

# Diseño conceptual de muelle marginal con sistema automatizado de ventosas para el atraque y desatraque de embarcaciones

## Conceptual design of marginal wharf with automated suction cup system for docking and undocking of vessels

Ruby Vallarino <sup>1</sup>, George Mejía <sup>1</sup>, Francisco Grajales <sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Licenciatura en Ingeniería Marítima Portuaria – Campus Dr. Víctor Levi Sasso – Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup> Departamento de Geociencias Aplicadas y Transporte – Campus Dr. Víctor Levi Sasso – Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** A lo largo del tiempo, las terminales portuarias han modernizado sus equipos para funciones logísticas, logrando optimizar sus operaciones. Sin embargo, los sistemas de amarre para embarcaciones siguen sin experimentar grandes cambios. Estos sistemas convencionales representan un gran riesgo para la integridad del personal que realiza estos procedimientos, ya que, a pesar de utilizar una técnica tradicional, la ejecución es insegura y muy prolongada, debido a las maniobras buque-muelle que se deben efectuar para una operación eficiente. Recientemente se han desarrollado sistemas de amarre automatizados para simplificar el tiempo de ejecución de este proceso. No obstante, se han encontrado limitaciones en su uso, por lo que se plantea el diseño de un equipo que no presente semejantes restricciones. El concepto presentado de sistema automatizado de ventosas para un muelle tipo marginal permitiría una mayor libertad de movimiento, mejorando así la eficacia de este procedimiento, reduciendo el tiempo de una embarcación en muelle y el riesgo de pérdida de vidas humanas.

**Palabras clave** Atraque, automatización, eficiencia, puertos, seguridad, tecnología, velocidad.

**Abstract** Over time, port terminals have modernized their equipment for logistics functions, optimizing their operations. However, mooring systems for ships still do not undergo major changes. These conventional systems represent a great risk to the integrity of the personnel performing these procedures, since, despite using a traditional technique, the execution is insecure and very long, due to the ship-dock maneuvers that must be performed for an efficient operation. Automated mooring systems have recently been developed to simplify the execution time of this process. However, limitations have been found in its use, which is why the design of an equipment that does not present such restrictions is proposed. The presented concept of an automated suction cup system for a marginal type dock would allow greater freedom of movement, thus improving the efficiency of this procedure, reducing the time spent by a boat on the dock and reducing the risk of loss of human life.

**Keywords** Docking, automation, efficiency, ports, security, technology, speed.

\* Corresponding author: francisco.grajales@utp.ac.pa

### 1. Introducción

A través de los años, la tecnología en torno a los puertos y buques ha ido evolucionando. Sin embargo, el sistema de amarre utilizado en el proceso de atraque y desatraque sigue siendo el tradicional a base de norays y cables para amarre. La continuidad de este método ha traído consigo un sinnúmero de accidentes ocurridos durante las operaciones.

La mayoría de los accidentes relacionados con los equipos de amarre, ocurridos en los últimos veinte años, han finalizado con pérdidas de gran valor, tanto materiales como humanas. Muchos de los accidentes han ocurrido durante el manejo de cabos y cables, donde a veces los cabos se han roto (53%) o se

han salido de las bitas (42%), provocando golpes, atrapamientos y sacudidas. Sólo un 5% de los accidentes se ha producido por fallos de los equipos de amarre [1].

Con esto como base a una problemática que puede suscitarse en cualquier momento por un error humano, se hace necesaria la automatización de los procesos de amarre de un buque, por medio de sistemas que agilicen el proceso de forma eficaz y segura.

El sistema propuesto consiste en ventosas, las cuales crean un vacío y se adhieren a la superficie metálica del buque, restringiendo así el movimiento de este, logrando una mayor facilidad en los procesos de carga y descarga de mercancías.

Cada ventosa deberá tener una capacidad de 20 toneladas, aunque, según el tamaño del buque, se pudieran crear unidades de 40 y 80 toneladas uniendo diferentes ventosas [2].

