



**Universidad
de La Laguna**

CONSTRUCCIÓN NAVAL: DESDE LA MADERA HASTA LOS MATERIALES COMPUESTOS

Trabajo Fin de Grado
Grado en Náutica y Transporte Marítimo
Julio de 2021

Autor:
Cristian Molina Quintana
45.394.714M

Tutor:
Prof. Cap. de la Marina Mercante
Salomón Iván Ramón Concepción Cáceres

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

D/D^a.IVÁN CONCEPCIÓN CACERES, Profesor de la UD de INGENIERIA AGRARIA, NÁUTICA, CIVIL Y MARITIMA, perteneciente al Departamento de CIENCIAS Y TÉCNICAS DE LA NAVEGACIÓN de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

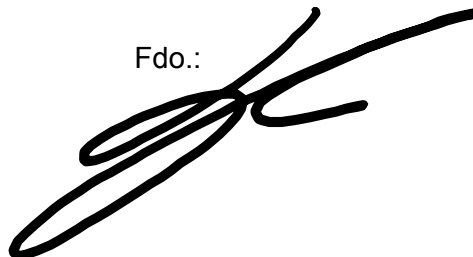
D. **CRISTIAN MOLINA QUINTANA** con **DNI 45.394.714M**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: **.CONSTRUCCIÓN NAVAL: DESDE LA MADERA HASTA LOS MATERIALES COMPUESTOS**

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 7 de SEPTIEMBRE de 2021.

Fdo.:

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Director del trabajo.

Molina Quintana, C. (2021). *Construcción Naval: desde la madera hasta los materiales compuestos*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

RESUMEN

A lo largo de la historia, el ser humano ha mantenido un fuerte vínculo con el mar; un vínculo que ha nacido a través de nuestro instinto de supervivencia, incluso por las dudas y ansias de conocer el qué habrá más allá del horizonte.

Junto a la navegación, las técnicas constructivas evolucionaron a lo que se creía imposible. Las embarcaciones pasaron de ser meros vehículos de supervivencia, a naves con tecnología punta, ofreciendo todo tipo de actividades, bajo el concepto de seguridad. No solo crecieron las técnicas constructivas, si no que también lo hizo el desarrollo de materiales más resistentes y sofisticados, los cuales mejoraron la navegación por las distintas aguas del globo.

Construir una embarcación, supone grandes retos: diseño, búsqueda/elección/compra de materiales, puesta a flote; pero.... ¿Ser el propietario supone un problema? Sí, no solo dotar de tripulación, pertrechos y combustible; sino que su mantenimiento supone un nivel más de complejidad. Una nave al estar en contacto con un medio abrasivo, dígame el agua en nuestro caso, está sometida a las inclemencias del entorno; corrosión, madera en mal estado, desgaste de planchas...; por ello el ser humano tuvo que desarrollar elementos y técnicas de conservación/preservación, dotándolos de personal competente en la materia.

Hemos de recordar siempre la importancia de las siguientes frases; **“Si sales a navegar no te canse el preparar”**. **“En calma el mar no creas por sereno que lo veas”**.

Palabras claves: Técnicas constructivas, materiales, mantenimiento, corrosión

Molina Quintana, C. (2021). *Construcción Naval: desde la madera hasta los materiales compuestos*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

ABSTRACT

Throughout history, the human has maintained a strong connection with the sea; a bond that was born through our survival instinct, even due to doubts and longing to know what will be beyond the horizon.

Along with navigation, naval construction techniques evolved to what was believed impossible. Boats went from being mere survival vehicles, to ships with the latest technology, offering all kinds of activities under the concept of safety. Not only did naval construction grow, but also the development of more resistant and sophisticated materials, which improved navigation through the different waters of the globe.

Building a boat involves great challenges: design, search/choice/purchase of materials, launching; but... Is being the shipowner a problem? Yes, not only provide crew, supplies and fuel; the maintenance involves a further level of complexity. When a ship is in contact with abrasive medium, water in our case, she is subjected to the inclemency of the environment; corrosion, wood in bad condition, worn steel (hull)...; That is the reason why the human has being developed the elements and conservation techniques, providing the qualified staff in matter. That is the reason why humans have developed the elements and conservation techniques, providing the qualified staff in matter.

We have to always remember the importance of the following sentences “**There is no better tool or equipment you can have on board than a well-trained crew**” – Larry Pardey, sailor ; “ **Smooth seas do not make skilful sailors**” – African Proverb

Keywords: Construction techniques, materials, corrosion, maintenance.

AGRADECIMIENTOS

*Especial agradecimiento a Salomón Iván Concepción Cáceres, tutor;
a los profesores por la formación académica adquirida; a mis familiares y
amigos por el apoyo en todos estos años.*

Sin todos ellos este trabajo no hubiera sido posible

Índice del TFG

0. Introducción	4
1. Buques y embarcaciones de madera	4
1.1. Contexto histórico	4
1.1.1. Prehistoria y Edad Antigua (3000 a.C- Siglo V d.C.)	4
1.1.2. Era Vikinga (800 d.C- 1050 d.C.)	7
1.1.3. Edad Media (Siglo V d.C.- Siglo XV d.C)	9
1.1.4. Edad Moderna (Siglo X d.C - Siglo XVIII d.C.)	10
1.1.5. Edad Contemporánea (1789 - Presente)	11
1.2. Construcción de una embarcación de madera	12
1.3. Tipos de maderas	17
1.3.1. Maderas en la carpintería de ribera en España	20
1.3.2. Identificación de Maderas (guía visual)	21
1.4. Partes de una embarcación de madera	24
1.5. Disposición de tablones del casco	28
1.5.1. Técnicas tradicionales para el montaje del forro	28
1.5.2. Técnicas modernas para el montaje del forro.	30
1.6. Carpintería de ribera	33
1.6.1. ¿Qué es la carpintería de ribera?	33
1.6.2. Herramientas tradicionales de un carpintero de ribera.	33
1.7. Carpintería de ribera en Canarias.	36
2. Buques y embarcaciones de metal	39
2.1. Contexto histórico	39
2.2. Buques y embarcaciones de acero.	41
2.2.1. Tipos de aceros navales.	41
2.2.2. Espesores de planchas	42
2.2.3. Corrosión y mantenimiento del acero	42
2.2.4. Astilleros más importantes en la construcción naval en acero.	48
2.3. Buques y embarcaciones de aluminio.	49
2.3.1. Tipos de aluminios en construcción naval.	49
2.3.2. Tipos de corrosión presentes en embarcaciones de aluminio.	50
2.3.3. Mantenimiento de embarcaciones de aluminio.	52
2.3.4. Prestaciones del aluminio	53
2.3.5. Construcción de un buque de aluminio	54
2.3.6. Astilleros más importantes en la fabricación de buques de aluminio.	57
2.4. Astilleros más importantes en la reparación de buques en Canarias.	60
3. Remachado y soldadura en construcción naval.	68
3.1. El remachado	68

