



**Universidad
de La Laguna**

Balizamiento en la isla de La Palma

Trabajo Fin de Grado
Grado en Náutica y Transporte Marítimo
Julio de 2024

Autor:
Emilio Rodríguez Prestat
42.419.434M

Tutor:
Prof. Dr. Alejandro Urbano Gómez Correa

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería
Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval
Universidad de La Laguna

D/D^a. Alejandro Urbano Gómez Correa, Profesor de la UD de Ciencias y Técnicas de Navegación, perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil, Náutica y Marítima de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

D. **Emilio Rodríguez Prestat** con **DNI 42419434M**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: **Balizamiento en la isla de La Palma**.

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife a 04 de Julio de 2024.

Fdo.: Alejandro Urbano Gómez Correa.

Director del trabajo.

Rodríguez Prestat, E. (2024). *Balizamiento en la isla de La Palma*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

RESUMEN

La seguridad en la navegación marítima siempre ha sido y seguirá siendo un tema de vital importancia a nivel mundial. La evolución y modernización de las ayudas a la navegación marítima es fundamental por su relevancia para garantizar la seguridad y eficiencia en la navegación.

Este documento se centra en la isla de La Palma, con el objetivo de evaluar la situación actual de las ayudas a la navegación, identificar deficiencias en la infraestructura existente y proponer mejoras.

Primero se tratarán temas generales como la historia del balizamiento y los principales sistemas utilizados en la Asociación Internacional de Señalización Marítima (IALA), proporcionando un contexto que clarifique la situación actual y las propuestas sugeridas.

La isla actualmente divide su balizamiento principalmente en las zonas de los puertos de Tazacorte y Santa Cruz de La Palma, que junto a los cuatro faros de la isla proporcionan seguridad en sus puntos más importantes.

Las propuestas buscan mejorar las ayudas a la navegación en La Palma pues no solo incrementarían la seguridad y eficiencia de la navegación, sino que también contribuirían al desarrollo económico de la isla, facilitando un tráfico marítimo más fluido y seguro.

Palabras claves: [Balizamiento, La Palma, IALA, seguridad marítima].

Rodríguez Prestat, E. (2024). *Balizamiento en la isla de La Palma*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

ABSTRACT

Maritime navigation safety has always been and will continue to be a topic of vital importance worldwide. The evolution and modernization of aids to maritime navigation are fundamental due to their relevance in ensuring the safety and efficiency of navigation.

This document focuses on the island of La Palma, aiming to assess the current situation of navigation aids, identify deficiencies in the existing infrastructure, and propose improvements.

First, general topics such as the history of buoyage and the main systems used in the International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA) will be addressed, providing a context that clarifies the current situation and the suggested proposals.

The island currently divides its buoyage mainly in the ports of Tazacorte and Santa Cruz de La Palma, which, along with the four lighthouses on the island, provide safety at its most important points.

The proposals aim to improve navigation aids in La Palma, as they would not only increase the safety and efficiency of navigation but also contribute to the island's economic development, facilitating smoother and safer maritime traffic.

Keywords: [Buoyage, La Palma, IALA, maritime safety].

AGRADECIMIENTOS

Es imposible agradecer a todas esas personas que me han ayudado durante este proceso, tanto de forma directa como indirecta incontables personas han estado presentes durante el proceso.

Agradezco especialmente a mis compañeros por todos esos tiempos en los que charlando un poco recuperaba la energía para seguir estudiando.

A mis familiares que, aunque no estuvieran todos de acuerdo en un principio acabaron aceptando mi elección.

A la ayuda que recibí durante mis prácticas en la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife que me permitió avanzar enormemente este trabajo.

Así como los profesores por su invaluable colaboración y ayuda durante todo el proceso.

Sin ustedes, este logro no hubiera sido posible.

Índice del TFG

| | |
|---|-----------|
| 1. Historia del balizamiento | 1 |
| 1.1. Los inicios del balizamiento | 1 |
| 1.2. Las primeras conferencias y principio de la IALA | 2 |
| 1.3. Actualidad del IALA | 3 |
| 1.4. Desafíos en el futuro..... | 5 |
| 2. Ayudas a la navegación del IALA..... | 6 |
| 2.1. Marcas laterales | 7 |
| 2.2. Marcas laterales en canal con bifurcación | 7 |
| 2.3. Marcas cardinales..... | 8 |
| 2.4. Marcas de peligro aislado | 10 |
| 2.5. Marca de aguas navegables | 10 |
| 2.6. Marcas especiales | 11 |
| 2.7. Marca de peligros nuevos | 12 |
| 2.8. Otras marcas | 13 |
| 2.8.1. Faros | 13 |
| 2.8.2. Enfilaciones | 13 |
| 2.8.3. Luces sectoriales | 13 |
| 2.8.4. Balizas | 13 |
| 2.8.5. Grandes ayudas flotantes | 13 |
| 2.8.6. Marcas auxiliares..... | 13 |
| 3. Motivos de la elección de la isla de La Palma | 14 |
| 3.1. Zona de especial importancia | 14 |
| 3.1.1. Criterios Ecológicos | 14 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1.2. Criterios Socioeconómicos y Culturales | 14 |
| 3.1.3. Dependencia Humana | 15 |
| 3.1.4. Criterios Científicos e Investigación | 15 |
| 3.2. Tradición marítima | 15 |
| 3.3. Obligación internacional..... | 16 |
| 4. Faros de La Palma..... | 17 |
| 4.1. Concepto y funcionalidad..... | 17 |
| 4.2. Faro de Punta Cumplida | 18 |
| 4.3. Faro Punta Fuencaliente..... | 19 |
| 4.4. Faro Arenas Blancas | 20 |
| 4.5. Faro Punta Lava | 21 |
| 5. Balizamiento Físico en La Palma | 22 |
| 5.1. Balizamiento Zona Puerto Santa Cruz de La Palma | 22 |
| 5.1.1. Número Nacional 13000 / Número Internacional D-2848.45 | 22 |
| 5.1.2. Número Nacional 13004 | 22 |
| 5.1.3. Número Nacional 13006 | 23 |
| 5.1.4. Número Nacional 13008 | 23 |
| 5.1.5. Número Nacional 13009 | 23 |
| 5.1.6. Número Nacional 13010 / Número Internacional D-2848.4 | 23 |
| 5.1.7. Número Nacional 13012 / Número Internacional D-2848.5 | 24 |
| 5.1.8. Número Nacional 13015 / Número Internacional D-2849 | 24 |
| 5.1.9. Número Nacional 13022 / Número Internacional D-2849.3 | 24 |
| 5.1.10. Número Nacional 13022.1 / Número Internacional D-2849.32 | 24 |
| 5.1.11. Número Nacional 13022.5 / Número Internacional D-2849.34 | 24 |
| 5.1.12. Número Nacional 13022.6 / Número Internacional D-2849.33 | 25 |
| 5.1.13. Número Nacional 13023 | 25 |
| 5.2. Balizamiento Puerto Espíndola | 25 |
| 5.2.1. Número Nacional 12995 / Número Internacional D-2847 | 25 |

| | |
|--|-----------|
| 5.3. Balizamiento Zona Puerto Tazacorte | 26 |
| 5.3.1. Número Nacional 13040 / Número Internacional D-2852 | 26 |
| 5.3.2. Número Nacional 13041 / Número Internacional D-2851.8 | 26 |
| 5.3.3. Número Nacional 13042 / Número Internacional D-2853 | 27 |
| 5.3.4. Número Nacional 13044 / Número Internacional D-2852.4 | 27 |
| 5.3.5. Número Nacional 13044.1 / Número Internacional D-2852.3 | 27 |
| 5.3.6. Número Nacional 13047 / Número Internacional D-2855 | 27 |
| 5.3.7. Número Nacional 13047.5 / Número Internacional D-2855.5 | 28 |
| 5.3.8. Número Nacional 13047.7 | 28 |
| 5.3.9. Número Nacional 13048 / Número Internacional D-2855.7 | 28 |
| 5.3.10. Número Nacional 13049 / Número Internacional D-2856 | 28 |
| 5.4. Balizamiento Playa de Santa Cruz..... | 28 |
| 5.4.1. Número Nacional 12998.1 / Número Internacional D-2847.5 | 29 |
| 5.4.2. Número Nacional 12998.2 / Número Internacional D-2847.3 | 29 |
| 5.5. Balizamiento Zona Cultivos Marinos | 29 |
| 5.5.1. Número Nacional 13054.2 | 29 |
| 5.5.2. Número Nacional 13054.3 | 29 |
| 5.5.3. Número Nacional 13054.4 | 29 |
| 5.5.4. Número Nacional 13054.5 | 29 |
| 6. Propuestas Balizamiento Norte de La Palma | 30 |
| 6.1. Zona actualmente no utilizada | 30 |
| 6.2. Balizamiento de bajas no señalizadas | 31 |
| 6.2.1. Zona de peligro potencial N°1 | 31 |
| 6.2.2. Zona de peligro potencial N°2..... | 32 |
| 6.2.3. Zona de peligro potencial N°3..... | 33 |
| 6.3. Propuesta tipo de balizamiento ideal para cada caso | 33 |
| 6.3.1. Balizamiento para las zonas de peligro potencial..... | 33 |
| 6.3.2. Balizamiento para navegación nocturna | 34 |

| | |
|--|-----------|
| 7. Balizamiento Multifunción | 35 |
| 7.1. Problema de datos en La Palma..... | 35 |
| 7.2. Combinación de AtoN con estaciones de recogida de datos..... | 36 |
| 8. Mantenimiento del balizamiento..... | 37 |
| 9. Balizamiento de posibles futuros parques eólicos marinos | 39 |
| 9.1. Futuro eólico marino en La Palma | 39 |
| 9.2. Marcado de los parques eólicos marinos | 40 |
| 10. Conclusiones..... | 41 |
| 11. Referencias..... | 42 |

Índice de ilustraciones

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. The Lighthouse of Alexandria (1721) Fischer von Erlach..... | 1 |
| Ilustración 2. Marcas Laterales | 7 |
| Ilustración 3. Marcas Laterales en canal de bifurcación..... | 8 |
| Ilustración 4. Marcas Cardinales..... | 9 |
| Ilustración 5. Marcas de Peligro Aislado | 10 |
| Ilustración 6. Marcas de Aguas Navegables | 10 |
| Ilustración 7. Marcas Especiales | 12 |
| Ilustración 8. Marca de Aguas Navegables..... | 12 |
| Ilustración 9. Luces Sectoriales | 13 |
| Ilustración 10. Costa W de La Palma desde el mar | 14 |
| Ilustración 11. Faro de Punta Cumplida..... | 18 |
| Ilustración 12. Faro Punta de Fuencaliente..... | 19 |
| Ilustración 13. Faro de Arenas Blancas | 20 |
| Ilustración 14. Faro de Punta Lava | 21 |
| Ilustración 15. Balizamiento Puerto S/C de La Palma..... | 22 |
| Ilustración 16. Marca Número Nacional 13000 | 23 |
| Ilustración 17. Balizamiento Puerto Espíndola..... | 25 |
| Ilustración 18. Balizamiento Puerto Tazacorte..... | 26 |
| Ilustración 19. Marca Número Nacional 13044.1 | 27 |
| Ilustración 20. Balizamiento Playa de S/C de La Palma..... | 28 |
| Ilustración 21. Balizamiento Cultivos Marinos | 29 |
| Ilustración 22. Mapa densidad tráfico en La Palma..... | 30 |
| Ilustración 23. Zona de peligro potencial N°1 | 32 |
| Ilustración 24. Zona de peligro potencial N°2..... | 32 |
| Ilustración 25. Zona de peligro potencial N°3..... | 33 |
| Ilustración 26. Efecto contaminación lumínica en la costa de La Palma | 34 |
| Ilustración 27. Boya oceanográfica | 36 |
| Ilustración 28. Limpieza de una boya desde buque | 38 |
| Ilustración 29. Mapa áreas ideales para eólica marina | 39 |

1. Historia del balizamiento

1.1. Los inicios del balizamiento

La navegación marítima ha sido una actividad esencial para la humanidad desde la antigüedad, permitiendo el intercambio de mercancías, ideas y culturas entre diferentes regiones del mundo. Sin embargo, la travesía de los mares ha sido siempre un desafío peligroso, donde la falta de visibilidad, la niebla, la oscuridad y las condiciones climáticas adversas han puesto en riesgo la seguridad de los navegantes y sus embarcaciones.

Fue en este contexto que surgió la necesidad de un sistema de balizamiento que permitiera guiar a los navegantes a través de las aguas peligrosas y evitar los riesgos inherentes a la navegación.

La historia del balizamiento es un testimonio de la innovación humana y la cooperación internacional para garantizar la seguridad de la vida en el mar, esta historia se remonta a la antigüedad, cuando los faros y las señales marítimas eran construidos por las civilizaciones costeras para guiar a los barcos hacia los puertos y evitar los peligros del litoral.

Los primeros sistemas de balizamiento se basaban en marcas visuales, como torres de piedra, hogueras y estructuras de madera. Sin embargo, estos sistemas variaban significativamente entre regiones y países, lo que generaba confusión y peligros para los navegantes.

La problemática producida por la falta de estandarización junto con el aumento del tráfico marítimo y la globalización del comercio se hizo evidente la necesidad de un sistema de balizamiento internacional que unificara las normas y los estándares para garantizar la seguridad de la navegación en todos los mares del mundo.



Ilustración 1. The Lighthouse of Alexandria (1721) Fischer von Erlach Fuente: <https://www.meisterdrucke.ie>

1.2. Las primeras conferencias y principio de la IALA

El primer intento solucionar este conflicto fue realizado en 1889, donde se celebró en Washington D.C. la primera Conferencia Internacional sobre Balizamiento Marítimo, sentando las bases para la cooperación internacional en este ámbito. [1]

Paralelamente al evento de la Exposición Universal de París en 1889, se llevó a cabo el primer Congreso Internacional de Obras Marítimas, en el cual se realizaron charlas y visitas específicamente relacionadas con la señalización marítima. A lo largo de este evento, se evidencia el deseo y la necesidad de continuar con este tipo de encuentros. [2]

Tras ello, en 1900, se estableció la Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Navegación (AIPCN/PIANC) mediante la fusión de los comités organizadores de los congresos de "navegación interior" y de "obras marítimas".