Este sistema por ventosas, además de estar posicionado a lo largo del muelle ya sea marginal o espigonal, estará ubicado paralelamente al muelle sobre un duque de alba, el cual proporcionará un mejor posicionamiento del buque. De esta forma, a diferencia del sistema del muelle, éste contará con un brazo hidráulico para mayores movimientos en los ejes vertical como horizontal, teniendo en este último un movimiento libre de hasta 30 grados.

La automatización por medio de ventosas genera un amarre del buque más eficiente y con mejor respuesta ante cualquier emergencia, ahorrando tiempo y proporcionando lo principal que es la seguridad.

## 2. Antecedentes

Desde su aparición hasta la actualidad, los sistemas de amarre para el atraque de embarcaciones no han evolucionado mucho, ya que en el inicio las embarcaciones eran ligeras y de tamaño pequeño, las cuales para ser atracadas utilizaban rocas de gran tamaño las cuales actuaban como norays primitivos [3].

Los norays han sido el sistema de amarre tradicional desde la edad media hasta hace unos pocos años. Desde 1999 se han estado desarrollando sistemas de amarre automatizados, los primeros utilizados para el trasiego de combustible o traspaso de mercancías de forma barco a barco, hasta irse adaptando para implementarse a los muelles de los puertos.

El sistema automatizado de amarre por ventosas anteriormente tenía restringido gran parte de su movimiento, sin embargo, en la actualidad ha sufrido modificaciones que permite un mayor aprovechamiento de su función [4].

El modelo, de cara al muelle, tiene la gran ventaja del almacenamiento compacto (retráctil) cuando no esté en uso. Esto permite al sistema permanecer detrás de la línea de defensa para resguardarse del impacto durante el atraque [5].

A medida que el comercio marítimo se incrementa, los sistemas deben adaptarse a la gran demanda de buques en cuanto a tamaño y tonelaje.

## 3. Marco teórico

El sistema automatizado propuesto depende de una serie de factores, tanto a lo largo del muelle como es el caso de las defensas, así también como es el caso de los duques de alba que sostienen el sistema de amarre adicional, ambos trabajando en conjunto con una buena condición estructural y mecánica, deben proveer un proceso eficaz al momento del amarre del buque.

### 3.1 Sistema por vacío

Consiste en unas ventosas que crean vacío para adherirse a planchas metálicas. Estas ventosas pueden estar instaladas en el buque o en el puerto. Cada ventosa tiene una capacidad de 20 toneladas, aunque según el tamaño del buque se pueden crear unidades de 40 y 80 toneladas uniendo diferentes ventosas.

Este sistema de amarre necesita como mínimo dos unidades, una a popa y otra a proa, pero no necesariamente en los extremos del buque, sino que es suficiente con que se encuentren al 25-30% de la eslora hacia proa y hacia popa de la cuaderna maestra [2].

Algunas de las características que provee este sistema:

- Capacidad de movimiento en los ejes vertical-horizontal teniendo este último un grado de rotación de hasta 30 grados respecto a su eje.
- El sistema es retráctil, útil para la reducción de espacio.
- Proporciona amortiguamiento al movimiento del buque.
- Posiciona el buque para lograr una mejor estiba.
- Monitoreo del proceso en tiempo real, sin la necesidad de intervención humana en el amarre.
- Regulación de la carga de succión de cada ventosa, para evitar daños al buque.

La ventosa está compuesta por sellos de material elastómero (figura 1) los cuales son rígidos y absorben las pequeñas oscilaciones del buque a través unos orificios donde se genera el vacío al abrir una válvula que conecta la ventosa con un acumulador de baja presión [2].