3.1.1. Contexto histórico.	68
3.1.2. Tipos de remaches.	69
3.1.3. Herramientas y procesos de remachado.	70
3.1.4. Tipos de juntas remachadas.	77
3.1.5. Tipos de remachado.	80
3.1.6. Fuerzas y esfuerzos a los que se someten los remaches.	82
3.1.7. El remachado en la actualidad.	83
3.2. La soldadura	84
3.2.1. Contexto histórico.	84
3.2.2. Tipos de soldadura.	86
3.2.3. Ventajas y desventajas de los tipos de soldadura.	89
3.2.4. Tipos de soldadura; usos y materiales.	90
3.2.5. Equipos de protección individual para soldadores.	91
3.2.6. Talleres de soldadura y reparación naval en Canarias.	93
4. Buques y embarcaciones de ferrocemento.	95
4.1. Contexto histórico	95
4.2. Características del ferrocemento.	97
4.3. Buques y embarcaciones de ferrocemento en la actualidad.	98
4.4. Mantenimiento de embarcaciones de ferrocemento.	99
4.4.1. Pintado de cascos de ferrocemento.	100
4.5. Normativa para embarcaciones de ferrocemento.	101
5. Buques y embarcaciones de materiales compuestos.	102
5.1. ¿Qué es un material compuesto?	102
5.2. Tipos de materiales compuestos	102
5.3. Matrices empleadas en los materiales compuestos	103
5.4. Recubrimientos usados en construcción naval	104
5.5. Materiales de refuerzo	104
5.6. Materiales de textiles para laminado	105
5.7. Estructura de sándwich en materiales compuestos: embarcaciones.	107
5.8. Métodos de construcción de embarcaciones de material compuesto.	109
5.9. Mantenimiento de embarcaciones de fibra de vidrio.	110
5.9.1. Preparación previa	110
5.9.2. Reparación del casco	111
5.9.3. Astilleros más importantes en construcción naval: materiales compuestos	114
6. Otros materiales en construcción naval.	117
7. La impresión 3D: una nueva cuestión	118
7.1. La impresión 3D en el sector marítimo	118
7.2. Materiales para impresión 3D: construcción naval.	119
7.3. Proyectos existentes.	120
8. Sociedades de clasificación: Normativa.	122
8.1. La Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación.	124

9. Bibliografía.

125

0. Introducción

En este proyecto trataremos sobre los distintos tipos de materiales y cómo protegerlos frente a los agentes externos. Por otra parte se hace una introducción histórica para conocer los orígenes y aplicaciones de los materiales que se usan en el sector naval.

El objetivo principal al que se quiere llegar es, profundizar y dar a conocer el mundo de la construcción naval, desde los materiales más tradicionales, hasta los materiales más sofisticados del mercado.

1. Buques y embarcaciones de madera

1.1. Contexto histórico

1.1.1. Prehistoria y Edad Antigua (3000 a.C- Siglo V d.C.)

Se tiene constancia de que el ser humano ha estado en contacto con el mar desde tiempos inmemoriales. Desde hace unos 10.000 años se comenzaron a crear pequeñas embarcaciones de diversos materiales de origen vegetal, desde pequeñas balsas a troncos ahuecados, con el objetivo de cruzar ríos e incluso mares.

No se sabe a ciencia cierta cuándo se empezó a construir barcos con tracas de madera, pero por los restos de antiguas civilizaciones se pueden hacer algunas estimaciones.

En Norteamérica y en Oceanía, las tribus indígenas ya fabricaban pequeñas embarcaciones de madera a las que llamaron piraguas. Sin embargo, los primeros constructores de barcos de mayor porte fueron los egipcios alrededor del siglo XXX a.C. ; estas naves se construían sobre un gran armazón de madera y las tracas estaban unidas las unas a las otras con un sistema de cosido; para evitar el paso del agua entre las tracas, existía un sistema ingenioso, por el cual se tensaba un cabo que recorría la embarcación de proa a popa, curvando la nave y ajustando las uniones de los tablones. Dichas embarcaciones se propulsaban a remos, controlados por tripulaciones de hasta 20 remeros, e incluso llegaron a incluir velas.

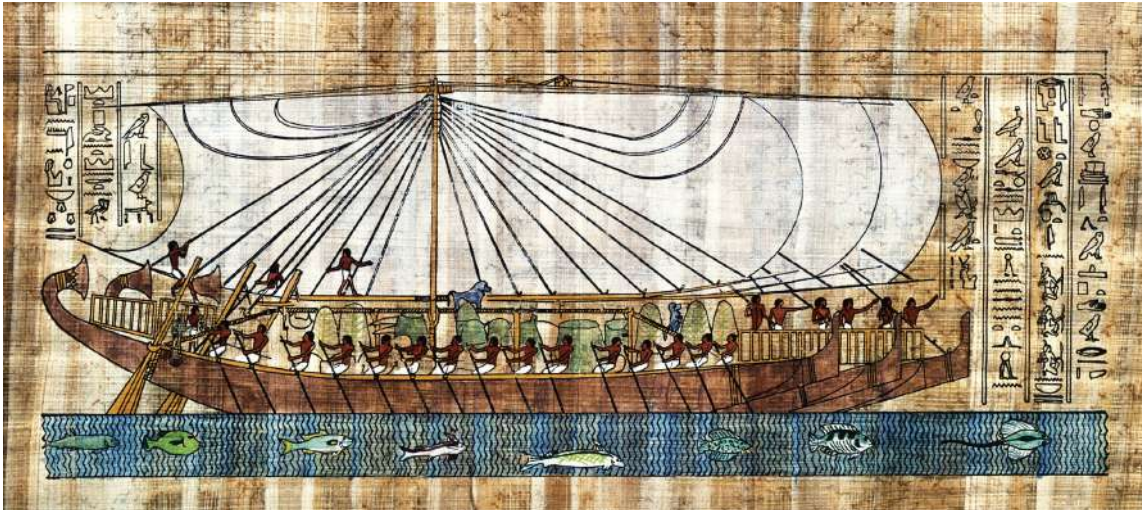


Ilustración 1: Representación de naves egipcias en un papiro. Fuente: historia.nationalgeographic.com.es