En 1926, durante el Congreso de la Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Navegación (AIPCN) en El Cairo, se reunió una comisión de responsables de servicios de señalización marítima para abordar la necesidad de cooperación en este campo. A partir de esta reunión, se celebraron varias conferencias internacionales sobre señalización marítima, incluyendo las de Londres (1929), París (1933) y Berlín (1937).

La Conferencia de Servicios de Señalización Marítima en París, celebrada en 1950, marca un hito tras la interrupción causada por la Segunda Guerra Mundial. Anteriormente, se habían formado pequeños comités de servicios interesados en discutir temas específicos.

Es en la conferencia de 1955 en Scheveningen (Países Bajos) donde se propone formalmente crear una Secretaría Permanente de señalización marítima, con sede en la capital de París, para promover la cooperación entre los servicios involucrados y representarlos ante organizaciones internacionales.

Esta propuesta fue aceptada unánimemente, decidiendo entonces crear una organización permanente independiente de los gobiernos nacionales. El proyecto, denominado Asociación Internacional de Señalización Marítima (AISM) o International Association of Lighthouse Authorities (IALA), fue enviado a todos los servicios de señalización marítima del mundo el 31 de julio de 1956 y, once meses después, veinte servicios expresan su interés en unirse a la Asociación, que comienza oficialmente su andadura el 1 de julio de 1957.

La AISM/IALA fue fundada en 1957 con 20 países miembros nacionales, y actualmente incluye a más de 80 naciones de todos los continentes, entre ellas España desde su inicio en el año 1957.

A lo largo de los años, la AISM/IALA ha evolucionado para incluir a fabricantes y distribuidores de equipos de ayudas a la navegación, centros de investigación y empresas consultoras, en adición a los servicios nacionales de señalización marítima. [2]

En 1957, se intentó lograr una homogeneización completa de las señales marítimas, pero sin éxito notable. Sin embargo, un serie de naufragios en el estrecho de Dover en 1971 impulsó a la IALA a reforzar sus esfuerzos.

El Comité Técnico de la IALA se enfocó en tres cuestiones básicas: conservar los equipos existentes, definir el uso de los colores verde y rojo en la señalización de canales y combinar las reglas de los sistemas Lateral y Cardinal. Se crearon dos sistemas iniciales, A y B, que utilizaban el color rojo de manera diferente.

El sistema A se completó en 1976 y se implementó en Europa, África, el Golfo, Australia, Nueva Zelanda y algunos países asiáticos. Las reglas para el sistema B se concluyeron en 1980 y se consideraron adecuadas para América del Norte, Central y Sur, así como Corea, Filipinas y Japón.

En 1980, se combinó los dos sistemas en uno solo, conocido como el Sistema de Balizamiento Marítimo de la IALA. Este sistema permite a las autoridades de balizamiento elegir entre usar el rojo a babor o a estribor, según la región. [3]

1.3. Actualidad del IALA

Las recomendaciones de la IALA son obligatorias según la redacción del capítulo V del Convenio SOLAS, según se indica en la regla 13.

La AISM/IALA tiene como principales objetivos:

- Proporcionar a sus miembros un foro para compartir experiencias y logros, facilitarles contactos internacionales y promover que los servicios de los países industrializados asistan a los países en vías de desarrollo.

- Mejorar y estandarizar tecnológicamente las ayudas a la navegación en beneficio de todos los navegantes, fomentando la colaboración entre sus miembros.

- Aumentar la seguridad en el mar y proteger el medio ambiente marino mediante la planificación e instalación de nuevos sistemas de balizamiento y la gestión del tráfico marítimo, contribuyendo a que los navegantes encuentren señales e informaciones claras y reconocibles en sus rutas. [2]

Una herramienta esencial para los navegantes es el Libro de Faros y Señales Marítimas, este libro proporciona información detallada sobre los faros, boyas y otras señales marítimas en todo el litoral español, incluyendo su ubicación, características y funcionamiento. Estos libros se actualizan periódicamente para reflejar los cambios en el balizamiento y garantizar que los navegantes tengan acceso a la información más precisa y actualizada.

La Autoridad Portuaria también se encarga de emitir avisos a los navegantes sobre cualquier anomalía o error en los faros y señales marítimas. Estos avisos se publican en el Boletín de Avisos a los Navegantes, que es un documento oficial que se publica regularmente y que proporciona información importante sobre la seguridad de la navegación en las aguas españolas. Estos avisos se emiten regularmente por las autoridades marítimas y deben ser consultados por los navegantes para mantener la seguridad en sus travesías.

La gestión del balizamiento en España es un tema de gran importancia, ya que el país cuenta con una extensa costa y un gran tráfico marítimo. En este sentido, la Autoridad Portuaria de España es la entidad responsable de la gestión del balizamiento marítimo en el país. Su función es garantizar la seguridad de la navegación en las aguas españolas. Para lograr este objetivo, se encarga de la planificación, construcción, mantenimiento y operación de los faros, boyas y otras señales marítimas en todo el litoral español.

En España, la gestión del balizamiento se basa en la normativa internacional establecida por la OMI y la IALA, y se ajusta a las directrices y recomendaciones de estas organizaciones. Es por ello por lo que la Autoridad Portuaria también colabora con otras autoridades marítimas internacionales para garantizar la seguridad de la navegación en las aguas españolas y en las rutas marítimas que conectan con otros países.

En la década de 1980, se comenzó a implementar tecnologías modernas en el balizamiento, como la navegación por satélite y la comunicación por radio. Esto permitió mejorar la seguridad de la navegación y reducir los riesgos de accidentes marítimos.

Junto al balizamiento físico, España también ha implementado balizamiento digital, que conjunto con sistemas de información y comunicación avanzados permiten mejorar la seguridad marítima.

El Sistema de Identificación Automática (AIS) permite a los barcos transmitir su identidad, posición y otra información relevante a las autoridades marítimas y a otros barcos en las proximidades. El Sistema de Información de Tráfico Marítimo (VTS) utiliza radares, cámaras y otros sensores para monitorizar el tráfico marítimo y detectar posibles peligros. [4]

1.4. Desafíos en el futuro

Es importante que, junto con el balizamiento correcto, exista una formación y capacitación adecuada de los marinos para evitar riesgos humanos adicionales, ya que los sistemas no siempre puedan estar en la condición óptima, esto busca como objetivo mejorar la seguridad de la navegación y reducir los riesgos de accidentes marítimos.

A pesar de los avances en la tecnología y la normativa, el balizamiento marítimo sigue siendo un desafío complejo. Los errores en la señalización pueden tener consecuencias graves para la seguridad de la navegación, por lo que es fundamental mantener un sistema de balizamiento eficiente y actualizado.

El cambio climático y el aumento del nivel del mar pueden afectar la ubicación y la estabilidad de las ayudas a la navegación, lo que requiere una adaptación constante y una inversión en infraestructura resiliente. [5]

Además, la creciente congestión del tráfico marítimo y el aumento del tamaño de los buques plantean nuevos desafíos para la gestión del balizamiento. Las autoridades marítimas deben asegurarse de que las ayudas a la navegación sean adecuadas para los buques modernos y que los sistemas de información y comunicación sean capaces de gestionar el creciente volumen de datos.

Las boyas también han experimentado avances significativos, con la incorporación de sensores y transmisores que permiten la recopilación y transmisión de datos sobre las condiciones marítimas, como la altura de las olas, la velocidad del viento y las corrientes. Esta información es valiosa para los navegantes y las autoridades marítimas, ya que les permite tomar decisiones informadas sobre la seguridad de la navegación.

En el futuro, se espera que las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el internet de las cosas, desempeñen un papel cada vez más importante en el balizamiento marítimo. Estas tecnologías podrían permitir una mayor automatización y optimización de las ayudas a la navegación, así como una mejor integración con los sistemas de gestión del tráfico marítimo.

2. Ayudas a la navegación del IALA

Una ayuda marina para la navegación, conocida en inglés como Marine Aid to Navigation (AtoN), es un recurso diseñado para garantizar la navegación segura y eficiente de los buques y el tráfico marítimo. Estas ayudas están concebidas para mejorar la seguridad y eficiencia en la navegación de las embarcaciones.

Recientemente, se ha incorporado el término e-Navigation dentro de las AtoN, un sistema moderno que, bajo los estándares de la Organización Marítima Internacional (IMO), ha sido desarrollado por la IALA para crear un sistema de ayudas a la navegación electrónica.

Las AtoN deben cumplir con los estándares de la IMO y la IALA, así como con las regulaciones nacionales y regionales. Deben garantizar la compatibilidad con los sistemas de navegación globales y regionales, además de realizar mantenimiento e inspecciones regulares para asegurar su efectividad y fiabilidad. [6]

El Convenio SOLAS, en su capítulo V, incluye la Regla 13, que se refiere al establecimiento y funcionamiento de las ayudas a la navegación. Esta regla abarca tres apartados fundamentales:

1. Todo gobierno contratante debe establecer, en colaboración con otros gobiernos, ayudas a la navegación según el nivel de tráfico y el riesgo asociado.
2. Para estandarizar las ayudas, los gobiernos contratantes seguirán las directrices internacionales para las ayudas a la navegación.
3. Los gobiernos contratantes están obligados a permitir el acceso a la información sobre las ayudas a la navegación a los demás gobiernos contratantes. [7]

El sistema de balizamiento marítimo, conocido en inglés como Maritime Buoyage System (MBS), se compone de marcas y dispositivos visuales tanto fijos como flotantes. Aunque este sistema es principalmente físico, todas las marcas pueden complementarse mediante medios electrónicos.

Dentro del MBS existen seis tipos de marcas, que pueden encontrarse combinadas. Estas marcas se distinguen por sus características identificables. Para las marcas laterales, existen dos sistemas de balizamiento, cuya diferencia radica en las regiones A y B. Los otros cinco tipos de marcas son comunes a ambas regiones.

La Palma se encuentra en la región A, por lo que, para simplificar este trabajo, se ha optado por centrarse únicamente en el sistema de la región A en cuanto a las marcas laterales.

2.1. Marcas laterales

Las marcas laterales utilizan los colores rojo y verde para denotar los lados de babor y estribor de los canales, respectivamente, tanto de día como de noche. Estas marcas siguen una dirección convencional de balizamiento, siendo esta la dirección considerada como la que toma un navegante al acercarse a un puerto.

En la numeración e identificación de sistema, deberían las marcas rojas (babor) llevar números pares y las verdes (estribor) llevar números impares.

Las marcas laterales deben ser de forma cilíndrica o cónica. En casos donde la forma no sea suficiente para su identificación, deben llevar una marca superior apropiada.

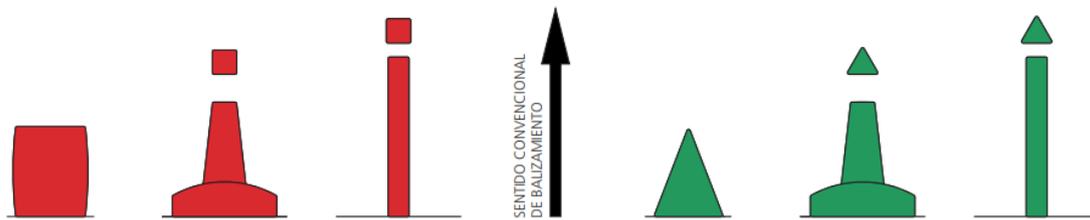


Ilustración 2. Marcas Laterales. Fuente: IALA R1001

Las marcas de babor son de color rojo y suelen tener forma cilíndrica, de castillete o espeque. Su marca de tope es un cilindro rojo y, si están equipadas con luz, esta será de color rojo. El ritmo de su luz puede ser cualquier secuencia que no sea grupos de (2+1) destellos.

Las marcas de estribor son de color verde y suelen tener forma cónica, de castillete o espeque. Su marca de tope es un cono verde con el vértice hacia arriba y, si tienen luz, esta será de color verde. Al igual que las de babor, su ritmo de luz será cualquier secuencia que no sea grupos de (2+1) destellos. [8]

2.2. Marcas laterales en canal con bifurcación

En el momento en el que el canal principal de navegación, siguiendo el sentido de navegación convencional, se produzcan nuevos canales, se indicará en que posición de encuentra el canal principal, teniendo esta marca sus propias características.

Las marcas para el canal principal a estribor se identifican por su color rojo con una banda ancha horizontal verde. Las boyas en este canal son de forma cilíndrica, de castillete o espeque, con una marca de tope representada por un cilindro rojo. Si tienen luz, esta será roja y su ritmo de luz será de (2+1) destellos.



Ilustración 3. Marcas Laterales en canal de bifurcación. Fuente: IALA R1001

Las marcas para el canal principal a babor tienen boyas verdes con una banda ancha horizontal roja. Estas boyas son de forma cónica, de castillete o espeque, con una marca de tope que consiste en un cono verde con el vértice hacia arriba. Si cuentan con luz, esta será verde y su ritmo de luz será de (2+1) destellos. [8]

2.3. Marcas cardinales

Las marcas cardinales son puntos cruciales para la navegación marítima, indicando la ubicación segura del agua en relación con puntos de referencia clave. Por ejemplo, una marca cardinal Norte señala la dirección más segura al norte de ella, aunque también puede haber aguas seguras al este y oeste, dependiendo de la situación detallada en la carta náutica correspondiente.

Cada una de las cuatro marcas cardinales (Norte, Este, Sur y Oeste) se define a partir de rumbos verdaderos desde el punto de interés, marcando cómo se debe navegar por cada lado de la marca cardinal. Estas marcas se distinguen por sus características visuales: están pintadas con bandas horizontales amarillas y negras y tienen tope de doble cono de color negro.

