferrol	seco	260.00	36.00		ASTANO
Cádiz	seco	265.00	40.00		AESA (Factoría de Cádiz)
Ferrol	seco	330.00	53.00		Bazán (Ferrol)

Palma de Mallorca	seco	40.00	10.00	450	Astilleros de Mallorca, S.A.
Pasajes S. Juan	Flotante	70.00	18.00	1900	Astilleros Luzuriaga S.A.
Barcelona	Flotante	36.00	19.50	2000	Talleres Nuevo Vulcano-U.N.L.
Barcelona	Flotante	72.00	19.50	4000	Talleres Nuevo Vulcano-U.N.L.
Pasajes S. Juan	Flotante	110.00	18.00	4000	Astilleros Luzuriaga S.A.
Barcelona	Flotante	108.00	19.50	6000	Talleres Nuevo Vulcano-U.N.L.
Cartagena	Flotante	97.53	32.00	6500	Bazán (Cartagena)
Valencia	Flotante	155.00	24.60	8000	Unión Naval de Levante, S.A.
Cartagena	syncrolift	130.00	25.00	8600	Bazán (Cartagena)
Las Palmas	syncrolift	180.00	30.00	10000	Astilleros Canarios
Cádiz	Flotante	265.00	40.00	AESA (Factoría de Cádiz)	

Tabla 1: Tipos de diques y sus dimensiones en España. Fuente: Enciclopedia Marítima.1989. Instituto Marítimo Español (IME). Luis Calvo Anguís. [2]

Uno de los astilleros más conocidos en Canarias es el de Astican, en el puerto de La Luz, Las Palmas de Gran Canaria. Este astillero cuenta con grandes infraestructuras, además con el sistema de elevación vertical más utilizado, el Syncrolift. Como se muestra en la siguiente ilustración.



Ilustración 32: Astillero Astican, puerto de Las Palmas.

*Fuente:* <https://www.astican.es/es/instalaciones/>

1. Syncrolift
2. Atraque y calles de varada
3. Capacidad de atraque
4. Oficinas y comedor
5. Talleres

El Syncrolift tiene 175 metros de largo, 30 metros de ancho, 10.000 toneladas de capacidad de elevación para buques de hasta 36.000 TPM. El sistema de varadero es una plataforma Syncrolift versátil con una manga de 30 m. Este sistema permite varar los buques en muy poco tiempo.

Dispone de atraque y calles de varada, hay siete calles de varada (2×220 m., 2×180 m. y 3×120 m. de largo) con amplios espacios que rodean el buque para permitir que el trabajo se realice fácilmente y no sufra interferencias con otros buques. Para ello, disponen de grúas móviles con capacidades de hasta 600 MT para dar servicio a los buques en seco.

Además, dispone de muelles propios de 700 metros de largo con calados de entre 8 y 12 metros y dos grúas de pórtico giratorias de hasta 45 MT y 60 metros de altura para el mantenimiento de los buques atracados. [14]

## 8. ACCIDENTES Y NOTICIAS AL RESPECTO

### **Accidentes en diques secos:**

Recabando información, no es frecuente encontrar multitud de accidentes producidos en los diques, aunque los hay de gravedad, hoy en día se cuenta con multitud de normativa y planes de prevención, de actuación, de emergencias... que reducen en su mayoría los accidentes que puedan ocurrir, sobre todo los de índole personal, o medioambiental que suelen ser los de mayor magnitud o impacto dentro del puerto.

Como diría Manuel Moreno (Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras):

“Los puertos deben garantizar la prestación de estos servicios y la realización de las operaciones en las mejores condiciones de eficiencia, seguridad y protección del medio ambiente”(M. Moreno, 2009). [17]

Sin embargo, cabe mencionar uno de los accidentes más recientes ocurrido en dique seco en la actualidad, por un lado, por su importancia dada la implicación de varias personas heridas y por otro, por lo reciente del suceso.

Se ha producido en el muelle de Leith, Puerto de Edimburgo, en Escocia. Concretamente, el pasado 22 de marzo de 2023. Como se muestra en la siguiente ilustración, la embarcación se salió del punto de anclaje quedando volteada por un costado y produciendo unos 25 heridos. Las primeras investigaciones apuntan a que el accidente fue debido a los fuertes vientos.



*Ilustración 33: Accidente del buque Petrel en dique seco.*

Fuente: <https://www.huffingtonpost.es/global/25-heridos-volcar-barco-dique-seco-puerto-edimburgo-escocia.html>

Al parecer, la embarcación afectada, un buque destinado a labores de investigación de nombre "Petrel", de 3.000 toneladas y 76 metros, volcó unos 45 grados sin llegar a darse la vuelta completa al desengancharse de los amarres en un dique seco.