Al igual que lo hicieron los egipcios, otras civilizaciones destacaron por sus construcciones navales, esas civilizaciones fueron:

- **Los fenicios:** los constructores navales se caracterizaban por la construcción de grandes naves de carga, pesqueras y sus excelentes naves de combate. Estas naves estaban construidas de maderas como cedro, pino, ciprés, entre otros.
- **Los griegos:** las naves griegas destacaron por su forma innovadora de unir las tracas, un sistema que se conoce como mortaja y espiga, sistema que consiste en huecos o cajas practicados en la madera, en los cuales se encastran piezas de unión llamadas espigas; ambos se hacen firme con tacos de madera llamados tobillos.

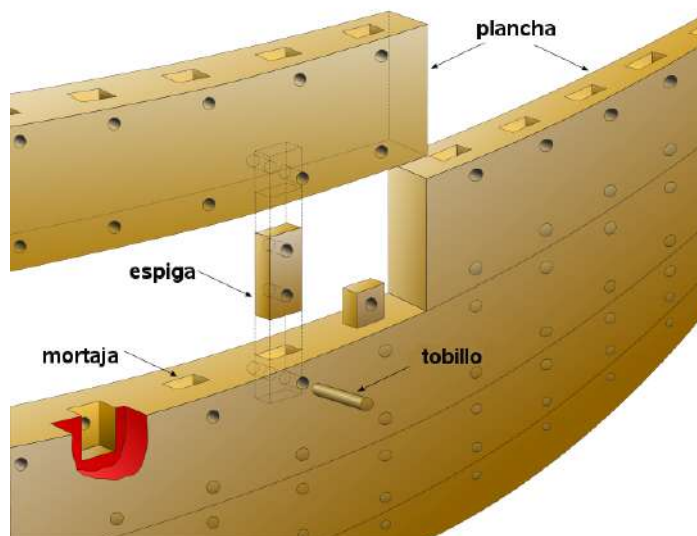


Ilustración 2: Sistema Mortaja y Espiga, Fuente: es.wikipedia.com

- **Los romanos:** las naves romanas jugaron un papel importante en la expansión del Imperio Romano. No solo se crearon naves pesqueras, mercantes o de guerra, sino también llegaron a construirse auténticos palacios flotantes. Los romanos distinguían los siguientes tipos de naves:

- **Naves onerarias o “onerariae”:** presentaban una capacidad media de carga de 100 toneladas, las cuales se repartían en 3000 ánforas, aunque se han descubierto restos de naves cuya capacidad media era de 400 toneladas, con una manga de 40m. Estas naves eran para uso en mares.
- **Naves caudicarias o “caudicaries”:** eran naves de fondo plano, servían de conexión entre Ostia y Roma a través del río Tíber.

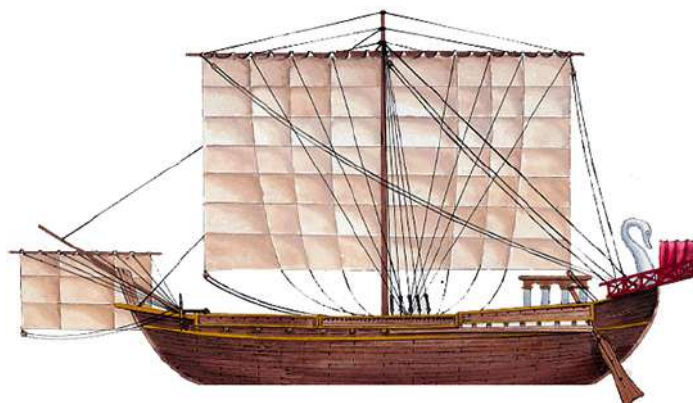


Ilustración 3: Nave caudicaria, Fuente: romanoimperio.com

- **Naves “longae” o naves largas:** eran naves de poco calado, apenas llegaban a las 200 t su uso era especialmente militar.

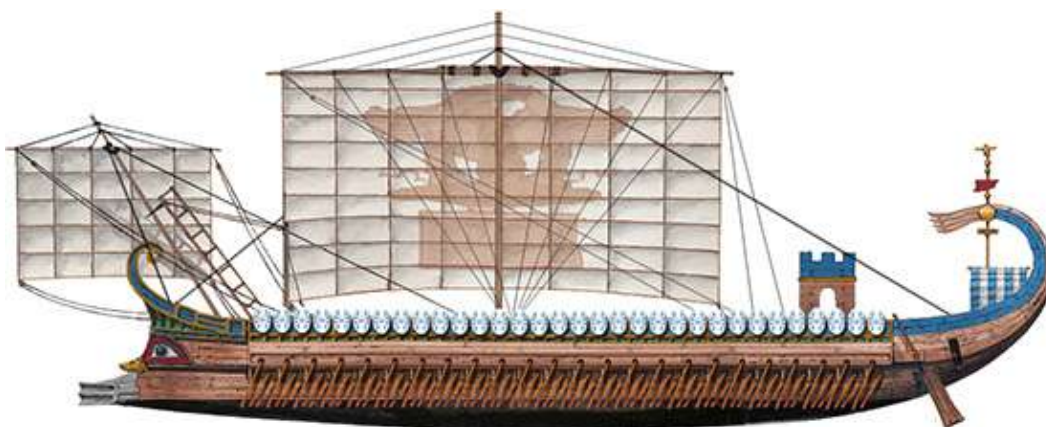


Ilustración 4: Nave longae, Fuente: romanoimperio.com

Otras naves romanas:

Los romanos, como comentábamos anteriormente, llegaron a construir grandes naves de tamaños imposibles para la época. Hasta la fecha, por registros arqueológicos, conocemos los “ Barcos del Nemi”, de 71 a 73 m de eslora y una manga de 20 a 25 m. Estas embarcaciones servían para uso y disfrute del emperador Calígula, estaban localizadas en el lago Nemi en los montes Albanos; fueron descubiertas en 1929, drenando dicho lago.