Además de su apariencia distintiva, emiten luces blancas intermitentes con patrones como "muy rápido" (VQ) o "rápido" (Q), cada uno con ritmos de destello específicos según el tipo de marca. Para evitar confusiones, se utilizan números o letras diferentes cuando hay marcas cardinales cercanas que son visualmente similares.

Las marcas cardinales cumplen varios propósitos esenciales en la navegación marítima. Además de señalar aguas más profundas, indican el lado seguro para pasar obstáculos, y resaltan características del canal como curvas, intersecciones o bancos de arena. Sin embargo, es crucial manejar con cuidado la cantidad de estas marcas en una vía navegacional para evitar confusiones debido a las luces blancas similares.

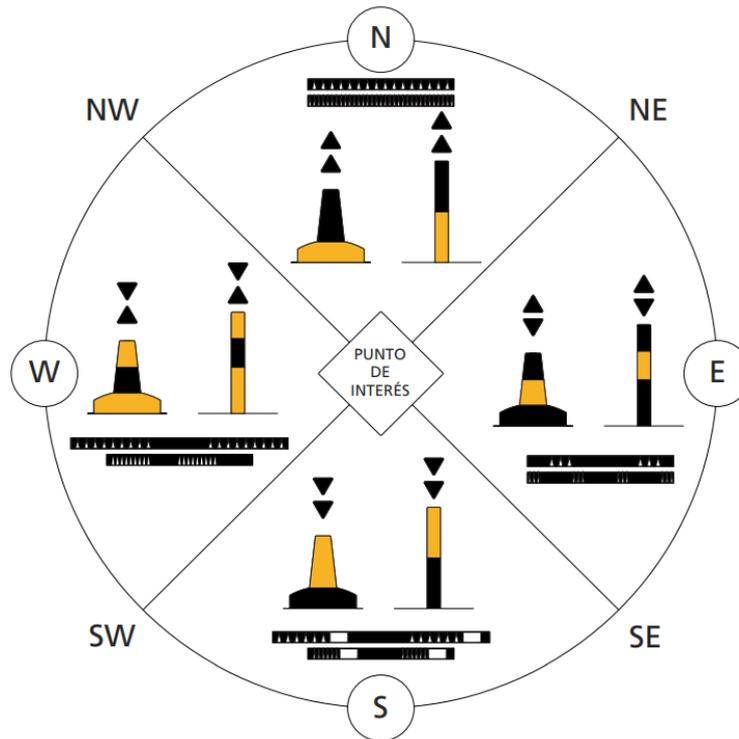


Ilustración 4. Marcas Cardinales. Fuente: IALA R1001

Marca Cardinal Norte: Tiene como marca de tope dos conos negros superpuestos con los vértices hacia arriba, son de color negro sobre amarillo, forma de castillete o espeque, y luz centelleante rápido continuo VQ o centelleante continuo Q

Marca Cardinal Este: Su marca de tope consiste en dos conos negros superpuestos opuestos por sus bases, son de color negro con una ancha banda horizontal amarilla, forma de castillete o espeque, y luz en grupos de 3 centelleos Q cada 10 segundos o si es VQ cada 5 segundos

Marca Cardinal Sur: Presenta como marca de tope dos conos negros superpuestos con los vértices hacia, son de color amarillo sobre negro, forma de castillete o espeque, y su luz consiste en grupos de 6 centelleos VQ más un destello largo cada 10 segundos o de un grupo de 6 centelleos Q más un destello largo cada 15 segundos.

Marca Cardinal Oeste: Tiene como marca de tope dos conos negros superpuestos opuestos por sus vértices, son de color amarillo con una ancha banda horizontal negra, forma de castillete o espeque, y luz de grupo de 9 centelleos rápidos VQ cada 10 segundos o grupo de 9 centelleos Q cada 15 segundos. [8]

2.4. Marcas de peligro aislado

Las marcas de peligro aislado se colocan sobre o cerca de un peligro que tiene agua navegable a su alrededor. Dado que no es posible especificar la extensión del peligro y la distancia segura de paso para todas las circunstancias en las que se pueden utilizar estas marcas, los navegantes deben consultar las cartas y publicaciones náuticas relevantes para obtener orientación.

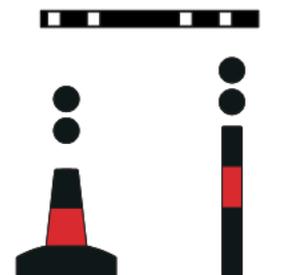


Ilustración 5. Marcas de Peligro Aislado. Fuente: IALA R1001

Estas marcas tienen color negro con una o varias anchas bandas horizontales rojas. En cuanto a su forma, se prefieren diseños como castilletes o espeques, evitando cualquier confusión con las marcas laterales. Su marca de tope consiste en dos esferas negras superpuestas. Si están equipadas con luz, será de color blanco, con ritmo de grupos de dos destellos GpD (2) [8]

2.5. Marca de aguas navegables

Las marcas de aguas navegables señalan áreas donde hay agua apta para la navegación, indicando que no hay peligros inmediatos. Estas marcas pueden utilizarse para guiar vías navegables, marcar la mitad de un canal o señalar la llegada a tierra. Incluyen marcas como las de línea central y mitad de canal, que también indican la entrada a canales, acceso a puertos o estuarios, puntos de llegada a la costa o el mejor lugar para pasar bajo puentes.

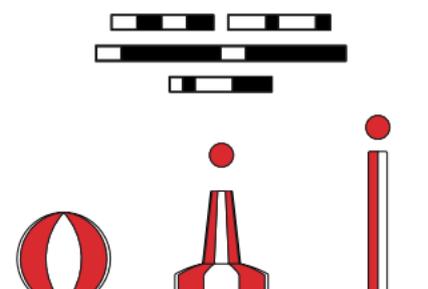


Ilustración 6. Marcas de Aguas Navegables. Fuente: IALA R1001

Una boya de aguas navegables tiene franjas verticales rojas y blancas. Su forma puede ser esférica, de castillete o espeque; si es de estas últimas dos, llevará una esfera roja como marca de tope. Si la boya tiene luz, esta será blanca y el ritmo de los destellos puede ser isofásico, con ocultaciones, un destello largo cada 10 segundos o seguir la señal Morse "A". [8]

2.6. Marcas especiales

Las marcas especiales se utilizan para señalar áreas o características específicas cuya naturaleza puede determinarse mediante la referencia a una carta náutica u otra publicación especializada. Estas marcas no están destinadas a marcar canales u obstrucciones, ya que existen alternativas más adecuadas para esos propósitos.

Existen diversas aplicaciones para las marcas especiales, como señalar Sistemas de Adquisición de Datos Oceánicos (ODAS), marcas de separación de tráfico, áreas de vertido, zonas de ejercicio militar, cables o tuberías, zonas de recreo, límites de áreas de fondeo, estructuras artificiales, acuicultura, boyas de amarre y objetos móviles o peligros.

Aunque las boyas de amarre no suelen considerarse AtoN, las de mayor tamaño a menudo se incluyen en las cartas náuticas y, si es necesario aumentar su visibilidad, deben marcarse como una marca especial.

Las marcas especiales también pueden utilizarse como Ayudas a la Navegación Móviles, en inglés Mobile Aid to Navigation (MAtoN), en las que una marca está unida a objetos flotantes que pueden representar un peligro de colisión. Tienen una característica luminosa específica de tres destellos intermitentes seguidos de dos destellos regulares.

Otra aplicación importante de las marcas especiales es marcar canales o áreas de interés para una clase particular de embarcaciones, como un canal especialmente dragado para embarcaciones de gran calado en áreas donde ya hay suficiente profundidad para la mayoría de las embarcaciones. En estos casos, los límites de navegación segura seguirán marcados por marcas Laterales o Cardinales, mientras que el canal o área de interés especial será indicado por marcas especiales con la forma adecuada.

La boya es de color amarillo. Su forma puede ser elegida libremente, siempre y cuando no se confunda con otras marcas de ayuda a la navegación, por ejemplo, una marca especial en el lado de babor de un canal puede ser cilíndrica pero no cónica. Lleva un aspa amarilla en forma de X como marca de tope, si tiene. Si tiene luz, esta es amarilla, y su ritmo puede ser cualquiera excepto las utilizadas en las marcas cardinales, de peligro aislado o aguas navegables. [8]



Ilustración 7. Marcas Especiales. Fuente: IALA R1001

2.7. Marca de peligros nuevos

Cuando aparece un nuevo peligro marino, se utiliza una marca específica para señalarlo. Este tipo de peligros puede ser identificado con una señal de racon que emite el código Morse "D". También se pueden utilizar tecnologías electrónicas como el Sistema de Identificación Automática (AIS) para señalar estos peligros. En algunos casos, se combinan ayudas físicas y electrónicas para aumentar su visibilidad.

Cuando la autoridad competente determine que la información sobre un nuevo peligro ha sido suficientemente difundida o que el peligro ha desaparecido, se puede retirar la señal correspondiente de peligros nuevos.

La boya tiene franjas verticales azules y amarillas, con un mínimo de 4 y un máximo de 8 franjas, todas de igual tamaño. Su forma puede ser castillete o espeque. Lleva una cruz amarilla vertical o perpendicular como marca de tope, si tiene. Si tiene luz, esta alterna entre color amarillo y azul. El ritmo de la luz es de 1 segundo de luz azul seguido de 1 segundo de luz amarilla, con una ocultación de 0.5 segundos entre cada cambio de color. [8]

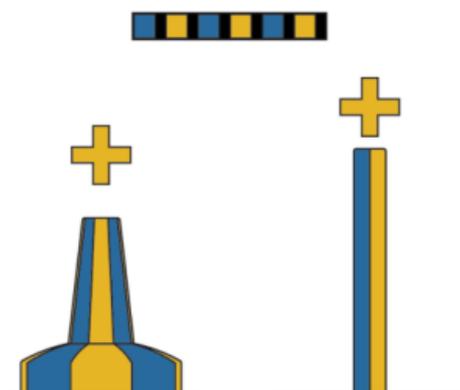


Ilustración 8. Marca de Aguas Navegables. Fuente: IALA R1001

2.8. Otras marcas

2.8.1. Faros son estructuras destacadas estratégicamente ubicadas para emitir señales luminosas cruciales tanto de día como de noche. Durante la noche, proporcionan luz de largo o mediano alcance para la identificación, mientras que durante el día sirven como marcadores visibles. Además de guiar visualmente, los faros pueden integrar sistemas avanzados como racon o AIS. Algunos faros utilizan luces sectoriales para cumplir con las normativas de la IALA y mejorar la especificidad de sus señales.

2.8.2. Enfilaciones consisten en grupos de marcas o luces colocadas en un mismo plano vertical para ayudar a los navegantes a mantener un rumbo preciso siguiendo una ruta definida.

2.8.3. Luces sectoriales son ayudas fijas que emiten luz de diferentes colores y ritmos en arcos designados. Estas luces proporcionan información direccional crucial para navegar en canales, identificar puntos de giro, intersecciones y áreas peligrosas.

2.8.4. Balizas sean luminosas o no, son marcadores fijos reconocibles por su forma, color, patrón de luz o características específicas. Se utilizan para indicar rutas seguras o puntos de referencia en el agua.

2.8.5. Grandes ayudas flotantes como lo pueden ser buques-faro y grandes boyas de navegación, son desplegadas en lugares críticos para marcar accesos desde áreas marítimas con alto tráfico. Estas boyas pueden incluir sistemas adicionales como racon, AIS y VHF para mejorar la seguridad.

2.8.6. Marcas auxiliares son pequeñas ayudas a la navegación que no entran en las categorías anteriores. Ubicadas fuera de los canales definidos, suelen transmitir información sobre seguridad marítima y deben evitar confusiones con otras marcas navegacionales. Se utilizan cuando no hay una marca más adecuada disponible dentro del MBS.



Ilustración 9. Luces Sectoriales. Fuente: IALA R1001

3. Motivos de la elección de la isla de La Palma

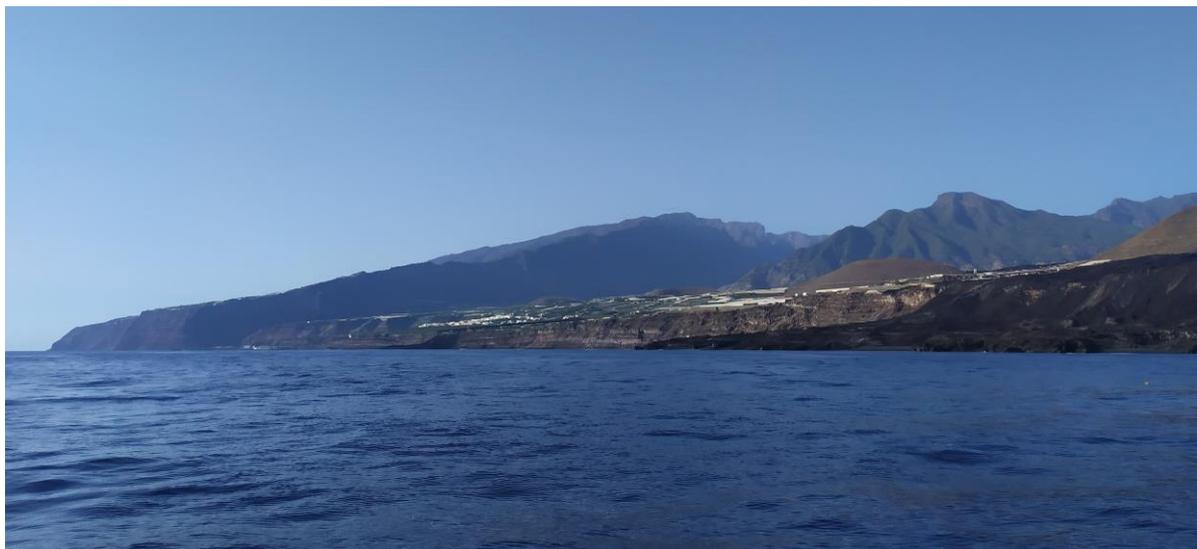


Ilustración 10. Costa W de La Palma desde el mar. Fuente: Elaboración Propia

3.1. Zona de especial importancia

La Palma es una de las islas Canarias, es reconocida como una zona marina especialmente sensible (ZMES). Esto significa que necesita protección especial según las medidas adoptadas por la Organización Marítima Internacional (OMI) debido a su importancia ecológica, socioeconómica y científica, así como su vulnerabilidad a los daños causados por actividades marítimas internacionales. [9]

Según la resolución A.982(24) de la OMI, existen varios criterios por los cuales La Palma es considerada una ZMES:

3.1.1. Criterios Ecológicos Una zona puede ser declarada especial si contiene ecosistemas únicos o raros que no se encuentran en otras partes del mundo.