El buque lo compró el Comando de Ingeniería de la US Navy hace solo unos meses, en octubre de 2022, pero es conocido por su anterior dueño, el cofundador de Microsoft Paul Allen quien se dedicó entre 2016 y 2020 al rastreo y localización a grandes profundidades de multitud de pecios históricos, la mayor parte de ellos de la Segunda Guerra Mundial en el Pacífico.

Para más información sobre esta noticia consultar página web del periódico 20minutos, en el siguiente link: <https://www.20minutos.es/noticia/5112061/0/al-menos-25-heridos-tras-la-espectacular-volcadura-de-un-buque-en-el-dique-seco-de-un-astillero-en-edimburgo/>

Otro hecho encontrado ha sido el 21 de noviembre de 2022, en el dique seco de Navantia Ferrol (Galicia). Un trabajador procedía a cambiar de punto de fijación su acnés y tropezó con unas mangueras lo que le produjo una caída desde una altura de 12 metros, al parecer permanecía consciente mientras lo trasladaron en ambulancia al hospital.

El buque que estaba siendo reparado en el astillero de Navantia Ferrol era precisamente de la Armada Española, como se muestra en la siguiente ilustración.



*Ilustración 34: Buque de la Armada en Dique seco de Navantia Ferrol durante reparación.*

*Fuente:* <https://www.galiciapress.es/articulo/ferrol/2022-11-21/4080589-herido-operario-auxiliar-navantia-ferrol-precipitarse-desde-12-metros-interior-dique-seco>

Un accidente más antiguo, ocurrido en España, el 28 de octubre de 2009, fue el buque MSC Shenzhen, en el astillero Cernal del puerto de la Bahía de Algeciras. Sufrió un accidente durante la maniobra de entrada al dique seco. El buque se había apoyado sobre la defensa situada a la entrada del dique lo que produjo una brecha en el costado, a la altura del tanque de almacén de combustible nº 3, por la cual salía un chorro de fueloil que se vertía al mar.



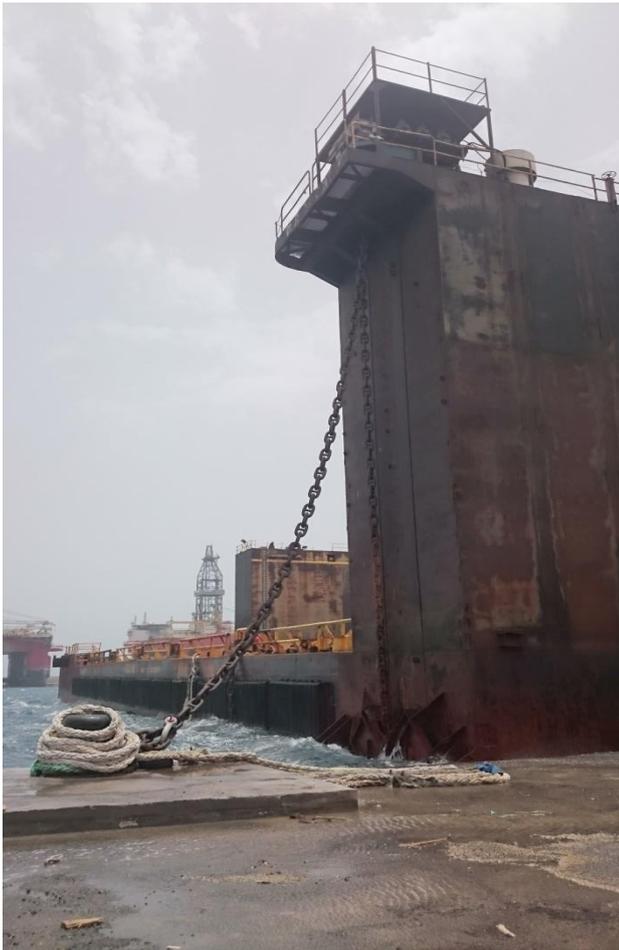
Ilustración 35: Brecha en el costado de babor.

Fuente: [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/it\\_2011s15\\_msc\\_shenzhen\\_web.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/it_2011s15_msc_shenzhen_web.pdf)

La situación fue muy complicada, por lo tanto se hizo un informe técnico como investigación del accidente, donde se recaban todos los hechos. En el pdf del link anterior podemos leer todo el informe técnico.