Ilustración 5: Naves de Nemi, Fuente: mega.atresmedia.com

1.1.2. Era Vikinga (800 d.C- 1050 d.C.)

Ya en el siglo IX, los vikingos eran auténticos exploradores, sus naves les permitieron cruzar grandes mares y océanos. Las naves vikingas destacaban por su gran velocidad y maniobrabilidad; otro punto a destacar era la presencia del tingladillo, muy común en la era vikinga. Las naves vikingas se dividen en dos grupos:

- **Langskip:** como su nombre indica “naves largas”; hasta la fecha la embarcación vikinga más larga encontrada es de 36 m, sin embargo hay relatos sobre una nave que alcanzó los 52 m de eslora. Los “langskip” estaban destinados al uso bélico, eran de poco calado (50 cm) y estaban propulsados por remos (desde 13 a 23 pares de remos) y una vela cuadra. El

tipo más conocido es el Drakkar, llamándose así por la cabeza de dragón que luce la proa.



*Ilustración 6: Barco de Oseberg, en el Museo de Barcos Vikingos de Oslo,
Fuente: commons.wikimedia.org*

- **Halfskip:** también knarr, barco mercante vikingo; frente a los barcos de guerra, los halfskip son de mayor manga y menor eslora. Por otro lado, son embarcaciones preferiblemente de vela, portando así un menor número de tripulantes. El calado de estas naves era de 83 cm.



*Ilustración 7: Knaar Ottar, Museo Vikingo de Roskilde,
Fuente: vikingeskibsmuseer.dk*

1.1.3. Edad Media (Siglo V d.C.- Siglo XV d.C)

En esta época, se diferencian dos artes de construcción naval tradicional. En el Norte de Europa el método más presente es el tingladillo, infundido por los vikingos y otras civilizaciones nórdicas; ya en el sur de Europa se hace más popular el forrado liso, heredado por las civilizaciones greco-romanas e incluso llegó a dominar las grandes construcciones navales. En esta época también destaca la introducción del timón de codaste, el cual sustituyó al timón de espadilla. Por otra parte, los veleros comenzaron a incluir un mayor número de mástiles.

Las naves medievales más importantes fueron las siguientes, entre otras:

- Carabela
- Carraca
- Galeón
- Nao
- Nava Hanseática o Nava del Norte
- Coca
- Casco o Hulk
- Junco chino
- Galera

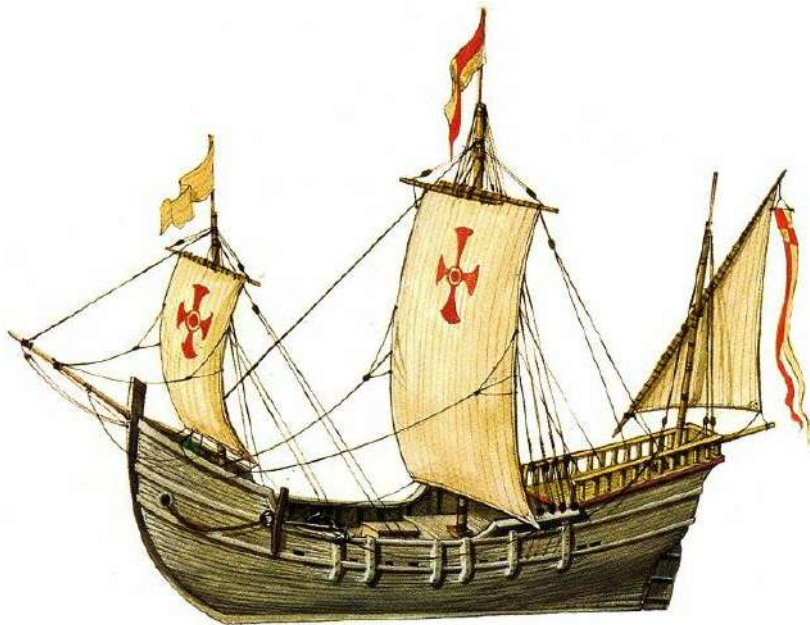


Ilustración 8: carabela , Fuente: pinterest.es

1.1.4. Edad Moderna (Siglo X d.C - Siglo XVIII d.C.)

A comienzos de esta época aún perduran naves de la Edad Media , tal y como lo hizo el galeón, pero no fue hasta el siglo XVII cuando apareció un nuevo tipo de construcción, el navío de línea. Estas naves nacieron motivadas por el desarrollo y mejora de los combates en la mar, eran naves de dos a tres cubiertas, defendidas con un gran número de cañones, bombardas y otras armas de combate y asedio; con este tipo de naves el abordaje se convirtió en el último plan.

Los navíos alcanzaron su máximo esplendor en el siglo XVIII, con la construcción del Santísima Trinidad, la mayor nave de madera en ese entonces, con 4 puentes (tras una reforma).