Esto incluye hábitats de especies amenazadas o en peligro de extinción, como los cetáceos que transitan por las aguas de Canarias.

3.1.2. Criterios Socioeconómicos y Culturales Áreas cuya calidad ambiental y recursos marinos son cruciales para la economía local. Esto incluye actividades como la pesca, el turismo y la recreación.

La Palma destaca en todas estas áreas, y al ser una isla menor, depende especialmente de sus propios recursos. La protección de estas zonas es vital para las comunidades locales.

3.1.3. Dependencia Humana Estas zonas son importantes para la subsistencia tradicional y la producción de alimentos de las comunidades locales, siendo esenciales para el aporte de proteínas en las dietas canarias.

3.1.4. Criterios Científicos e Investigación Zonas de alto interés científico debido a sus características únicas, que ofrecen oportunidades para estudios avanzados y descubrimientos.

Un ejemplo reciente es la erupción volcánica del Tajogaite en La Palma en 2021, que implicó un gran despliegue de medios para la investigación y el estudio de la evolución de los fondos marinos con el avance de las coladas volcánicas.

Para que una zona sea designada como ZMES, debe demostrar que es vulnerable a las actividades marítimas internacionales. En el caso de Canarias, hay evidencia de que estas actividades pueden causar daños significativos, como los accidentes con cetáceos en las islas. [10]

Un posible derrame de petróleo en la zona de Canarias tendría consecuencias catastróficas para la economía local. Afectaría gravemente al turismo y a los recursos naturales que son un pilar fundamental en la dieta canaria y en la economía local.

3.2. Tradición marítima

Desde que América fue descubierta, las Islas Canarias se han vuelto cruciales como puntos de conexión marítima entre Europa, África y América. Este constante flujo de navegantes ha fortalecido la navegación, destacándose su tradición náutica.

Tras el descubrimiento de América, las Islas Canarias se consolidaron como una entrada estratégica al Atlántico que ha perdurado a lo largo de los siglos. A lo largo de este tiempo, el archipiélago ha continuado recibiendo la visita de navegantes que llegan a sus puertos para abastecerse antes de embarcarse en travesías transatlánticas.

Con la popularización de la navegación a vela como actividad recreativa, los puertos de las islas también se han convertido en refugios esenciales para muchas embarcaciones no comerciales. Estos lugares han evolucionado y adaptado sus instalaciones para satisfacer las necesidades de los nuevos navegantes. [11]

Los productos provenientes de América jugaron un papel crucial en el comercio interinsular canario. Desde las islas más prósperas, como lo era Tenerife, estos productos se redistribuyeron hacia las islas periféricas, donde se incluye La Palma, estableciendo intercambios que perduraron a lo largo del Antiguo Régimen.

Estos intercambios contribuyeron en gran medida a explicar los desarrollos desiguales en las Islas Canarias, cuyas repercusiones se extienden hasta la actualidad. [12]

A pesar de todo, durante el siglo XVI, el puerto de Santa Cruz de La Palma era uno de los más importantes del imperio español, utilizado por galeones que transportaban mercancías valiosas como el azúcar, el vino y la seda. La influencia de estas rutas comerciales ha dejado una huella profunda en la cultura de La Palma, evidente en su arquitectura, gastronomía y festividades.

La mezcla de culturas traída por los navegantes se ha visto marcado en el patrimonio cultural de la isla en donde, por ejemplo, existe la tradición de celebraciones locales en referencia al Barco de la Virgen. [14]

3.3. Obligación internacional

En conjunto con los motivos anteriores, la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, en su artículo 192, establece que “*los Estados tienen la obligación de proteger y preservar el medio marino*” [13].

Esto implica que un correcto balizamiento en la isla es esencial para prevenir accidentes que puedan causar daños al medio marino. El balizamiento adecuado actúa como una herramienta de protección adicional y esencial para el entorno marino.

Además de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, existen otras normativas y acuerdos internacionales que refuerzan la necesidad de proteger áreas marinas sensibles en la isla de La Palma, como, por ejemplo, la Red Natura 2000, donde se incluye zonas marinas en Canarias que son esenciales para la conservación de la biodiversidad. [15]

4. Faros de La Palma

4.1. Concepto y funcionalidad

Los faros son elementos fundamentales en la navegación, diseñados para ofrecer orientación y seguridad a los navegantes en aguas costeras y marítimas al iluminar áreas peligrosas, marcar entradas a puertos y señalar rutas seguras a lo largo de costas y aguas interiores. A lo largo de los siglos, han evolucionado desde simples torres de fuego hasta complejos sistemas tecnológicos integrados.

Estas estructuras han evolucionado significativamente para adaptarse a las necesidades cambiantes de la navegación marítima. A medida que la tecnología ha progresado, los faros han incorporado sistemas ópticos sofisticados, automatización, energía renovable y comunicaciones modernas, manteniendo así su relevancia en la actualidad.

En La Palma, la isla cuenta con cuatro faros estratégicamente ubicados para proteger sus costas de posibles peligros. Estas estructuras no solo son funcionales, sino que también reflejan la estética local a través de una variedad de estilos arquitectónicos.

Tradicionalmente, los faros utilizaban lámparas de aceite o velas como fuente de luz. Con el avance tecnológico, se adoptaron lentes y reflectores para concentrar y amplificar la luz, mejorando así la visibilidad a largas distancias. Actualmente los faros modernos están automatizados y operan con sistemas electrónicos que controlan la activación y el patrón de las luces según las condiciones ambientales.

Cada faro tiene un patrón de destellos o una luz continua que lo hace único. Estos patrones, junto con el color y la altura del faro, son parte de su identidad y permiten a los navegantes identificarlo con facilidad aun estando bajos condiciones adversas.

Los faros ayudan a prevenir accidentes al advertir sobre peligros de zonas rocosas y otras obstrucciones. Esto es crucial tanto de día como de noche, cuando las condiciones de visibilidad pueden ser limitadas.

Los faros son puntos de referencia geográficos importantes y símbolos culturales para los marinos y las comunidades locales. Contribuyen a la precisión de los mapas náuticos y añaden un toque de identidad única a cada zona de la isla. El 4 de enero de 1842 se estableció con el propósito de definir y gestionar las ayudas a la navegación en las costas españolas, además de abordar otros aspectos relevantes para la navegación. En la actualidad, tras una completa reforma, su funcionamiento se regula según la Orden Ministerial del 27 de febrero de 1996. [16]

4.2. Faro de Punta Cumplida

Con Número Nacional 12990 y Número Internacional D-2846, lo encontramos situado en las coordenadas latitud $28^{\circ} 50.344'$ N y longitud $017^{\circ} 46.686'$ W, el Faro de Punta Cumplida se distingue por su torre troncocónica de mampostería con un tope blanco.

Emite luz blanca con un patrón D/FI, cada 5 segundos, con característica luminosa de L 0.5 oc 4.5.

La altura de la torre es de 34 metros y el plano focal se eleva a 63 metros sobre el nivel del mar. Su luz puede verse hasta 23 millas náuticas de distancia en la oscuridad.

El proyecto original consta de un edificio compuesto de viviendas y un almacén, en una sola planta de forma cuadrada con un largo de muros de 20m, previsto para el servicio de dos torreros.

El Faro tiene un valor significativo debido a su relevancia histórica, reflejada en el Plan de 1847, su función crucial en la navegación, su arquitectura representativa y autenticidad reflejada en el color de las piedras utilizadas con el aspecto característico de los faros en canarias, así como por la tecnología disponible y su viabilidad para el futuro. Es accesible para visitantes y puede formar parte de una red temática sobre los faros de España. [17]



Ilustración 21. Faro de Punta Cumplida. Fuente: Elaboración Propia

4.3. Faro Punta Fuencaliente

Con Número Nacional 13030 y el Número Internacional D-2850, se encuentra en latitud $28^{\circ} 27.318' N$ y longitud $017^{\circ} 50.587' W$, el Faro Punta Fuencaliente se presenta como una torre cilíndrica blanca con bandas rojas.

Emite luz blanca en GpD(3), grupos de tres destellos, cada 18 segundos, con una característica luminosa de L 1 oc 3 L 1 oc 3 L 1 oc 9.

La altura de la torre es de 24 metros y el plano focal se sitúa a 36 metros sobre el nivel del mar. Tiene un alcance luminoso de 14 millas náuticas.

La zona donde está situado el faro ha experimentado varios eventos sísmicos que han afectado la estructura del edificio, debido a esto existen 2 faros en la zona, uno moderno y el tradicional. El faro antiguo tiene el color de la piedra utilizada es típico de los faros en las Islas Canarias. El faro original de 1898 ha sido restaurado y desde 2006 alberga el Centro de Interpretación de la Reserva Marina de la Isla de La Palma.

El faro tiene un valor significativo debido a su importancia para la navegación y su viabilidad a largo tiempo. También es posible observar la evolución de las dos fases del mismo faro. Es accesible para visitas y puede formar parte de una red temática sobre los faros de España. [17]



Ilustración 12. Faro Punta de Fuencaliente. Fuente: Elaboración Propia

En 1971, durante la erupción del volcán de Teneguía, el antiguo faro fue casi completamente destruido por la lava, que detuvo su avance a tan solo 200 metros de distancia, rodeando por el perímetro de la zona. [19]

4.4. Faro Arenas Blancas

Con Número Nacional 13025 y Número Internacional D-2849.51, se encuentra ubicado en latitud 28° 34.197' N y longitud 017° 45.627' W, el Faro Arenas Blancas es una torre cilíndrica blanca.

Su luz blanca se emite en un patrón GdOc(3), grupos de 3 ocultaciones, cada 8 segundos, con característica luminosa de L 3 oc 1 L 1 oc 1 L 1 oc 1.

La altura de la torre es de 38 metros y el plano focal se encuentra a 46 metros sobre el nivel del mar. Alcanza una visibilidad de 20 millas náuticas por la noche.

El faro fue inaugurado en 1992, sus características visuales lo hacen completamente diferente a los faros tradicionales de Fuencaliente y Punta Cumplida. [20]

La edificación del faro fue parte del Plan de Señales Marítimas 1985/89 del Ministerio de Obras Públicas de España, y su ejecución recayó en el ingeniero Mariano Navas. [21]

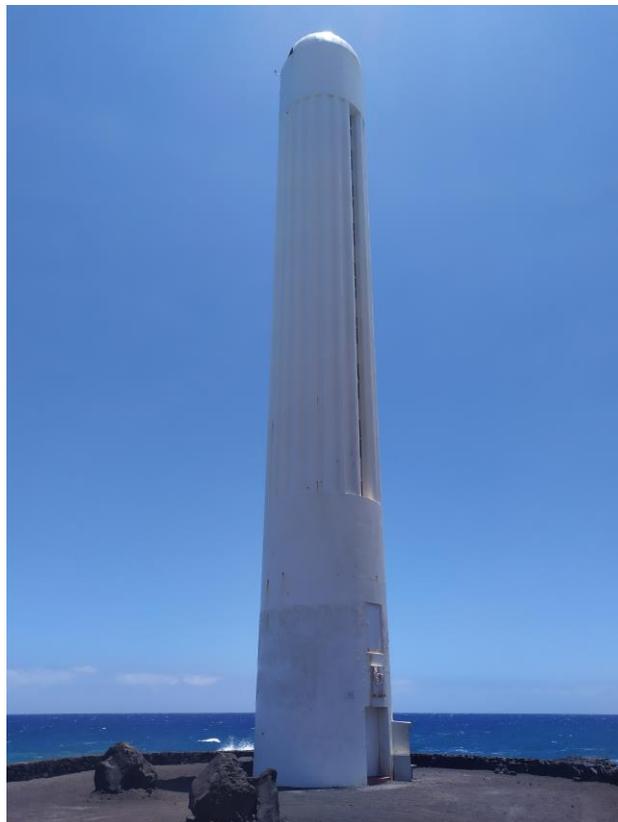


Ilustración 13. Faro de Arenas Blancas. Fuente: *Elaboración Propia*

4.5. Faro Punta Lava

Con Número Nacional 13032 y Número Internacional D-2851, está ubicado en latitud $28^{\circ} 35.800'$ N y longitud $017^{\circ} 55.540'$ W, destaca por su torre blanca de forma octogonal.

Emite luz blanca en un patrón de GpD(1+2), grupos de un destello + dos destellos, cada 20 segundos.

La altura de la torre es de 48 metros y el plano focal se encuentra a 51 metros sobre el nivel del mar. Tiene un alcance nocturno de 20 millas náuticas. Localmente conocido como el Faro de la Bombilla.