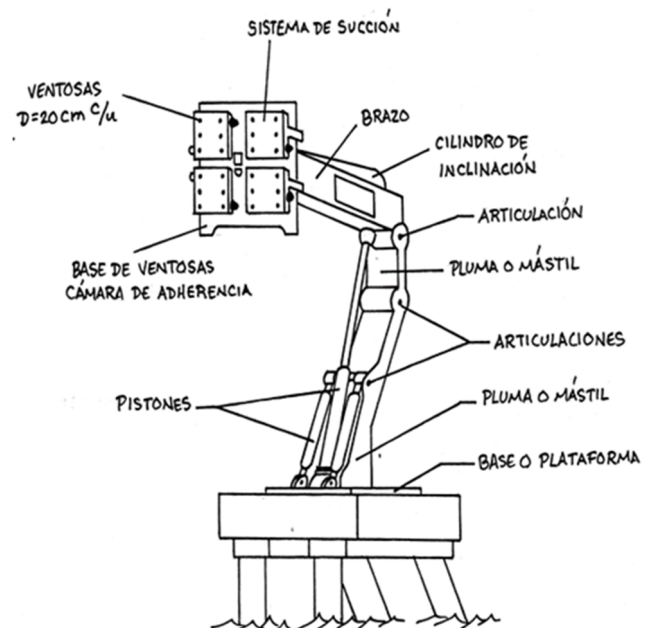


Figura 1. Componentes del sistema automatizado por ventosas. Modificado a partir de Mampaey offshore industries [6].

### 3.1.1 Brazo hidráulico

El sistema de amarre por vacío existente no provee suficiente movimiento en el eje horizontal, ya que solo puede girar aproximadamente cinco grados. Por lo tanto, al hacer algunas modificaciones al sistema ajustando, un brazo con mayor movilidad, se puede facilitar el amarre por las ventosas. Por lo que se propone mejorar la rotación del sistema por medio de una articulación entre la placa de adherencia y el brazo de soporte, permitiendo mayor libertad de giro en un rango de 20 a 30 grados (figura 2).

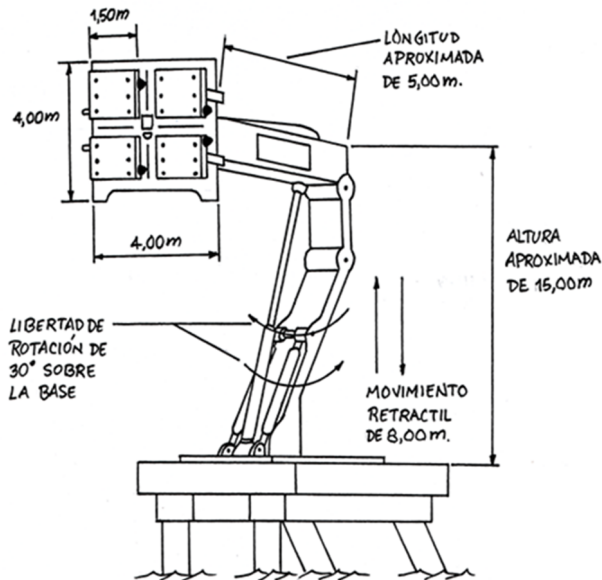


Figura 2. Características del sistema automatizado por ventosas. Modificado a partir de *Mampaey offshore industries* [6].

Respecto al eje vertical, el diseño del sistema le permite gran libertad de extensión y retracción, permitiendo así un funcionamiento óptimo para buques con diferentes dimensiones.

### 3.1 Defensas

La línea de defensa a lo largo del muelle es un factor fundamental que proporciona seguridad, tanto para la estructura portuaria, como para la integridad de los buques que atraquen en el puerto.

Las defensas deben estar diseñadas para absorber la fuerza de impacto del buque sobre la superficie del muelle, permitiendo de igual forma la protección de los dispositivos de amarre.

Tomando en cuenta la energía que debe ser disipada por las defensas, las más adecuadas para resistir grandes impactos son las defensas tipo pantalla, sin embargo, las mismas ocupan mayor espacio en la zona de atraque. Por este motivo se ha considerado las defensas neumático tipo Yokohama (figura 3) como las más aptas para el muelle de atraque automatizado a diseñar.

Este tipo de defensas tienen un mantenimiento básico, el cual consiste en una revisión cada tres o cuatro años a la condición física de la red de cadenas, una revisión de la presión interna de aire dentro de la defensa y revisión superficial de la misma. Con un mantenimiento adecuado, su vida útil puede llegar a ser de 14 a 15 años. [7]



Figura 3. Ejemplo de línea de defensas tipo Yokohama en muelle [7].