Por último, destacar el accidente que tuvo lugar en el Atlántico, mientras navegaba el remolcador que traía consigo el dique flotante hacia Tenerife, de la empresa Palumbo. Se partió a la mitad cuyos restos han ido emergiendo en las cercanías del Triángulo de las Bermudas. Todo parece ser a causa de problemas meteorológicos.

La sección que llegó está en el puerto de Granadilla, Tenerife. A la espera de que autoricen su uso y poder explotar sus labores con el astillero de Tenerife Shipyard. En la siguiente ilustración se puede observar el mal estado que se encontraba el dique flotante al llegar a la isla. [18] [19]



*Ilustración 36: Dique flotante en Puerto de Granadilla. Fuente: Elaboración propia*



## CONCLUSIONES

1.- La construcción naval junto con la reparación de barcos ha estado y están incrementando gracias al auge que tienen el transporte y el tráfico marítimo. Por ello, se deben emplear grandes instalaciones con la mejor selección del tipo de dique donde llevar a cabo todo el trabajo de los astilleros.

Al analizar cada tipo de dique podemos observar que las infraestructuras de los diques secos requieren elevados gastos iniciales, pero comportan después unos costos de servicio y mantenimiento menores que los de un dique flotante de similares dimensiones.

Además, en comparación entre los secos y flotantes, cualquiera debe cumplir unas condiciones esenciales como son: tener fácil acceso a todas las partes de la obra viva del buque en el dique y, fácil ventilación del casco para que seque rápidamente. La primera depende del proyecto de diseño en la instalación. La segunda condición se cumple mejor en los diques flotantes, ya que al dejar el buque elevado se ventila mejor el casco, sin embargo en los diques secos siempre hay filtraciones y condensaciones de humedad.

2.- En lo que se refiere a dimensiones, en las rampas de varaderos y diques flotantes no existe mayor dificultad. No obstante, tienen cierta limitación con la capacidad de carga dependiendo del peso de los buques por la fuerza ascensional disponible. Lo que es una ventaja para los diques secos que no tienen límite de carga aunque sí de dimensiones con buques de gran eslora.

3.- El dique seco es uno de los sistemas más económicos en el sentido financiero y en infraestructura, pero existe la limitación de calado ya que normalmente se construyen para el calado mínimo de los buques. Quedando así en ventaja los diques flotantes que se sumergen y se adaptan al calado del barco habiendo la suficiente profundidad. Si en caso de que un buque necesitara reparación con urgencia estando sobrecargado, puede que no pueda entrar en dique seco por restricción de calado. En el flotante, en casos de emergencia, es posible levantar el barco con mayor peso que su fuerza ascensional, sin dejarlo totalmente en seco, pero lo suficiente para una reparación determinada.

4.- El mantenimiento en los diques flotantes y los elevadores verticales, es mucho más costoso que en los diques secos. Los materiales utilizados en su construcción tienen una duración muy inferior, los metales se desgastan a causa de su corrosión química y biológica que afectan al interior y exterior de las estructuras. Por consiguiente, los diques secos de

hormigón o cemento armado han dado buenos resultados por la elevada resistencia a la corrosión química y biológica, en virtud de su elevada duración y mínima necesidad de mantenimiento.

5.- Entre los sistemas más modernos y que utilizan tecnología más avanzada podemos encontrar el elevador vertical sincrolift. Éste necesita de personal cualificado para las maniobras de inmersión y emersión, como en los diques flotantes. Lo que conlleva un gasto económico mayor del astillero a la hora de operación.

6.- Para finalizar, todas estas infraestructuras y sus diseños se deben seleccionar y analizar concretamente para cada puerto y tipos de buques que navegan en su cercanía. Para acertar en su obra e instalación, con su demanda y dar el mejor rendimiento en su operativa, que es la construcción y reparación naval.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Enciclopedia General del Mar. (1968) Tercer Volumen *Cor-Esn*. Ediciones Garriga, S.A. José M<sup>a</sup> Martínez – Hidalgo y Terán.
  
- [2] Enciclopedia Marítima.(1989) Instituto Marítimo Español (IME). Luis Calvo Anguís.
  
- [3] Gaythwaite, John W. (2004) “Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring and Repair of Vessels”. American Society of Civil Engineers Press, Reston, VA.
  
- [4] Gran Enciclopedia Salvat “*El mar*”. Tomo 5 *del-fos*. (1975) Salvat S. A. de Ediciones, Pamplona. Instituto Geográfico de Agostini, Navara.
  
- [5] E.T.C. Sistema digital de control automático de maniobras en dique. (2019) Navantia S.A.
  