En 1988 la Dirección General de Puertos y Costas organizó un concurso abierto a ingenieros de caminos y arquitectos para diseñar nuevos faros. El faro de Punta Lava fue concebido por el arquitecto Enrique Martínez Tercero y el ingeniero de caminos Mariano Navas, quienes habían colaboraron en otros proyectos similares. [22]

Está situado en terrenos que fueron ganados al mar después de la erupción volcánica de San Juan en 1949. La zona está rodeada de plantaciones de plátanos. Está cerca del pueblo pesquero de La Bombilla. [23]



Ilustración 14. Faro de Punta Lava. Fuente: Elaboración Propia

5. Balizamiento Físico en La Palma

5.1. Balizamiento Zona Puerto Santa Cruz de La Palma

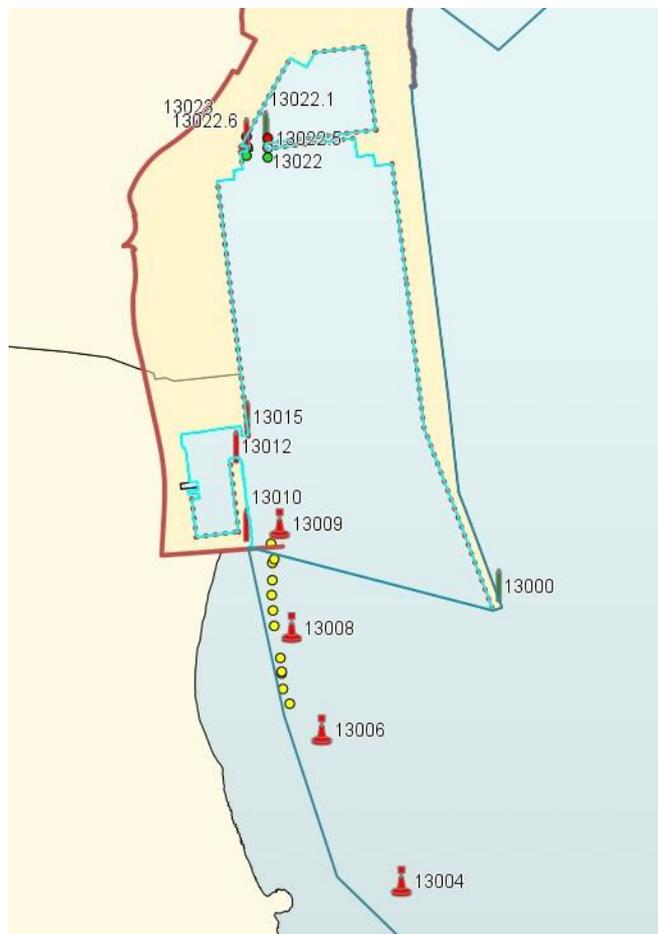


Ilustración 15. Balizamiento Puerto S/C de La Palma. Fuente: GISPORT Autoridad Portuaria

5.1.1. Número Nacional 13000 / Número Internacional D-2848.45 es marca lateral de estribor denominada EXTREMO-DIQUE. Situada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 40.277' N$ y longitud $017^{\circ} 45.838'$. La estructura es una torreta cilíndrica con base y tope troncocónicos de color verde, con una altura de soporte de 5.00 metros y una elevación del plano focal de 17.00 metros. No tiene boya. Tipo de luz baliza que emite luz verde con un ritmo de D/FI cada 5 segundos, con un alcance nocturno de 7.00 millas náuticas.

5.1.2. Número Nacional 13004 es marca lateral de babor denominada BOYA "A". Situada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 40.017' N$ y longitud $017^{\circ} 45.927' W$. La estructura es una boya de espeque roja con una altura de soporte de 3.00 metros y una elevación del plano focal de 3.00 metros. Tipo de luz boya que emite luz roja con un ritmo de D/FI cada 5 segundos y característica de L 1 oc 4, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas. Tiene reflector radar pasivo con alcance de 1 milla náutica.

5.1.3. Número Nacional 13006 es marca lateral de babor denominada BOYA "B". Situada en las coordenadas latitud 28° 40.148' N y longitud 017° 46.009' W. La estructura es una boya de castillete roja con una altura de soporte de 3.00 metros y una elevación del plano focal de 3.00 metros. Tipo de luz boya que emite luz roja con un ritmo de GpD(2) cada 7 segundos y característica de L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 4.5, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas. Tiene reflector radar pasivo con alcance de 1 milla náutica.

5.1.4. Número Nacional 13008 es marca lateral de babor denominada BOYA "C". Situada en las coordenadas latitud 28° 40.237' N y longitud 017° 46.041' W. La estructura es una boya de espeque roja con una altura de soporte de 3.00 metros y una elevación del plano focal de 3.00 metros. Tipo de luz boya que emite luz roja con un ritmo de GpD(3) cada 9 segundos y característica de L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 4.5, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas. Tiene reflector radar pasivo con alcance de 1 milla náutica.

5.1.5. Número Nacional 13009 es marca lateral de babor denominada BOYA "D". Situada en las coordenadas latitud 28° 40.328' N y longitud 017° 46.055' W. La estructura es una boya de espeque roja con una altura de soporte de 2.00 metros y una elevación del plano focal de 1.00 metro. Tipo de luz boya que emite luz roja con un ritmo de GpD(4) cada 11 segundos y característica de L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 4.5, con un alcance nocturno de 1.00 milla náutica. Tiene reflector radar pasivo con alcance de 0.50 millas náuticas.

5.1.6. Número Nacional 13010 / Número Internacional D-2848.4 es una marca especial denominada ANGULO - DIQUE - DARSENA PESCA. Situada en las coordenadas latitud 28° 40.325' N y longitud 017° 46.088' W. La estructura es una base troncocónica amarilla sin marca de tope, con una altura de soporte de 9.00 metros y una elevación del plano focal de 9.00 metros. Tipo de luz baliza que emite luz amarilla con un ritmo de D/FI cada 3 segundos y característica de L 0.5 oc 2.5, con un alcance nocturno de 1.00 milla náutica.



Ilustración 16. Marca Número Nacional 13000. Fuente: Elaboración Propia

5.1.7. Número Nacional 13012 / Número Internacional D-2848.5 es una marca lateral de babor denominada EXTREMO- DIQUE - DARSENA PESCA. Situada en las coordenadas latitud 28° 40.393' N y longitud 017° 46.100' W. La estructura es un poste rojo sobre base troncopiramidal, con una altura de soporte de 4.00 metros y una elevación del plano focal de 9.00 metros. Tipo de luz baliza que emite luz roja con un ritmo de D/FI cada 5 segundos y característica de L 0.5 oc 4.5, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas.

5.1.8. Número Nacional 13015 / Número Internacional D-2849 es una marca lateral de canal principal a estribor denominada EXTREMO - MUELLE POLIVALENTE. Situada en las coordenadas latitud 28° 40.419' N y longitud 017° 46.090' W. La estructura es una torreta troncopiramidal roja con banda verde, con una altura de soporte de 4.00 metros y una elevación del plano focal de 9.00 metros. Tipo de luz baliza que emite luz roja con un ritmo de GpD(2+1) cada 21 segundos y característica de L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 4.5 L 0.5 oc 13.5, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas.

5.1.9. Número Nacional 13022 / Número Internacional D-2849.3 es una marca lateral de estribor denominada EXTREMO EXTERIOR – BOCANA – DIQUE - MARINA DEPORTIVA. Situada en las coordenadas latitud 28° 40.669' N y longitud 017° 46.078' W. La estructura es una torreta piramidal verde, con una altura de soporte de 5.00 metros y una elevación del plano focal de 5.00 metros. Tipo de luz baliza que emite luz verde con un ritmo de GpD(2) cada 7 segundos y característica de L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 4.5, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas. Está sincronizada con la señal 13022.1.

5.1.10. Número Nacional 13022.1 / Número Internacional D-2849.32 es una marca lateral de estribor denominada EXTREMO INTERIOR – BOCANA – DIQUE - MARINA DEPORTIVA. Situada en las coordenadas latitud 28° 40.674' N y longitud 017° 46.078' W. La estructura es una torreta troncopiramidal verde, con una altura de soporte de 3.00 metros y una elevación del plano focal de 5.00 metros. Tipo de luz baliza que emite luz verde con un ritmo de GpD(2) cada 7 segundos y característica de L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 4.5, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas. Está sincronizada con la señal 13022.

5.1.11. Número Nacional 13022.5 / Número Internacional D-2849.34 es un semáforo denominado SEMÁFORO ENTRADA – BOCANA – COMPUERTA - MARINA DEPORTIVA. Está ubicado en las coordenadas latitud 28° 40.670' N y longitud 017° 46.076' W. La estructura es un semáforo sobre compuerta, con una elevación del plano focal de 8.00 metros. Emite luz de colores Rojo-Blanco-Verde para indicar diferentes estados de navegación de día. Tiene un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas.

5.1.12. Número Nacional 13022.6 / Número Internacional D-2849.33 es un semáforo denominado SEMÁFORO SALIDA – BOCANA – COMPUERTA - MARINA DEPORTIVA. Está ubicado en las coordenadas latitud $28^{\circ} 40.671' N$ y longitud $017^{\circ} 46.097' W$. La estructura es un semáforo sobre compuerta, con una elevación del plano focal de 8.00 metros. Emite luz de colores Rojo-Blanco-Verde para indicar diferentes estados de navegación de día. Tiene un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas.

5.1.13. Número Nacional 13023 es una marca lateral de babor denominada BOCANA - A BABOR - MARINA DEPORTIVA. Está ubicada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 40.667' N$ y longitud $017^{\circ} 46.097' W$. La estructura es una torreta piramidal roja, con una altura de soporte de 5.00 metros y una elevación del plano focal de 5.00 metros. Tipo de luz baliza que emite luz roja con un ritmo de GpD(2) cada 7 segundos y característica de L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 4.5, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas.

5.2. Balizamiento Puerto Espíndola

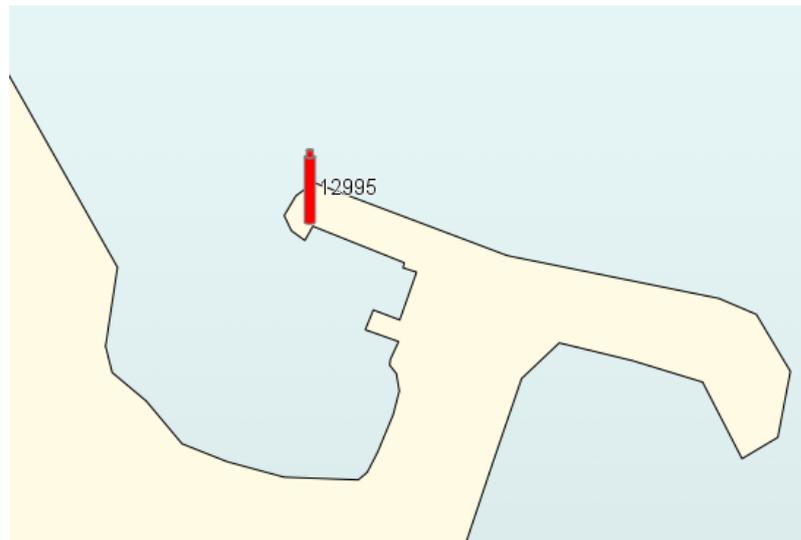


Ilustración 17. Balizamiento Puerto Espíndola. Fuente: GISPORT Autoridad Portuaria

5.2.1. Número Nacional 12995 / Número Internacional D-2847 es una marca lateral de babor denominada DIQUE DE ABRIGO - EXTREMO. Está ubicada en las coordenadas $28^{\circ} 48.712' N$ de latitud y $017^{\circ} 45.862' W$ de longitud. La estructura consiste en una columna cilíndrica roja, con una altura de soporte de 2.00 metros y una elevación del plano focal de 8.00 metros. El tipo de luz es baliza de luz roja con un ritmo de GpD(3) cada 9 segundos y característica de L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 4.5, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas.

5.3. Balizamiento Zona Puerto Tzacorte

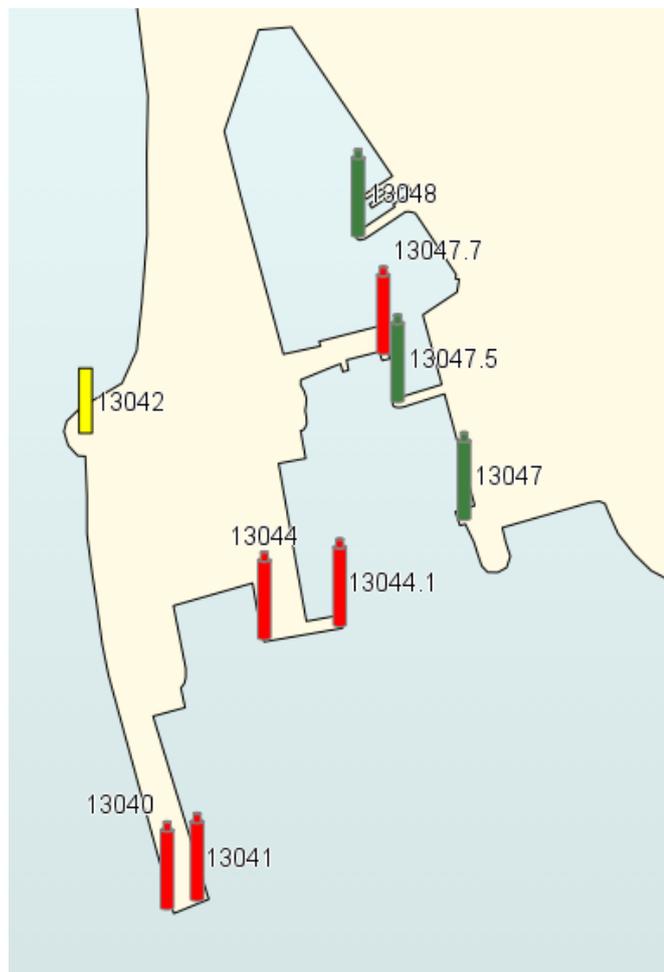


Ilustración 18. Balizamiento Puerto Tzacorte. Fuente: GISPORT Autoridad Portuaria

5.3.1. Número Nacional 13040 / Número Internacional D-2852 es una marca lateral de babor denominada EXTREMO OESTE - DIQUE DE ABRIGO. Está ubicada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 38.310' N$ y longitud $017^{\circ} 56.687' W$. La estructura es una torreta troncocónica roja, con una altura de soporte de 4.00 metros y una elevación del plano focal de 19.00 metros. Emite luz roja con un ritmo de GpD(2) cada 7 segundos, con un alcance nocturno de 5.00 millas náuticas. Esta marca está sincronizada con las señales 13041 y 13044.1.