### 3.2 Duque de albas

Los duques de alba son estructuras aisladas que sirven para brindar soporte lateral y amarre a los buques [8].

El objetivo de este sistema dentro del muelle automatizado es ofrecer mayor seguridad, actuando como un sistema auxiliar paralelo y a nivel de la estructura del muelle, restringiendo el movimiento de cabeceo del buque.

Este sistema es propenso a recibir impactos por parte, tanto de los remolcadores como del buque durante las operaciones de atraque y amarre de la embarcación al muelle, razón por la cual se considera que el duque de alba (figura 4) debe estar provisto de una línea de defensa a lo largo de la misma, la cual brinde seguridad tanto a la estructura como al sistema automatizado.

### 3.3 Losa

Es un elemento estructural, generalmente de concreto, que permite la transferencia de cargas impuesta sobre su superficie o hacia elementos estructurales de soportes como: vigas, columnas o pilotes como es nuestro caso (figura 4) [9].

### 3.4 Pilotes

Un pilote es un elemento estructural de concreto reforzado, acero y en casos muy puntuales de madera, utilizado en cimentaciones que transmite la carga mediante fricción y presión de punta (figura 4) [9].

La aplicabilidad de este tipo de cimentación se da cuando se tiene un suelo de baja capacidad para soportar las cargas aplicadas y también es una buena opción para la construcción de cimentaciones sumergidas (offshore).

En los duques de alba se deberá colocar pilotes verticales e inclinados, estos últimos para brindar mayor estabilidad de la estructura y resistir los esfuerzos provocados por las olas generadas por el viento o por el mismo buque [9]. Los pilotes inclinados también son de gran ayuda a la resistencia de los

impactos generados por posibles colisiones de los remolcadores o el buque en la operación de atraque.

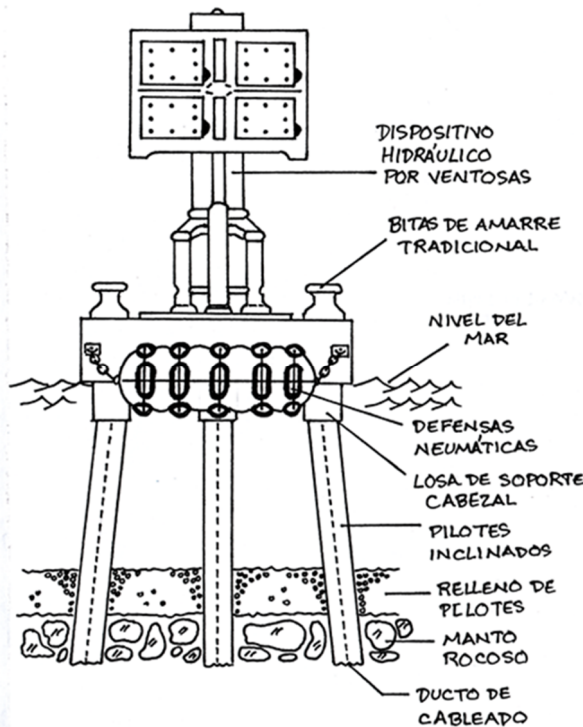


Figura 4. Sistema de amarre automatizado sobre duque de alba.

Actualmente se utiliza el sistema de camisas galvanizadas, al igual que las camisas de caucho, de acero y de cimbra de carbono. Estas protegen la zona de salpicadura del pilote y su estructura en general, brindando una protección al desgaste de la estructura por oleaje y por otros daños como carbonatación, entre otros.

Como protección a la socavación que puede darse en los pilotes del duque de alba, producto del propio oleaje y del movimiento de las hélices de los barcos. Es recomendable utilizar para los pilotes un enrocado alrededor del hincado de esta forma se evita que se llegue a crear socavación en el área contraria al corriente producto de la turbulencia.