- [6] Sasono, E. J., Pramono, S., & Wandono, A. T. (2018, March). Dry dock gate stability modelling. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 983, No. 1, p. 012036). IOP Publishing.
  
- [7] <https://pilebuck.com/marine/guide-marine-railways-patent-slips/>
  
- [8] [https://www.nps.gov/parkhistory/online\\_books/bost/marine\\_railway.pdf](https://www.nps.gov/parkhistory/online_books/bost/marine_railway.pdf)
  
- [9] <https://www.crandalldrydock.com>

- [10] <https://www.astillerospi.com/infraestructura>
- [11] [https://www.nps.gov/parkhistory/online\\_books/bost/marine\\_railway.pdf](https://www.nps.gov/parkhistory/online_books/bost/marine_railway.pdf)
- [12] <https://nvl.de/es/astilleros-y-diques>
- [13] [https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/special\\_service/11\\_steel\\_floating\\_drydocks\\_2022/dry-dock-rules-jan22.pdf](https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/special_service/11_steel_floating_drydocks_2022/dry-dock-rules-jan22.pdf)
- [14] <https://www.astican.es/es/instalaciones/>
- [15] <https://vadebarcos.net/2013/10/14/diques-flotantes-el-zhonghai-emeishan/>
- [16] <https://nekkar.com/assets/pdfs/Syncrolift-Shiplifting.pdf>
- [17] [https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/143/008\\_gestion6\\_moreno.pdf](https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/143/008_gestion6_moreno.pdf)
- [18] <https://www.puentedemando.com/llega-una-seccion-del-dique-flotante-de-palumbo-tenerife/>
- [19] [https://www.abc.es/espana/canarias/abci-emerge-triangulo-bermudas-trozo-dique-seco-puerto-tenerife-201805170357\\_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.abc.es/espana/canarias/abci-emerge-triangulo-bermudas-trozo-dique-seco-puerto-tenerife-201805170357_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F)

## PÁGINAS WEB DE INTERÉS

- <https://www.astican.es/es/>
- <https://cruiseradio.net/carnival-vista-enters-the-worlds-largest-floating-dry-dock-video/>
- <https://cernaval.com/>
- <https://www.trusteddocks.com/record/top-floating-dock-in-length>
- [https://www.abc.es/espana/canarias/abci-buque-traeria-tenerife-dique-eeuu-esta-colombia-y-pone-rumbo-venezuela-201711300303\\_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.es%2F](https://www.abc.es/espana/canarias/abci-buque-traeria-tenerife-dique-eeuu-esta-colombia-y-pone-rumbo-venezuela-201711300303_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.es%2F)
- <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3127192/cuba-compra-china-dique-flotante-capacidad-buques-panamax>
- <https://www.puertosdetenerife.org/puesta-a-disposicion-de-tenerife-shipyards-de-su-concesion-para-el-dique-flotante/>
- <http://www.diarioinformacion.com/alicante/2017/05/17/puerto-alicante-incorpora-dique-flotante/1895366.html>
- [https://www.lavozdigital.es/cadiz/provincia/lvdi-dique-flotante-vuelve-tajo-201707041434\\_noticia.html](https://www.lavozdigital.es/cadiz/provincia/lvdi-dique-flotante-vuelve-tajo-201707041434_noticia.html)
- <https://www.lavanguardia.com/economia/20160728/403334945304/acciona-kugira-como-ampliar-muelle-cajones-flotantes.html>

- <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/7753054/08/16/El-dique-flotante-mas-grande-de-la-UE-llega-a-Lanzarote-para-ampliar-el-puerto.html>
- [https://www.lavozdigital.es/cadiz/provincia/lvdi-fortaleza-astillero-flotante-201707160914\\_noticia.html](https://www.lavozdigital.es/cadiz/provincia/lvdi-fortaleza-astillero-flotante-201707160914_noticia.html)
- <https://www.europapress.es/andalucia/puertos-del-estado-01056/noticia-dique-flotante-andalucia-sale-puerto-malaga-inspeccion-seco-20220829150151.html>
- <https://www.damen.com/vessels/shipyards-and-docks/docking-systems>
- <https://www.europapress.es/nacional/noticia-canarias-convertira-rival-cadiz-lisboa-construir-dique-seco-acoger-cruceros-20190629113008.html>
- <https://www.diariosur.es/20091114/campo-gibraltar/ceina-val-ofrece-claves-accidente-20091114.html>
- <https://www.suiscagroup.com/es/noticias/diques-flotantes-para-buques/>
- <https://www.puentedemando.com/el-dique-flotante-de-palumbo-sera-desguazado-en-granadilla/>