5.3.2. Número Nacional 13041 / Número Internacional D-2851.8 es una marca lateral de babor denominada EXTREMO OESTE - DIQUE DE ABRIGO. Se encuentra en las coordenadas latitud $28^{\circ} 38.312' N$ y longitud $017^{\circ} 56.670' W$. La estructura es una torreta troncocónica roja, con una altura de soporte de 6.00 metros y una elevación del plano focal de 6.00 metros. Emite luz roja con un ritmo de GpD(2) cada 7 segundos y característica de L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 4.5, con un alcance nocturno de 5.00 millas náuticas. Esta marca está sincronizada con las señales 13040 y 13044.

5.3.3. Número Nacional 13042 / Número Internacional D-2853 es una marca cardinal oeste denominada ANGULO - DIQUE DE ABRIGO. Está ubicada en las coordenadas latitud 28° 38.565' N y longitud 017° 56.747' W. La estructura es un poste cardinal oeste con una altura de soporte de 7.00 metros y una elevación del plano focal de 1.00 metro. Emite luz blanca con un ritmo de GpCt(9) cada 15 segundos, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas.

5.3.4. Número Nacional 13044 / Número Internacional D-2852.4 es una marca especial denominada EXTREMO OESTE - DIQUE INTERIOR. Está ubicada en las coordenadas latitud 28° 38.455' N y longitud 017° 56.633' W. La estructura es un soporte amarillo con marca de tope a una altura de soporte de 3.00 metros y una elevación del plano focal de 1.00 metro. Emite luz amarilla con un ritmo de D/Fl cada 5 segundos y característica de L 0.5 oc 4.5, con un alcance nocturno de 1.00 milla náutica.

5.3.5. Número Nacional 13044.1 / Número Internacional D-2852.3 es una marca lateral de canal principal a estribor denominada EXTREMO ESTE - DIQUE INTERIOR. Está ubicada en las coordenadas latitud 28° 38.463' N y longitud 017° 56.588' W. La estructura es una torreta troncopiramidal roja, con una altura de soporte de 3.00 metros y una elevación del plano focal de 1.00 metro. Emite luz roja con un ritmo de GpD(2+1) cada 12 segundos y característica de L 0.5 oc 0.5 L 0.5 oc 2.5 L 0.5 oc 7.5, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas.



Ilustración 19. Marca Número Nacional 13044.1. Fuente: Elaboración Propia

5.3.6. Número Nacional 13047 / Número Internacional D-2855 es una marca lateral de estribor denominada BOCANA A ESTRIBOR - MUELLE DE RIBERA. Está ubicada en las coordenadas latitud 28° 38.522' N y longitud 017° 56.515' W. La estructura es una torreta troncopiramidal verde, con una altura de soporte de 3.00 metros y una elevación del plano focal de 7.00 metros. Emite luz verde con un ritmo de GpD(2) cada 9 segundos, con un alcance nocturno de 1.00 milla náutica.

5.3.7. Número Nacional 13047.5 / Número Internacional D-2855.5 es una marca lateral de estribor denominada ESPIGON EXTREMO - MUELLE DE RIBERA. Está ubicada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 38.586'$ N y longitud $017^{\circ} 56.556'$ W. La estructura es un poste verde con una altura de soporte de 2.15 metros y una elevación del plano focal de 5.00 metros. Emite luz verde con un ritmo de GpD(3) cada 9 segundos y característica de L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 4.5, con un alcance nocturno de 1.00 milla náutica.

5.3.8. Número Nacional 13047.7 es una marca lateral de babor denominada EXTREMO DEL MUELLE DE COMBUSTIBLE. Está ubicada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 38.611'$ N y longitud $017^{\circ} 56.563'$ W. La estructura es un poste rojo con una altura de soporte de 5.00 metros y una elevación del plano focal de 7.00 metros. Emite luz roja con un ritmo de GpD(4) cada 11 segundos y característica de L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 1.5 L 0.5 oc 4.5, con un alcance nocturno de 1.00 milla náutica.

5.3.9. Número Nacional 13048 / Número Internacional D-2855.7 es marca lateral de estribor denominada EXTREMO DEL ESPIGÓN - DÁRSENA INTERIOR. Situada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 38.677'$ N y longitud $017^{\circ} 56.581'$ W. La estructura es un poste cilíndrico verde con una altura de soporte de 2.00 metros y una elevación del plano focal de 5.00 metros. Tipo de luz baliza que emite luz verde con un ritmo de D/FI cada 5 segundos y característica de L 0,5 oc 4,5, con un alcance nocturno de 1.00 milla náutica.

5.3.10. Número Nacional 13049 / Número Internacional D-2856 es marca cardinal oeste denominada EXTREMO - DIQUE DE ABRIGO. Situada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 39.037'$ N y longitud $017^{\circ} 56.937'$ W. La estructura es un poste cardinal oeste. Tipo de luz baliza que emite luz blanca con un ritmo de GpCt(9) cada 15 segundos y característica de (L 0.5 oc 0.5) 8 veces L 0.5 oc 6.5, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas.

5.4. Balizamiento Playa de Santa Cruz

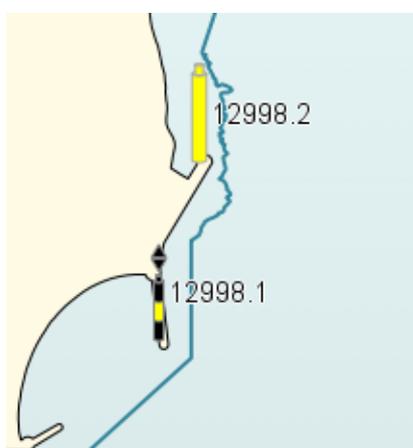


Ilustración 20. Balizamiento Playa de S/C de La Palma. Fuente: GISPORT Autoridad Portuaria

5.4.1. Número Nacional 12998.1 / Número Internacional D-2847.5 es una marca cardinal este denominada EXTREMO SUR - DIQUE NORTE. Está ubicada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 41.049' N$ y longitud $017^{\circ} 45.574' W$. La estructura es una columna cilíndrica cardinal este, con una altura de soporte de 4.00 metros y una elevación del plano focal de 8.00 metros. Emite luz blanca con un ritmo de GpRp(3) cada 3.00 segundos, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas.

5.4.2. Número Nacional 12998.2 / Número Internacional D-2847.3 es una marca especial denominada EXTREMO NORTE - DIQUE NORTE. Está ubicada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 41.257' N$ y longitud $017^{\circ} 45.527' W$. La estructura es un espeque amarillo, con una altura de soporte de 4.00 metros y una elevación del plano focal de 8.00 metros. Emite luz amarilla con un ritmo de D/FI cada 5.00 segundos y característica L 0.5 oc 4.5, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas.

5.5. Balizamiento Zona Cultivos Marinos

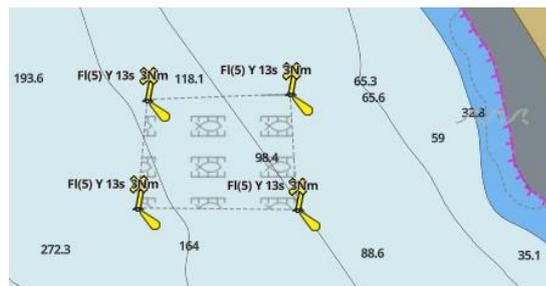


Ilustración 21. Balizamiento Cultivos Marinos. Fuente: <https://fishing-app.gpsnauticalcharts.com/i-boating-fishing-web-app/fishing-marine-charts-navigation.html#14.03/28.6603/-17.9853>

Las 4 boyas sincronizadas señalizan el perímetro de la instalación. La estructura de todas consiste en una boya de espeque amarilla con marca de tope. El tipo de luz de boya que emite es luz amarilla con un ritmo de GpD(5) cada 13 segundos y característica de (L 0.5 oc 1.5) 4 veces L 0.5 oc 4.5, con un alcance nocturno de 3.00 millas náuticas. Disponen de reflector radar.

5.5.1. Número Nacional 13054.2 es marca especial denominada BOYA SW, ubicada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 39.419' N$ y longitud $017^{\circ} 58.121' W$.

5.5.2. Número Nacional 13054.3 es una marca especial denominada BOYA NW, situada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 39.617' N$ y longitud $017^{\circ} 58.101' W$.

5.5.3. Número Nacional 13054.4 es una marca especial denominada BOYA NE, ubicada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 39.627' N$ y longitud $017^{\circ} 57.805' W$.

5.5.4. Número Nacional 13054.5 es una marca especial denominada BOYA SE, situada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 39.416' N$ y longitud $017^{\circ} 57.791' W$.

6. Propuestas Balizamiento Norte de La Palma

6.1. Zona actualmente no utilizada

Aunque la zona norte de la isla de La Palma es muy poco transitada, supone el punto más cercano vía marítima en una conexión de los existentes puertos de Tazacorte y el puerto Espíndola, en San Andrés y Sauces.

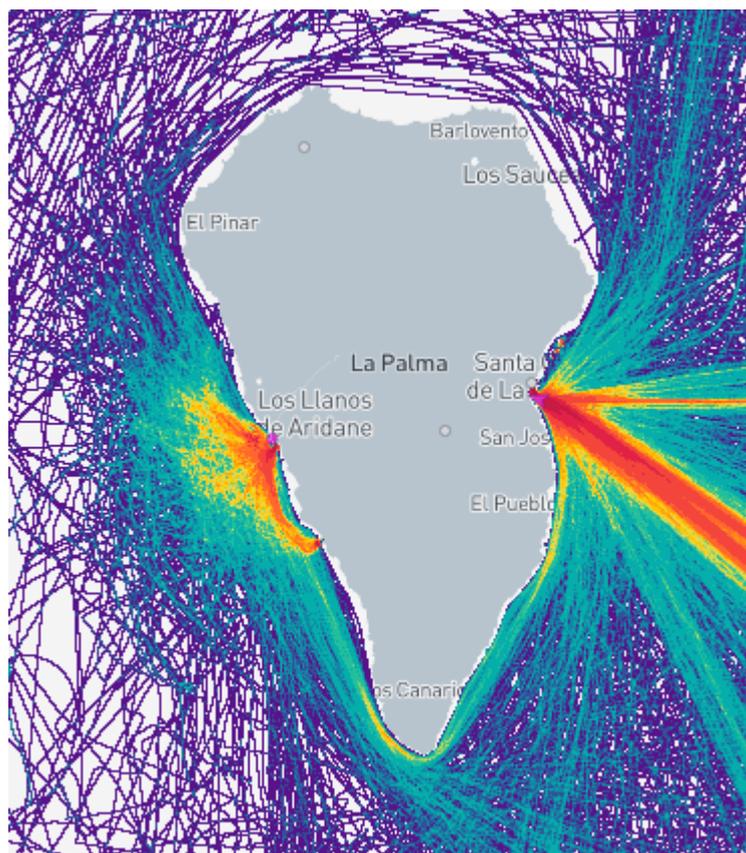


Ilustración 22. Mapa densidad tráfico en La Palma. Fuente: <https://www.marinetraffic.com>

Las plantaciones de plataneras más relevantes, donde el cultivo sigue siendo crucial para la economía local, están localizadas en San Andrés y Sauces, así como en Los Llanos de Aridane, en la isla de La Palma. [26]

Las plantaciones de plataneras más importantes, vitales para la economía local, se encuentran en San Andrés y Sauces, así como en Los Llanos de Aridane. Desde Los Llanos de Aridane, el puerto más cercano es el de Tazacorte, pero actualmente el transporte de plátanos implica largos trayectos en camión desde la zona oeste hasta el este de la isla, donde está el Puerto de Santa Cruz de La Palma, desde donde se exportan los productos.

Comparando los medios de transporte, los buques emiten significativamente menos CO₂ por tonelada transportada que los camiones, debido a su mayor eficiencia energética y capacidad de carga. Los buques están diseñados para minimizar el consumo de combustible en el agua, aprovechando economías de escala y reduciendo la resistencia.

En el transporte marítimo costero, se registra un consumo de energía de 1.4 kWh por tonelada-kilómetro, con emisiones de CO₂ correspondientes de 30.9 gramos por tonelada-kilómetro frente a los 490.2 gramos por tonelada-kilómetro de los camiones. [27]

Los valores anteriores pueden verse reducidos con prácticas más sostenibles como la utilización de combustibles más ligeros, pudiendo ser este todavía menos perjudicial en cuanto a la contaminación.

Además, los buques pueden transportar mucha más carga que los camiones, lo que distribuye las emisiones de CO₂ entre más mercancías transportadas y reduce las emisiones por tonelada-kilómetro.

El transporte marítimo es especialmente recomendable para transportar carga voluminosa como lo pueden ser los plátanos, que, debido a la naturaleza de estos, para evitar aplastamientos entre las manos de plátanos y acabar chafados, deben de reservarse un espacio adicional para su transporte. [28]

Estos factores destacan el enorme potencial de una conexión marítima entre los puertos de Tazacorte, Espíndola y Santa Cruz de La Palma. Sin embargo, esta potencialidad se ve perjudica actualmente por la falta de balizamiento en la zona.

6.2. Balizamiento de bajas no señalizadas

Para acortar la distancia entre el puerto de Tazacorte y el de Espíndola, la ruta más directa conlleva navegar cerca de la costa. Sin embargo, a lo largo de esta ruta existen tres bajas no señalizadas que podrían representar un peligro para navegantes sin conocimiento detallado de la zona.

6.2.1. Zona de peligro potencial N°1

Situada en las coordenadas latitud 28° 45' 10,96" N y longitud 18° 00' 23,54" O [29], esta baja cuando aumenta la marea en gran medida puede quedar sumergida, distinguible por las rompientes que se provocan a su alrededor, puede darse el caso en el que queda completamente oculta.