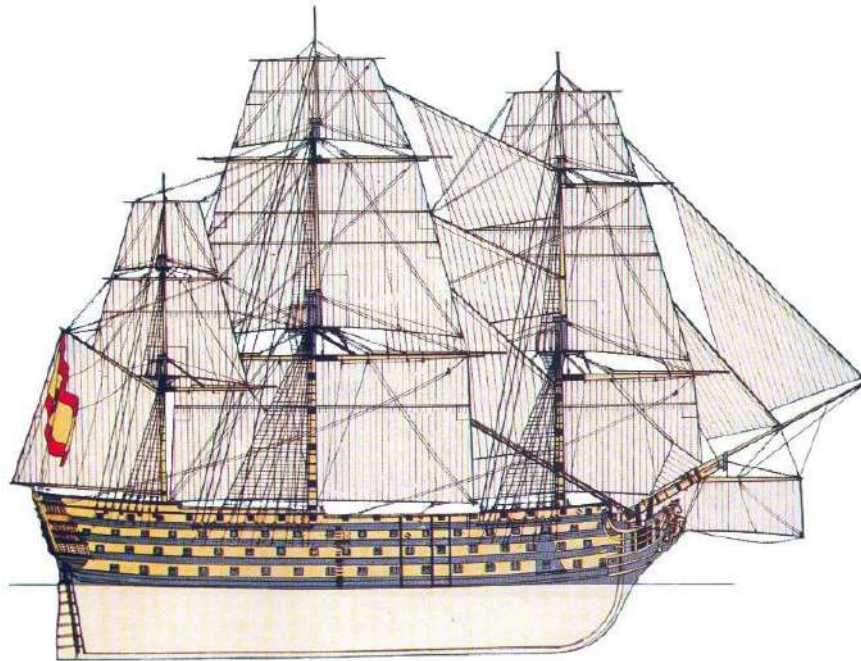


Ilustración 9: Navío Santísima Trinidad , Fuente: es.wikipedia.com

Los navíos se clasifican de la siguiente manera:

CLASE	Nº DE PUENTES	Nº DE CAÑONES
Primera clase	3 a 4	112 a 140
Segunda clase	3	90 a 100
Tercera clase	2	80
Cuarta clase	2	70 a 74
Quinta clase	2	60 a 64
Sexta clase	2	50 a 54

En la Edad moderna, aparte de los navíos de línea, aparecen otros tipos de embarcaciones, tales como:

- Bergantín
- Corbeta
- Fragata
- Falucho
- Tartana

1.1.5. Edad Contemporánea (1789 - Presente)

La edad contemporánea viene marcada por grandes avances en la construcción naval, y la introducción de la máquina de vapor como propulsor.

En cuanto a la construcción naval en madera, destaca la creación de un nuevo tipo de buque, los Clippers. Estos grandes barcos destacan por su gran velocidad (20 knt), larga eslora, poca manga y mayor número de mástiles (3-5 mástiles); rivalizaban con los primeros vapores de la época.

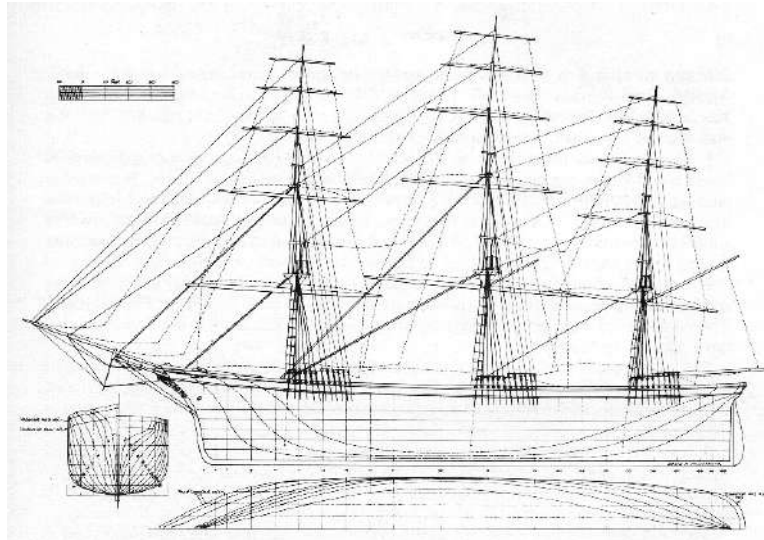


Ilustración 10: Planos de formas de un Clipper , Fuente: histamar.org

A lo largo de la Edad Contemporánea, nace toda clase de embarcaciones de madera, desde buques de pasaje, pesqueros, veleros de todo tipo.... hasta embarcaciones de lujo.

1.2. Construcción de una embarcación de madera

Antes de construir una embarcación de madera, se escogen los tipos de maderas que se van a emplear para su construcción. Para la estructura (roda, cuadernas, codaste...) se emplean maderas duras y flexibles, como el roble; para piezas largas (quilla, sobrequilla, palmejares, durmientes...) se suele utilizar maderas flexibles y resistentes, como lo es el eucalipto. Para los forros se usan maderas como pino o elondo.

Lo primero, antes de iniciar la construcción, es el trazado de las formas de la embarcación, las cuales se obtienen a partir de plantillas o modelos hechos a mano por el carpintero. Una vez realizado el trazado, los pasos que se llevan a cabo para construir la embarcación son los siguientes:

- 1) La quilla es colocada sobre calzos o picaderos.
- 2) Se monta la roda y el codaste en los extremos de la quilla, estas piezas van encajadas y luego fijadas con pernos de acero (se recomienda el uso de pernos de acero galvanizado, para evitar fallos en las uniones en el futuro). Hay que asegurarse de que dichas piezas estén bien alineadas verticalmente.

- 3) Se montan “dormidos” sobre el pie de roda y el pie de codaste, con el objetivo de aportar rigidez. Se pueden usar contraroda y contracodaste en su defecto.
- 4) En la roda, en el codaste y en la quilla, se practican unas marcas longitudinales, llamadas alefrices. Las tracas que hacen de unión en estas hendiduras a la quilla codaste y roda, se llaman tracas de aparadura.
- 5) Se coloca la cuaderna maestra sobre la quilla a mitad de eslora.
- 6) Se instalan dos cuadernas, llamadas tercio de proa y tercio de popa; el tercio de proa se sitúa entre la roda y la cuaderna maestra, el tercio de popa se sitúa entre el codaste y la cuaderna maestra.
- 7) Se añade el resto de cuadernas en su posición respectiva siguiendo el trazado realizado previamente.
- 8) Se ajustan las cuadernas a su posición mediante vagras.
- 9) Las cuadernas se hacen firmes; en las embarcaciones de gran porte, se coloca la sobrequilla sobre las varengas, el conjunto va empernado. En las embarcaciones menores no se suele instalar sobrequilla, las varengas van empernadas a la quilla directamente.
- 10) Se añaden palmejares a la estructura, recorriendo de proa a popa, con el objetivo de ofrecer una mayor resistencia longitudinal. La eslora y el tamaño de la embarcación determinan el número de palmejares a instalar.
- 11) Se instalan baos a nivel de cubierta para unir de costado a costado las cuadernas. Los baos se unen a las cuadernas mediante durmientes, los cuales se unen con pernos.
- 12) Para dar impregnación a las piezas, se suele emplear pinturas con base de minio, también se puede utilizar brea mezclada con gasoil.