### 3.5 Cables de suministro de energía

El suministro de energía para el dispositivo hidráulico será posible por medio de la instalación de una red de tuberías de policloruro de vinilo "PVC" incorporados a la losa de soporte del duque de alba. A través de dichas tuberías serán desplegados los cables o conexiones desde la superficie de la losa, hasta la superficie del fondo marino, extendiéndose hasta la zona de toma de energía en el muelle.

## 4. Dimensionamiento del muelle

La tipología de muelle es de tipo marginal, ya que las características estructurales del este favorecen al diseño del

sistema de sujeción del buque. Para el cálculo de la longitud del muelle se presentan las siguientes ecuaciones [10].

Para un número de atraques  $\leq 2$

$$La = Na * Lmax + (Na - 1)Io + 2ls \quad (1)$$

Para un número de atraques  $> 2$

$$La = Lmax + (Na - 1)Lb + (Na - 1)Io + 2ls \quad (2)$$

Donde:

$La$ : Longitud de atraque

$Na$ : Numero de atraques

$Lmax$ : Eslora del buque de máxima eslora.

$Io$ : Distancia entre barcos atracados en la misma alineación.

$ls$ : Separación entre el barco y cambios de alineación o de tipología estructural (20m en nuestro caso.)

$Lb$ : tipo de buque.

### 4.1 Criterio de selección de sistemas de defensas auxiliares

En un muelle las defensas son algo fundamental, debido a que estas reciben la energía del buque cuando este hace sus maniobras de atraque. Además de brindar protección al sistema de amarre automatizado cuando este se encuentra en posición retraída, provee protección a los duques de alba sobre cualquier impacto que puedan recibir por parte de los buques.

La ubicación de las defensas a lo largo de un muelle debe ser tal que no sea demasiado distante una de otra, ya que el casco del buque podría sufrir daños por impacto al realizar las maniobras de atraque (figura 5), tomando en cuenta adicionalmente que las defensas no deben ser colocadas tan cercanas, ya que se colocarían demasiadas, lo cual se traduce en un mayor costo económico para la entidad encargada del puerto.

Para calcular el espacio requerido entre defensas (figura 6) podemos tomar en cuenta:

El radio de proa se puede calcular como:

$$R_B = \frac{x^2}{B} + \frac{B^2}{4} \quad (3)$$

Donde:

$x$  = longitud de la curvatura del casco

$B$  = manga media del buque

Radio de proa es la curvatura del casco del buque [11].

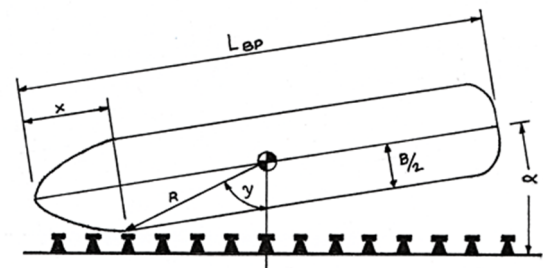


Figura 5. Cálculo del radio de proa [11].

La distancia entre defensas está dada por:

$$S \leq 2 \sqrt{R_B^2 - (R_B - h + C)^2} \tag{4}$$

Donde:

S = espacio entre defensas

R<sub>B</sub> = radio de la proa

h = altura de la defensa comprimida

C = distancia al embarcadero

α = ángulo de atraque

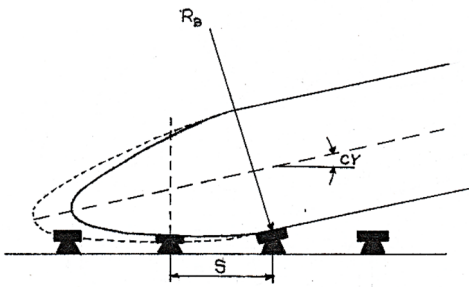


Figura 6. Cálculo de separación entre defensas a lo largo de un muelle [11].