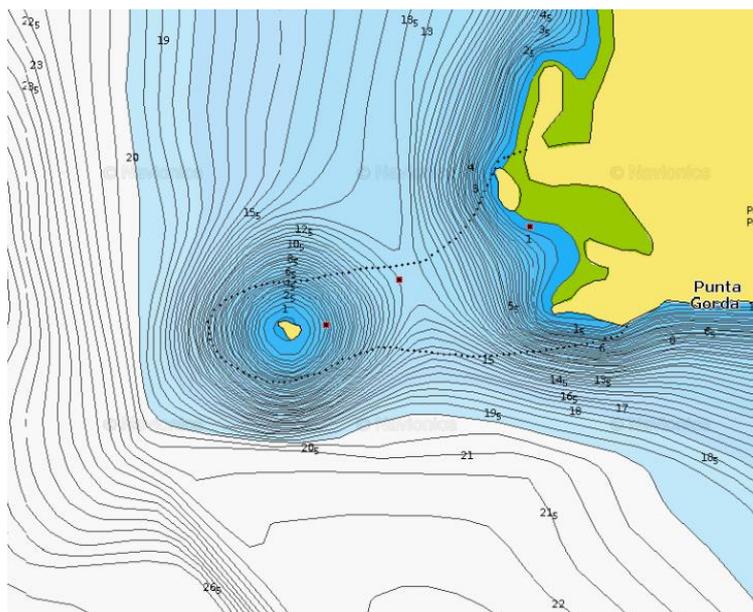


Ilustración 23. Zona de peligro potencial N°1. Fuente: <https://webapp.navionics.com>

6.2.2. Zona de peligro potencial N°2

Situada en las coordenadas latitud $28^{\circ} 47' 48,66''$ N y longitud $17^{\circ} 59' 45,32''$ O [29], esta baja se encuentra sumergida constantemente. El peligro de esta baja radica en el momentos en los que la marea siendo especialmente baja pueda dejar esta baja a muy poca profundidad de la superficie.

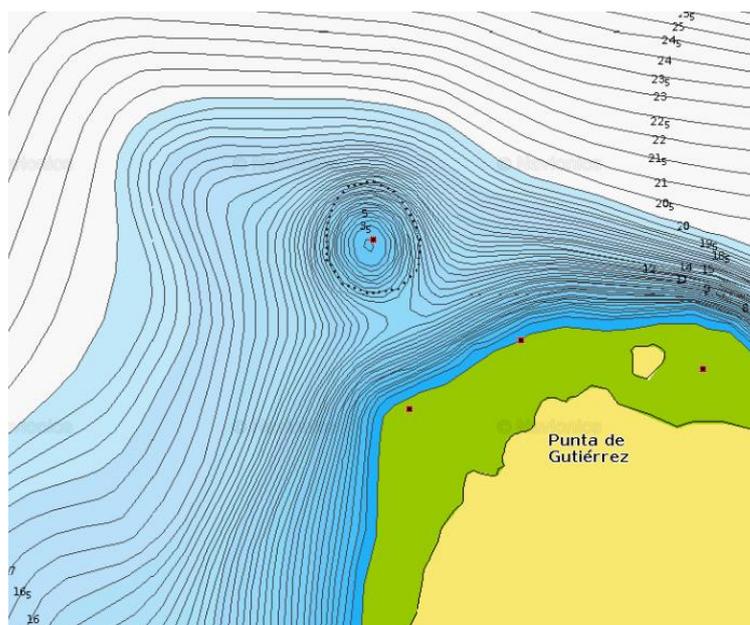


Ilustración 24. Zona de peligro potencial N°2. Fuente: <https://webapp.navionics.com>

6.2.3. Zona de peligro potencial N°3

Situada en las coordenadas latitud 28° 50' 19,16" N y longitud 17° 49' 43,72" O [29], al igual que en el caso del peligro potencial N°1, aquí encontramos dos bajas que, en situaciones con gran amplitud de mareas, esta queda sumergidas. Esta situación es todavía más probable a surgir que la N°1, debido a que por la forma de estas bajas y su altura son ocultas con mayor facilidad.

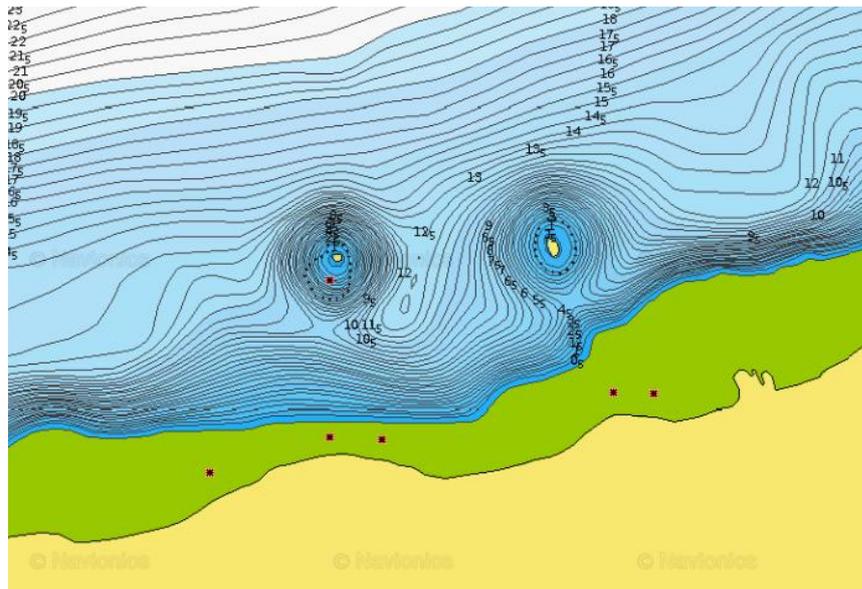


Ilustración 25. Zona de peligro potencial N°3. Fuente: <https://webapp.navionics.com>

6.3. Propuesta tipo de balizamiento ideal para cada caso

6.3.1. Balizamiento para las zonas de peligro potencial

Las bajas anteriormente mencionadas representan un peligro significativo, por lo que su señalización es crucial para evitar accidentes. En lugar de utilizar una marca de peligro aislado, ya que esta marca se coloca sobre o cerca de un peligro que tiene agua navegable a su alrededor, siendo en esta situación un peligro instar al navegante a bordear el peligro pasando entre la baja y la costa, se recomienda emplear marcas cardinales.

Zona de Peligro Potencial N°1: Esta baja se encuentra en el extremo occidental de la isla de La Palma. Aquí, una marca cardinal Oeste sería ideal, ya que no solo señalaría la baja, sino que también facilitaría la navegación nocturna.

Zonas de Peligro Potencial N°2 y N°3: En estas áreas, las bajas están situadas con aguas navegables a su norte. Por lo tanto, la señalización más adecuada sería con marcas cardinales Norte.

6.3.2. Balizamiento para navegación nocturna

La navegación nocturna presenta riesgos adicionales comparados con la navegación diurna. Si bien durante el día las bajas son el peligro oculto, por la noche, toda la costa se convierte en un riesgo potencial.

Para una navegación nocturna segura, se debe evitar aproximarse demasiado a la costa. Es preferible una ruta más larga y segura que minimice el riesgo de accidentes. La señalización del perímetro costero por tanto es esencial.

En esta situación, donde se debe evitar la costa se requiere el uso de recursos adicionales. Sin embargo, se puede optimizar el número de marcas combinándolas con las utilizadas para las bajas no señalizadas, aprovechando que ya se ha señalado un punto clave en el extremo occidental de la isla.

Además de más marcas cardinales, sería recomendable emplear marcas especiales para indicar rumbos de noroeste (NW) o noreste (NE) y mejorar la visibilidad de la costa si se sincronizan adecuadamente.

Es un factor adicional tener en cuenta la baja densidad poblacional de la isla en su parte norte y su escarpada orografía [30], pues esto no crea el efecto de contaminación lumínica urbano que se produce en las cercanías de costas a núcleos poblacionales mayores, los cuales permiten diferenciar la forma de la costa a mayor distancia y con mayor facilidad, reduciendo la cantidad de recursos necesarios.



Ilustración 26. Efecto contaminación lumínica en la costa de La Palma. Fuente: Elaboración Propia

7. Balizamiento Multifunción

7.1. Problema de datos en La Palma

La Palma al ser una isla menor, sus recursos limitan la disponibilidad de tener un amplio acceso a estaciones de recogida de muestras meteorológicas, quedando limitado a muy pocos lugares en toda la isla.

En los modelos de predicción meteorológica, la base de datos sobre el clima actual sigue siendo crucial, tan fundamental que, si una de las fuentes de información falla, las predicciones empeoran. [31]

La instalación de estaciones adicionales para la recogida de datos meteorológicos proporciona una serie de ventajas significativas que impactan positivamente en la precisión y cobertura de los datos recogidos.

Una mayor cantidad de estaciones permite obtener una cobertura geográfica más amplia y detallada, lo que es crucial en regiones con topografía variada como La Palma donde las condiciones meteorológicas pueden cambiar drásticamente en distancias cortas. [32]

Esta ampliación en la recolección de datos es esencial para mejorar la exactitud de los modelos climáticos y de pronóstico, ya que un mayor volumen de información conduce a simulaciones más precisas y a una capacidad aumentada para prever fenómenos meteorológicos con mayor exactitud.

Las estaciones adicionales también incrementan la capacidad de detectar fenómenos meteorológicos extremos en fases tempranas, lo cual es vital para la preparación y mitigación de accidentes ocurridos por la imprecisión de datos. [33]

Esto se traduce en una mejor respuesta ante tormentas, inundaciones, sequías y otros eventos climáticos adversos. Además, el monitoreo más detallado de las condiciones meteorológicas locales y regionales resulta fundamental para la navegación, donde las condiciones del clima pueden influir directamente en las operaciones y la toma de decisiones.

No solo son importantes sensores meteorológicos, sensores sísmicos son de vital en las Islas Canarias donde la importancia para tener un mejor entendimiento de futuras erupciones es imprescindible.

“Se conoce por los datos batimétricos que la isla se extiende bajo el mar hacia el Sur, con volcanes posteriores al Teneguía. El estudio de los materiales geológicos y la geomorfología que componen la plataforma submarina de La Palma ha desvelado que se han producido erupciones volcánicas posteriores a la de 1971” [34]

La falta de sensores y datos de muestra son un problema al que se enfrenta la isla, afectando en un pasado y pudiendo crear situaciones de peligro en un futuro si no se actualizan los sistemas de recogida de datos.

7.2. Combinación de AtoN con estaciones de recogida de datos

Debido a que La Palma se enfrenta tanto a una escasez de sistemas de balizamiento como de datos para predicciones de posibles desastres naturales, una manera óptima de solventar ambos problemas sería dotando las boyas con sensores.

Las boyas oceanográficas son ampliamente utilizadas a nivel mundial, proporcionando datos cruciales para predicciones inmediatas y estratégicas a largo plazo. [35]

Para implementar un sistema efectivo de recolección y transmisión de datos, es esencial establecer instalaciones adecuadas, que podrían adaptarse como una AtoN. Ambas instalaciones requieren condiciones similares, como alimentación eléctrica independiente y sistemas de flotación robustos, para garantizar su funcionalidad continua.

La integración de boyas con sensores no solo fortalecería la capacidad de La Palma para prever y responder a eventos climáticos extremos, sino que también mejoraría el sistema de balizamiento, fundamental para la seguridad marítima y la navegación segura en la isla.



Ilustración 27. Boya oceanográfica. Fuente: <https://atonaustralia.com>

8. Mantenimiento del balizamiento

El mantenimiento adecuado de los equipos y sistemas de Ayudas a la Navegación (AtoN) es fundamental para garantizar que operen de manera óptima y segura en el marco de la navegación marítima.

Implementar estrategias efectivas de mantenimiento no solo asegura su funcionamiento continuo, sino que también contribuye significativamente a la seguridad y eficiencia del tráfico marítimo, evitando incidencias por falta de información.

Un aspecto crucial del mantenimiento es la consideración del rendimiento requerido según la importancia y ubicación de cada AtoN. Por ejemplo, las boyas que marcan la entrada a puertos de alta actividad deben mantenerse con prioridad sobre aquellas ubicadas en aguas navegables menos importantes, asegurando que los puntos de referencia cruciales para la navegación se mantengan operativos en todo momento.

Las autoridades responsables del mantenimiento de AtoN pueden beneficiarse significativamente al adoptar principios que reduzcan el costo total de propiedad. Es fundamental integrar consideraciones logísticas y de mantenimiento desde las etapas iniciales del diseño de los equipos. [6]

La planificación adecuada del mantenimiento durante la fase de diseño puede extender la vida útil de los dispositivos y reducir los gastos operativos a lo largo del tiempo. Además, en casos estratégicos, sustituir AtoN flotantes por estructuras fijas a tierra puede resultar beneficioso a largo plazo, mejorando la estabilidad y la durabilidad de los dispositivos. [2M]

Existen dos enfoques principales para llevar a cabo el mantenimiento: mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo. El mantenimiento correctivo se encarga de restaurar las funciones de un componente tras una falla o cuando su rendimiento no cumple con los estándares establecidos. Por otro lado, el mantenimiento preventivo puede realizarse de manera programada o basándose en criterios de estado para reducir la posibilidad de fallos o deterioro, asegurando así el funcionamiento continuo del componente y la detección temprana de posibles fallas. [37]

Para mejorar la eficiencia operativa y económica, se han implementado diversas estrategias, como la automatización de los sistemas de AtoN. La automatización no solo disminuye la dependencia del personal en el sitio, sino que también reduce los costos asociados con el mantenimiento regular, el consumo de energía y la necesidad de infraestructura de soporte, como viviendas para el personal y almacenamiento de suministros.

Esta automatización no solo aumenta la disponibilidad de los dispositivos, sino que también permite una respuesta más rápida ante posibles fallas, garantizando una navegación continua y segura.

Además, el uso de materiales avanzados de construcción, como plásticos reforzados con fibra de vidrio y acero inoxidable, ha demostrado ser crucial para minimizar los requisitos de mantenimiento. Estos materiales no solo reducen el desgaste estructural, sino que también maximizan el tiempo de funcionamiento de los equipos en el sitio, optimizando así los recursos y reduciendo los costos a largo plazo.