Ilustración 11: Impregnación en base de minio (Galicia), Fuente: ideal.es

13) Se lleva a cabo el forrado del casco con tracas de madera de pino o elondo (entre otros). Este proceso es muy importante, ya que deberá de aportar impermeabilidad al casco. Para comenzar, se empieza forrando desde la parte superior hasta la línea de flotación; luego se forra desde la quilla hasta la línea de flotación, uniéndose así ambos procesos. La unión del forro a la estructura se hace mediante clavazón, los clavos han de ser cuadrados, ya que los cilíndricos acaban por zafarse de las uniones. Para proteger las cabezas de los clavos del contacto con la humedad, se cubren con tapines de madera, preferibles a la masilla, ya que ésta se desprende con el tiempo

14) Toca el turno del calafate a todas las juntas, para ello se introduce estopa ungida en brea, su objetivo será evitar el paso del agua a través de las uniones entre tracas.



Ilustración 12: Junta calafateada, Fuente: commons.wikimedia.org

- 15) En embarcaciones de gran porte, el casco se divide mediante mamparos, para en caso de inundación la nave siga a flote, también aportan mayor resistencia estructural.
- 16) A continuación comienza el forrado de la cubierta sobre los baos. Los tablones del forro que están más pegados al casco, son mucho más gruesos y reciben el nombre de trancaniles.
- 17) Se unen barraganetes a los extremos superiores de cada cuaderna, sobresaliendo de la cubierta.



Ilustración 13 y 14: Proceso de montaje de barraganetes e instalación (Calbuco, Chile);
Fuente: @carpinteríaderibera (Facebook)

- 18) Se cubren los barraganetes con tracas de madera por su cara exterior, dando lugar a la amurada, la cual en su parte superior se cubre con la tapa de regala, en madera de elondo o en maderas parecidas a la teca (entre otras).



Ilustraciones 15, 16 y 17: Proceso de forrado de barraganetes e instalación de la tapa de regala (Calbuco, Chile); Fuente: @carpinteríaderibera (Facebook)

- 19) Momento del carenado; se cepilla y se lija el casco, luego se prosigue con el calafateado.
- 20) Pintado/ barnizado de la superficie, con el objetivo de proteger la madera de los agentes exteriores, antiguamente se hacía con aceite de linaza.



*Ilustración 18: El "Chasula", barco pesquero tradicional de madera, casco pintado;
Fuente: bluscus.es*

- 21) Para acabar la construcción, se monta la superestructura y se dota de todo el equipamiento de cubierta.
- 22) Montaje del motor, cableado, maquinillas de pesca... (en caso de tenerlos).
- 23) Botadura y puesta a flote.

Nota: la arboladura de los veleros se monta una vez esté a flote.

1.3. Tipos de maderas

Antes de construir una embarcación en madera, hay que conocer los tipos y características de cada una de ellas, pues no todas son aptas para la construcción naval. Cada madera viene condicionada por sus propiedades mecánicas; tales como flexibilidad, impermeabilidad, tracción... las cuales determinarán sus usos a bordo.

Normalmente en la fabricación de buques y embarcaciones de madera se emplean 6 tipos de maderas principales, las cuales conoceremos a continuación:

- **PINO**: el pino es una de las maderas más baratas, debido a su rápido crecimiento; pues su tronco puede llegar a tener 50 cm en 20 años, estos árboles pueden llegar a crecer hasta los 30 m (en algunas especies). En todo el planeta existen unas 110 especies de pinos, pero en construcción naval no todos son útiles, los más empleados son:
 - **Pino colorado (pinus patula/pino llorón)**: su madera soporta bien las aguas frías y se emplea en la construcción de forros, cuadernas, cubiertas, cascos y baos.
 - **Pino Clear**: el pino clear es una variación del pino blanco, su madera carece de nudos y vetas, por otra parte es una madera blanda. En construcción naval se emplea en la fabricación de mástiles y botavaras de encolado hueco.



Ilustración 19: Mástil de encolado hueco;

Fuente: fondear.com

- **Pino “sitka”**: la madera de pino sitka es estable y libre de nudos, lo que la hace ideal para la fabricación de mástiles huecos.

- **ROBLE**: la madera de roble es una de las maderas más resistentes y poseen una buena durabilidad en agua de mar. El inconveniente de esta madera es su peso específico, lo que impide su uso como forro de una embarcación, su uso es muy común en Europa y Norteamérica.

- **TECA**: la teca es una madera que ha sido muy valorada y apreciada en la construcción de embarcaciones. Las características que la hacen tan especial son las siguientes; buena resistencia al fuego, larga durabilidad en agua de mar, resiste la podredumbre y a los productos químicos, no es atacable por termitas y otros xilófagos.... entre otras. La mejor madera de teca sale de árboles viejos mayores de 20 años.

- **FRESNO**: el fresno es una madera muy flexible y presenta un llamativo veteado; el inconveniente de esta madera es que no soporta bien el estar continuamente con cambios de mojado y secado; causa de que se emplea barnizada y solo para motivos decorativos.

- **OLMO**: el olmo posee la característica de durabilidad bajo el agua, solo es superada por la madera de teca, el inconveniente es su alto peso específico, el cual restringe su uso en la construcción naval. Las variedades de olmo utilizadas en el sector naval son el olmo blanco y el olmo negro (olmo roca).

- **CEDRO**: el cedro es una madera que se suele emplear en especial, en la fabricación de forros, esto se debe a que soporta bastante el ataque de microorganismos cuando está sumergido en agua. El inconveniente de esta madera es que no se puede curvar al vapor e incluso hacer curvas muy cerradas, esto debilita su resistencia a la flexión y se vuelve quebrable.