## 5. Configuración del sistema de amarre automatizado

El sistema de dispositivos de amarre automatizado de buques por ventosas se incluirá en un muelle proyecto, el cual contará con la construcción de duques de alba paralelos a la zona de operaciones de carga-descarga del buque, a través del cual se busca garantizar de forma óptima la estabilización del buque durante las operaciones de atraque y amarre.

Tomando en consideración que para obtener una óptima eficiencia y funcionalidad del sistema planteado será necesaria la utilización de líneas de defensa (preferiblemente tipo neumáticas) a lo largo de la zona de atraque del muelle (figura

7) y alrededor de cada duque de alba para amortiguar los impactos del navío sobre las superficies estructurales.

La función de los duques de alba colocados paralelos al muelle a una distancia aproximada referente al ancho del buque diseño en la zona de atraque, consistirá en ofrecer una base sólida sobre la cual se coloquen los dispositivos que utilicen el brazo hidráulico. Cada grupo de duques estará separado a lo largo de la longitud del buque a una distancia que permita la maniobra de entrada de buques Panamax a través de la zona de estructuras paralela al muelle (figura 8).

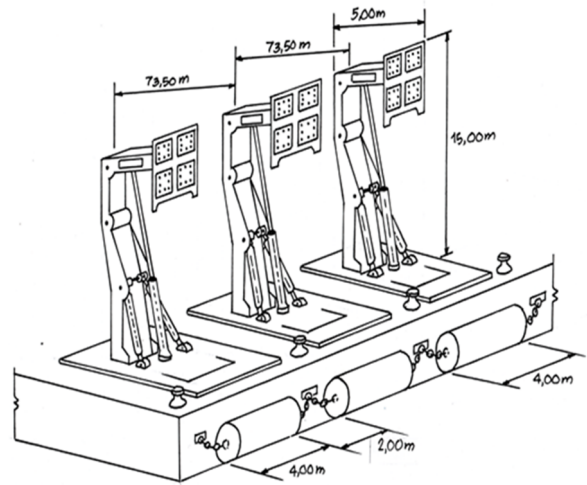


Figura 7. Bosquejo de sistema automatizado a lo largo de la línea de atraque. Redibujado a partir de *Mampaey offshore industries* [6].

El tipo de muelle en la terminal portuaria debe ser preferiblemente marginal para permitir una mayor maniobra de buques de Panamax y Pospanamax contemplados dentro del diseño del sistema [12].

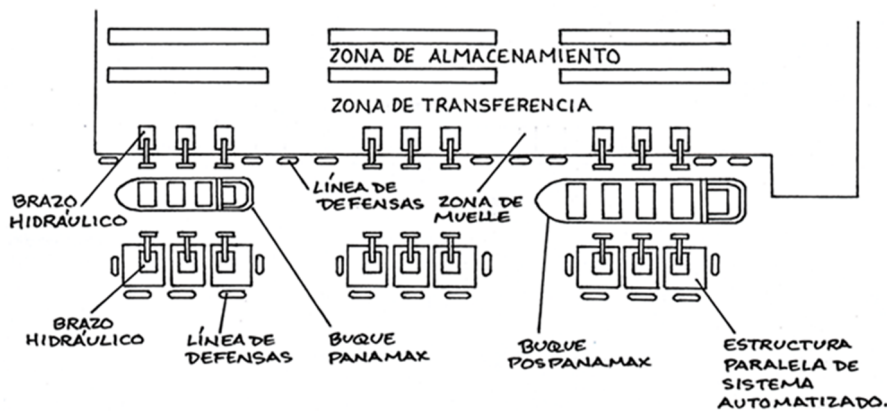


Figura 8. Vista de planta del muelle proyecto basado en maniobra de atraque esperada.

El dispositivo de amarre consistirá en una placa fija que proporcionara soporte al sistema de brazo hidráulico, el cual tiene como función extenderse desde su posición inicial hasta entrar en contacto con el casco del buque durante las operaciones de amarre-desamarre en muelle, para procurar la seguridad del buque, tripulación, pasajeros, estibadores e integridad de la mercancía y simplificar significativamente al personal dedicado al amarre directo sobre el buque.