La monitorización constante de los sistemas de AtoN juega un papel vital en la detección temprana de fallos potenciales. Esto permite intervenciones preventivas que evitan interrupciones costosas y garantizan una operatividad continua, es por ello por lo que la capacidad de realizar reinicios remotos también es una herramienta invaluable, ya que puede resolver problemas sin la necesidad de una visita física al sitio, reduciendo aún más los costos operativos y mejorando la eficiencia general del mantenimiento. [6]

El proceso de renovación de boyas incluye varias etapas importantes. Primero, se usa agua a alta presión para limpiarlas del crecimiento marino. Luego, se desmontan y se reparan si es necesario. Se inspecciona el interior de las boyas y se prueban con aire y presión seguros. Todos los materiales metálicos se limpian con chorro de arena. Se pintan con un sistema avanzado y se instalan paquetes solares. Se completa el proceso con la instalación de telemetría completa y cualquier ayuda adicional a la navegación necesaria. Finalmente, se realiza un informe de condición, estimación, inspección final y puesta en servicio de la boya renovada. [39]



Ilustración 28. Limpieza de una boya desde buque. Fuente: <https://www.trinityhouse.co.uk/commercial-services/our-services/buoy-services/buoy-maintenance>

9. Balizamiento de posibles futuros parques eólicos marinos

9.1. Futuro eólico marino en La Palma

El futuro de la generación de electricidad en la isla de La Palma, al igual que el resto de las islas, está centrado en una transición hacia energías renovables, por lo que requerirá de una gran inversión en infraestructura.

Una de las principales fuentes de generación de electricidad de forma renovable es mediante la producción por energía eólica marina. La energía eólica marina utiliza aerogeneradores instalados en el mar para aprovechar los fuertes y constantes vientos que soplan en estas áreas.

Este tipo de generación de electricidad es particularmente eficiente y tiene un gran potencial para satisfacer la demanda energética de manera sostenible, pues los vientos en el mar suelen ser más fuertes y constantes que en tierra firme, lo que permite una producción de energía más predecible y eficiente.

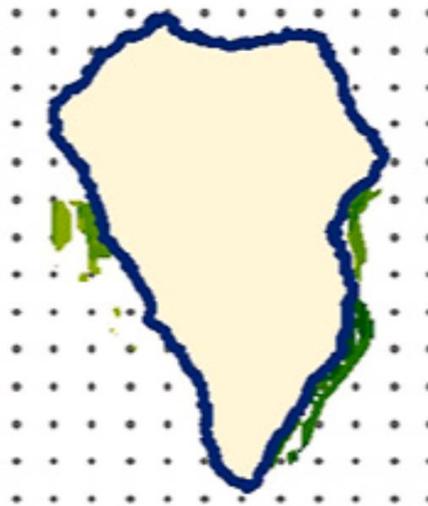


Ilustración 29. Mapa áreas ideales para eólica marina. Fuente: https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S136403212100407X-gr5_lrg.jpg

La Consejería de Transición Ecológica y Energía formaron la Mesa de Energía Renovable de Canarias y la Mesa de la Eólica Marina, con el objetivo de promover el desarrollo socioeconómico de Canarias y proteger el medio ambiente, dando un paso más al acercamiento a futuros parques eólicos marinos en La Palma. [41]

La Ley de Cambio Climático y Transición Energética define metas específicas para los años 2030 y 2050. Estas metas incluyen alcanzar una producción significativa de energías renovables y lograr un sistema eléctrico 100% renovable. [42]

9.2. Mercado de los parques eólicos marinos

En cada punto extremo del perímetro del parque eólico, nos encontramos con las SPS, conocidas como Significant Peripheral Structure en inglés. Estas estructuras pueden ser las esquinas del parque o cualquier otro punto crucial dentro de su diseño.

Cada una de estas SPS está equipada con luces visibles que tienen un alcance mínimo de 5 millas náuticas en todas las direcciones sobre el plano horizontal.

Además, todas las SPS deben estar sincronizadas entre sí para emitir destellos de luz, que serán de color amarillo. Esta sincronización garantiza una señalización uniforme y claramente identificable para todos los usuarios del área marítima cercana al parque eólico [43]

La autoridad competente también podría considerar marcar una ruta a través de un parque eólico, teniendo los AtoN de ellas luces adicionales, a medida que aumenta el espacio entre los aerogeneradores individuales.

Debido a la naturaleza de estas instalaciones, es necesario realizar inspecciones y mantenimientos, debiendo utilizarse luces de trabajo para las escaleras y plataformas de acceso, pero una vez se deje de trabajar en ello, deben apagarse para no ser confundidas como otras posibles luces de un AtoN.

Idealmente, las luces están ubicadas a una altura no menor de seis metros y no mayor de 30 metros sobre el nivel más alto de las mareas, así como estar pintadas de amarillo desde la línea de flotación hasta quince metros de altura. [43]

Podría darse el caso en La Palma, que no simplemente se utilizaran grandes parques eólicos, si no que pudiera darse el caso de la instalación de un generador individual, este tendría consideraciones especiales ya que teniendo en cuenta los fondos canarios tendría que ser de tipo flotante.

Al ser de tipo flotante deberá de emitir mediante una luz blanca, la señal morse U, siendo dos destellos cortos y un destello largo, esto en un tiempo igual o menor a 15 segundos teniendo un alcance mínimo de 10 millas náuticas.

10. Conclusiones

Durante este trabajo he tratado de identificar los diferentes puntos fuertes y débiles del balizamiento en la isla de La Palma, destacando aspectos cruciales para gestionar su futuro de manera efectiva.

Actualmente, la isla cuenta con varios puntos fuertes. Los puertos de Tzacorte y Santa Cruz de La Palma están bien equipados, proporcionando los medios necesarios para un tránsito seguro por sus aguas. Además, los cuatro faros de la isla ofrecen una cobertura adecuada del perímetro, mejorando significativamente la seguridad en la navegación.

Sin embargo, también existen importantes debilidades. La falta de balizamiento en algunas zonas de la isla representa un obstáculo para la evolución y transición hacia medidas más seguras y eficientes en el futuro. Esta carencia no solo afecta la seguridad, sino que también limita el desarrollo de nuevas rutas de comercio local y otras actividades económicas.

Por ello, ampliar el balizamiento actual en la isla sería una inversión beneficiosa. No solo aumentaría la seguridad en la navegación, sino que también podría abrir nuevas oportunidades comerciales y apoyar otros sectores. Una mejora en el balizamiento contribuiría significativamente al desarrollo integral y sostenible de La Palma, fortaleciendo su posición en el contexto regional de Canarias.

11. Referencias

[1] ANAVE. (2012, septiembre). *Tribuna Profesional*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de https://www.anave.es/images/tribuna_profesional/trib%20sept%2012.pdf

[2] Puertos del Estado. (s.f.). *IALA*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.puertos.es/es-es/Paginas/IALA-.aspx>

[3] Puertos del Estado. (2010). *IALA Maritime Buoyage System 2010*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de https://www.puertos.es/Documents/1-IALA-MBS_2010%20ES-PdE.pdf

[4] EMSA. (s.f.). Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.emsa.europa.eu>

[5] UNFCCC. (s.f.). Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://unfccc.int>

[6] International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities. (2023). *NAVGUIDE-2023*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.iala-aism.org/product/m0001/>

[7] International Maritime Organization. (s.f.). *SOLAS*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://vp-imo-org.accedys2.bbtk.ull.es>

[8] International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities. (s.f.). *Recommendation R1001*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.iala-aism.org/product/r1001/>

[9] International Maritime Organization. (s.f.). *PSSAs*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/PSSAs.aspx>

[10] International Maritime Organization. (s.f.). *Resolución A.982(24)*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.982\(24\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.982(24).pdf)

[11] Turismo de Canarias. (s.f.). *Tradición náutica en las Islas Canarias*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.holaislascanarias.com/experiencias/tradicion-nautica-en-las-islas-canarias/>

[12] ULPGC. (s.f.). *Comercio*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/20431/1/Comercio.pdf>

[13] United Nations. (s.f.). *United Nations Convention on the Law of the Sea Article 192*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf

[14] Santa Cruz de La Palma. (s.f.). *Barco de la Virgen*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://santacruzdelapalma.info/barco-de-la-virgen/>

[15] Gobierno de Canarias. (s.f.). *Red Natura 2000 en Canarias*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/materias/biodiversidad/natura2000-y-proteccion-internacionales/red-natura-2000/red_natura_2000_en_canarias/

[16] Puertos del Estado. (s.f.). *Comisión de faros*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.puertos.es/es-es/Paginas/Comisión-de-faros.aspx>

[17] Ministerio de Cultura. (s.f.). *Catálogo de Faros*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.cultura.gob.es/planes-nacionales/eu/dam/jcr:d252961c-9f75-42fe-8264-d28ab0d63b01/catalogofaros.pdf>

[18] Ibiblio. (s.f.). *Lighthouses of the Central North Region*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.ibiblio.org/lighthouse/cnr.htm>

[19] Gobierno de Canarias. (s.f.). *Faro de Fuencaliente*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/wiki/index.php?title=Faro_de_Fuencaliente

[20] Fonoteca de Canarias. (s.f.). *Faros de La Palma III*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://fonotecadecanarias.org/faros-de-la-palma-iii/>

[21] Méndez Álvarez, E. (1990, enero). *Faro de Arenas Blancas, Faro de la Palma*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://emendezalvarez.blogspot.com/1990/01/faro-de-arenas-blancas-faro-de-la.html>

[22] Scribd. (s.f.). *Libro Expofaros 2004*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://es.scribd.com/document/342689646/Libro-Expofaros-2004>

[23] Guanches. (s.f.). *Faro de Punta Lava*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de https://guanches.org/index.php?title=Faro_de_Punta_Lava

[24] *Faros y señales de niebla /*. Cádiz: Instituto Hidrográfico de la Marina, 2024. Print.

[25] Puertos del Estado. (s.f.). *Portal AtoN*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://portalaton.puertos.es>

[26] Gobierno de Canarias. (s.f.). *Plátano canario*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/wiki/index.php?title=Plátano_canario#:~:text=Las%20fincas%20de%20plataneras%20más,y%20Gáldar%20en%20Gran%20Canaria

[27] UPM. (2013). *INVE_MEM_2013_152479*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de https://oa.upm.es/22486/1/INVE_MEM_2013_152479.pdf

[28] Costa, Juan B. *Tratado de estiba* /. 3ª ed. Formentera: El autor, 2008. Print.

[29] Grafcan. (s.f.). *Visor Grafcan*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://visor.grafcan.es>

[30] Gobierno de Canarias. (s.f.). *Isla de La Palma*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/wiki/index.php?title=Isla_de_La_Palma

[31] Climatica.coop. (s.f.). *Afinar los pronósticos: DANA Ciencia*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://climatica.coop/afinar-los-pronosticos-dana-ciencia/>

[32] Nature. (2023). *Article S41612-023-00358-7*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.nature.com/articles/s41612-023-00358-7>

[33] El Diario. (s.f.). *Doce años de la trágica riada de Angustias*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de https://www.eldiario.es/canariasahora/lapalmaahora/sociedad/doce-anos-tragica-riada-angustias_1_5157278.html

[34] IGME. (s.f.). *Taburiente*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de https://www.igme.es/librose/guiasgeo/taburiente_sp/136/index.html

[35] NOAA. (s.f.). Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.ndbc.noaa.gov>

[36] International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities. (2014). *NAVGUIDE-ESP_2014*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.puertos.es/Documents/7-NAVGUIDE%202014%20not%20printable.pdf>

[37] International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities. (s.f.). *G1077 MAINTENANCE OF AIDS TO NAVIGATION*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.iala-aism.org/product/maintenance-of-aids-to-navigation-1077/>

[38] Puertos de Yucatán. (s.f.). *Manual de Organización - Mantenimiento de Señalización*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de https://www.puertosyucatan.com/marcolegal/reglamentos/manual_de_org/pdf/mdeo_9/diagramasdeflujo/opereing/mtto_senal.pdf

[39] Trinity House. (s.f.). **Buoy Services - Buoy Refurbishment**. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.trinityhouse.co.uk/commercial-services/our-services/buoy-services/buoy-refurbishment>

[40] ScienceDirect. (2021). *S136403212100407X*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403212100407X?via%3Dihub>

[41] Gobierno de España. (2023, octubre). *Adenda Plan de Recuperación* Recuperado el 19 de junio de 2024, de https://planderecuperacion.gob.es/sites/default/files/2023-10/0310203_adenda_plan_de_recuperacion_componente7.pdf

[42] Gobierno de Canarias. (s.f.). *Transición Ecológica y Eólica Marina*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www3.gobiernodecanarias.org/noticias/transicion-ecologica-estudia-el-documento-que-regulara-la-eolica-marina-en-espana-para-ser-pioneros/>

[43] International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities. (s.f.). *G1162*. Recuperado el 19 de junio de 2024, de <https://www.iala-aism.org/product/g1162/>

Permiso de divulgación del Trabajo Final de Grado

El alumno **Emilio Rodríguez Prestat**, autor del trabajo final de Grado titulado “**Balizamiento en la isla de La Palma**”, y tutorizado por el/los profesor/es **Alejandro Urbano Gómez Correa**, a través del acto de presentación de este documento de forma oficial para su evaluación (registro en la plataforma de TFG), manifiesta que **PERMITE** la divulgación de este trabajo, una vez sea evaluado, y siempre con el consentimiento de su/s tutor/es, por parte de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, del Departamento de Ingeniería Civil, Náutica y Marítima y de la Universidad de La Laguna, para que pueda ser consultado y referenciado por cualquier persona que así lo estime oportuno en un futuro.

Esta divulgación será realizada siempre que ambos, alumno y tutor/es del Trabajo Final de Grado, den su aprobación. Esta hoja supone el consentimiento por parte del alumno, mientras que el profesor, si así lo desea, lo hará constar en futuras reuniones, una vez finalizado el proceso de evaluación del mismo.