Aparte de las maderas comentadas anteriormente, se utilizan maderas tropicales tales como:

- **AFRORMOSIA:** madera africana semipesada, parecida a la teca, su costo es elevado debido a su escasez. Esta madera permite cortarse en chapas, permite encolado; se puede atornillar y clavar si previamente se le taladra. En construcción naval se usa para cubiertas y puentes.
- **IROKO:** el iroko es una madera parecida a la teca, más ligera y no es grasienta como dicha madera; posee una gran durabilidad y es más barata que la teca. Esta madera se emplea en la construcción de cubiertas, estructura de embarcaciones pequeñas, mobiliario y carpintería exterior. El Iroko procede del Centro y Este de África.
- **SIPO (utile, assié, abebay):** madera semidura de procedencia africana. Esta madera permite ser encolada, atornillada o clavada; presenta dificultades en el mecanizado debido a la disposición entrelazada de sus fibras; permite ser cortadas en chapas. Esta madera se emplea para carpintería interior, mobiliario, puertas, revestimientos...



*Ilustración 19: Piragua africana construida con madera de Sipo, Museo Real del África Central;
Fuente: es.wikipedia.com*

1.3.1. Maderas en la carpintería de ribera en España

En nuestro país las maderas más utilizadas en la construcción tradicional de embarcaciones y buques de madera son:

MADERA	CARACTERÍSTICAS	USOS	PESO ESPECÍFICO	VARIEDAD DE ÁRBOL/ MADERA
CASTAÑO	Madera blanda y duradera.	Baos, cuadernas, mobiliario, casetas	590 Kg/m ³	Castanea sativa (Castaño europeo)
ELONDO	Madera pesada	Forros de cubierta y tapas de regala	920 Kg/m ³	
ENCINA	Madera dura y compacta.	Cuadernas y polines de maquinaria.	800 a 850 Kg/m ³	Quercus ilex
EUCALIPTO	Madera dura, flexible y densa.	Quillas, sobrequillas, palmejares, durmientes, contradurmientes, baos de grandes dimensiones, forros y cuadernas.	780 Kg/m ³	Eucalyptus globulus
GUAYACÁN	Madera muy dura y densa.	Se usaba para roldanas y bocinas para ejes de hélices.	1100 a 1300 Kg/m ³	
OLMO	Madera dura y flexible	Quillas y cintones.	650 Kg/m ³	
PINO	Madera semidura (Pinus Pinaster) Madera blanda (Pinus Sylvestris)	Forros de casco, forros de cubiertas, armazones de casetas, mobiliario y arboladura.	590 kg/m ³	Pinus Pinaster (Pino País) Pinus Sylvestris (Pino del Norte)
ROBLE	Madera dura y compacta	Cuadernas, codastes, quillas y rodas.	720 a 890 Kg/m ³	
TECA	Madera incorruptible, elástica y dura.	Tapas de regala y forros de cubiertas.	660 Kg/m ³	