El dispositivo de amarre debe ser supervisado preferiblemente por un solo operador y ayudante, ambos capacitados para que se realice adecuadamente la movilización y control a través de ordenadores que operen las maniobras de operación del equipo automatizado, realizando una debida supervisión de las presiones que deben ejercer las ventosas de succión sobre la superficie del casco en los buques, esto para evitar deformaciones, rayones o abolladuras en dicha superficie de contacto.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

Por medio de este sistema se minimiza el riesgo de accidentes fatales, tanto al personal que opera en el proceso de amarre como a la tripulación del buque.

El uso de un *software* que controle el sistema evita la probabilidad de fallos, ya que reduce los errores por factor humano.

Al evitar el uso de amarre por medio de bitas o norays se ahorra espacio ya que se puede llevar a cabo el proceso de amarre del buque cerca de los límites del muelle marginal.

Este sistema reduce el tiempo de espera de un buque dentro del muelle y por lo tanto reduce la velocidad en su viaje.

La succión por ventosas permite que el sistema se adhiera y despegue de la superficie del casco del buque de forma instantánea, lo que permite una operación eficaz durante el atraque y desatraque.

Se utilizará menos combustible por parte de los remolcadores, lo que genera menor emisión de gases que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente.

Verificar el estado de las defensas del muelle con el fin de evitar que los impactos generen daños a la estructura como fisuras, grietas o desprendimientos.

Se recomienda pintar las estructuras cercanas o dentro del medio salino con un recubrimiento a base de resina epóxica, para prevenir el ataque de agentes patógenos y evitar el desgaste de estas por exposición al ambiente marino.

## AGRADECIMIENTOS

Se le agradece al Dr. Ariel Grey por los consejos brindados en el desarrollo inicial del artículo y a los compañeros Samuel Romero y Abdiel Adames por el apoyo brindado durante la investigación y conformación del presente artículo.

## REFERENCIAS

- [1] R. Villa Caro, L. Carral Couce, and J. Fraguera Formoso, *Análisis de riesgos durante las operaciones de amarre y fondeo en los buques*. 2015.
- [2] M. S. Ribot, "Análisis y automatización de los sistemas de amarre de un buque," Universitat Politècnica de Catalunya, 2016.
- [3] R. Villa Caro, *Evolucion e historia de los sistemas de amarre y fondeo*. 2014.
- [4] Mampaey, "Mampaey | intelligent Dock Locking System," 2018. [Online]. Available: <https://mampaey.com/berthing-mooring-overview/the-intelligent-docklocking-system/>. [Accessed: 06-Jul-2019].
- [5] R. Villa Caro, L. Carral Couce, J. Fraguera Formoso, and J. Álvarez Feal, "Posible Evolución de los Sistemas de Amarre de los Puertos Militares y sus Buques," *IV Congr. Nac. I+D en Def. y Segur.*, 2016.
- [6] Mampaey, "Mampaey is part of the Maritime Museum!," 2016. [Online]. Available: [https://mampaey.com/portfolio\\_page/mampaey-is-part-of-the-maritime-museum/](https://mampaey.com/portfolio_page/mampaey-is-part-of-the-maritime-museum/). [Accessed: 06-Jul-2019].
- [7] Max-groups, "Ventajas & Tipos de Defensas Neumáticas (Yokohama) -," 2019. [Online]. Available: <https://max-groups.com/defensas-neumatica-yokohama-ventajas-tipos/>. [Accessed: 06-Jul-2019].
- [8] Puertos del Estado, *Infraestructuras (Nivel 1)*. España, 2014.
- [9] B. M. Das, *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*, 7th ed. Cengage Learning, 2012.
- [10] Gobierno de España, Ministerio de Formento, and Puertos del Estado, *Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre*. 2012.
- [11] Shibatafenderteam, *Manual de instalación, operación y mantenimiento de Shibatafenderteam*. 2019.
- [12] F. Gonzalez Sañudo, *El Contenedor "La Revolución Permanente."* 2016.