1.3.2. Identificación de Maderas (guía visual)

MADERA DE PINO



Ilustración 20: Pino clear
Fuente: maderasmiliopohl.cl



Ilustración 21: Pino o abeto sitka
Fuente: madinter.com



Ilustración 22: Pino pinaster
Fuente: maderasmedina.com



Ilustración 23: Pino silvestre
Fuente: maderasangelsuarez.es



Ilustración 24: Pino colorado
Fuente: lh3.googleusercontent.com

MADERA DE ROBLE



Ilustración 25: Roble europeo
Fuente: maderasangelsuarez.es



Ilustración 26: Roble blanco americano.
Fuente: forestalmaderero.es



Ilustración 27: Roble rojo americano.
Fuente: chapasarias.es

TECA



Ilustración 28: Teca
Fuente: homedressing.mx

CEDRO



Ilustración 29: Cedro
Fuente: demadera.work

GUAYACÁN



Ilustración 30: Guayacán
Fuente: maderasargentina.com

FRESNO



Ilustración 31: Fresno
Fuente: catalogo.maderasacuna.es

**EUCALIPTO
(Eucalyptus globulus)**



Ilustración 32: eucalyptus globulus
Fuente: maderasargentina.com

ENCINA



Ilustración 33: Encina
Fuente: brico-valera.com

ELONDO



Ilustración 34: Elondo
Fuente: maderame.com

CASTAÑO



Ilustración 35: Castaño
Fuente: catalogo.maderasacuna.es

IROKO



Ilustración 36: Iroko
Fuente: maderasfanega.es

SIPO



Ilustración 37: Iroko
Fuente: maderasmedina.com

AFRORMOSIA



Ilustración 38: Afrormosia
Fuente: maderame.com

MADERA DE OLMO



Ilustración 39: Olmo negro
Fuente: teimaginasonline.com



Ilustración 39: Olmo blanco
Fuente: oceanmaderas.com

1.4. Partes de una embarcación de madera

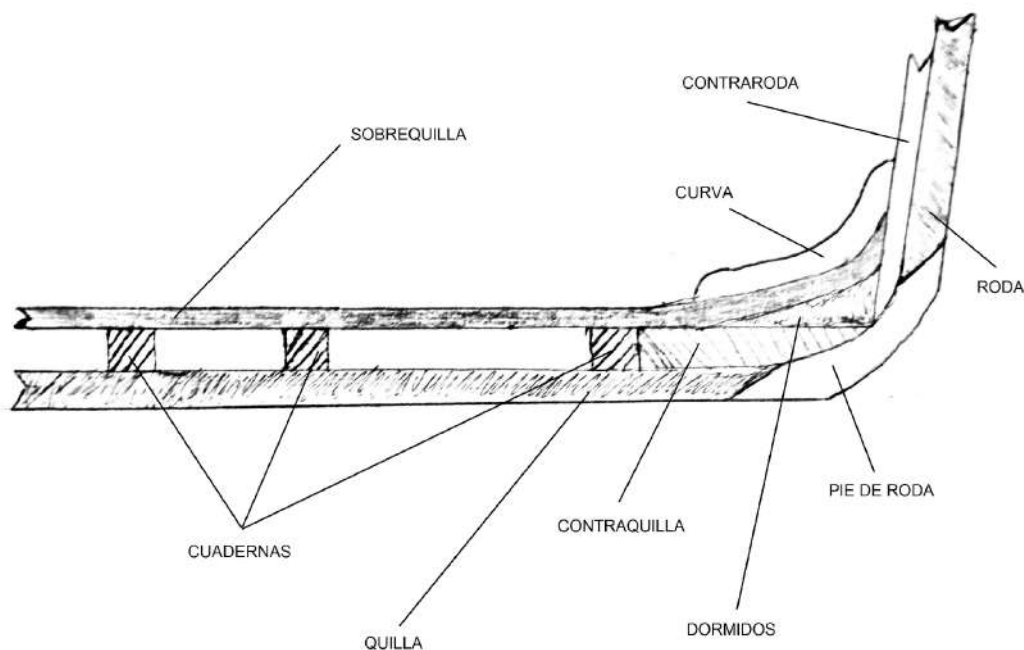


Ilustración 40: Partes de la proa de una embarcación;
Fuente: elaboración propia.

Bao: vigas de la parte superior de cada una de las cuadernas, su misión es la de soportar la cubierta (están presentes en los buques de madera y en los metálicos). Existen de varios tipos según donde se encuentren/soporten:

- **Bao maestro:** se localiza en la cuaderna maestra.
- **Bao compuesto o hechizo:** se compone de dos a tres piezas.
- **Bao de aire o vacío:** sostienen el sollado, se suele dividir en partes según se necesite.
- **Bao barrote o latón:** se unen a los principales para ofrecer una mayor unión a los costados y reforzar la cubierta, son de menor proporción.
- **Semibao:** se ubica a los costados de la escotilla
- **Bao falso o levadizo:** bao extraíble.

Barraganete: pieza de madera que va unida a cada cuaderna, desde la cubierta hasta la tapa de regala.

Buzarda: pieza curva cuya misión es ofrecer solidez y resistencia a una proa, en los barcos de madera van ligadas a la contraroda mediante pernos (horizontalmente).

Beques: es una extensión de la proa que sobresale hasta el tajamar, su uso principal es ofrecer espacio para arreglo de velas y cabos del bauprés.

Carlinga: en los veleros es donde se apoya el mástil a la quilla en su parte inferior.

Codaste: es la continuación de la quilla en la popa. Su función es soportar el timón de la embarcación. El material del que se compone el codaste es el mismo que el de la quilla.

Contracodaste: el contracodaste hace de refuerzo al codaste, en su cara interior.

Contraquilla: es la pieza que cubre la quilla en el interior de la embarcación.

Contraroda: es un refuerzo que aporta mayor solidez a la roda, se sitúa detrás de la misma.

Coronamiento: el coronamiento es la borda de popa, cuya forma normalmente es la de un arco convexo, se mide desde la aleta de babor a la aleta de estribor. El asta de la bandera de popa sale por su punto intermedio.

Curva: fragmento de madera cuya función principal es la de unir dos piezas.

Dormido o durmiente : son cuñas de madera que sirven de relleno del hueco abrupto existente entre la sobrequilla y la quilla en la proa y la popa.

Espejo: fachada de popa limitada por el coronamiento y la bovedilla.

Estremiche: pieza de madera que hace de cierre a los vanos que están formados en la parte inferior por el durmiente, un bao a cada lado y por el trancañil en la parte superior.

Forro: en los barcos de madera, es el conjunto de tablones que cubre la estructura de una embarcación; casco, mamparos y cubiertas.

Gambota: es una pieza vertical que se apoya en el yugo principal. Las gambotas forman parte del armazón de popa y sostienen la borda.

Jardín: habitáculo que hace la función de retrete para los oficiales y comandante de un navío. Normalmente se sitúan a ambos lados de la popa, son estructuras con forma de garita, poseen conductos de desagüe hasta el agua.

El jardín también puede localizarse a proa, al lado de los beques y provisionalmente al lado de las mesas de guarnición del trinquete.

Mascarón de proa: es una talla de madera ornamentada / pintada que va acoplada en la parte alta del tajamar. El mascarón de proa tuvo una importante presencia en los buques del siglo XVI al XIX.

Palmejar: tablón que va empernado a las varengas del navío con el objetivo unir todas las cuadernas, evitando las fuertes flexiones del casco.

Pie de roda: pieza que hace de unión entre la roda y la quilla.

Quilla: es la pieza más importante de una embarcación, pues sobre ella se construye toda la estructura; esta pieza, en proa, se une a la roda y al codaste en popa. En las embarcaciones de madera, se componen de madera robusta.

Quillote: el quillote es un lastre externo que suele ser de hierro o plomo, va empernado a la quilla.

Regala: en los barcos de madera, son el conjunto de los tablones que cubren la estructura que corona la obra muerta.

Roda: la roda es la continuación de la quilla en la parte de proa de una embarcación, ésta puede ser recta o inclinada. El material de la roda es el mismo que el de la quilla.

Sobrequilla: La sobrequilla (o quilla falsa) es un madero que recorre de proa a popa, su objetivo principal es asegurar la unión de las cuadernas a la quilla.

Tajamar: es un tablón curvo que va empernado a la roda por su cara exterior, el objetivo de esta pieza es cortar el agua cuando la nave está en navegación.

Tapa de regala: pieza horizontal que se coloca sobre la borda para reforzar ésta.

Traca: en los barcos de madera, son los tablonces que conforman el forro del casco.

Traca de apurada: es la traca que se une a la quilla, es la primera que se monta.

Trancanil: en los barcos de madera, es un madero que recorre de proa a popa en los extremos del casco, en su interior; sirven para hacer más fácil el desalojo del agua de las cubiertas hacia los imbornales.

Varenga: la función principal de las varengas es la de unir las cuadernas y la quilla, ofreciendo una mayor resistencia lateral a la estructura de la embarcación.

Yugos de popa: maderos transversales que van desde el codaste hasta la última cuaderna, dan forma a la bovedilla.

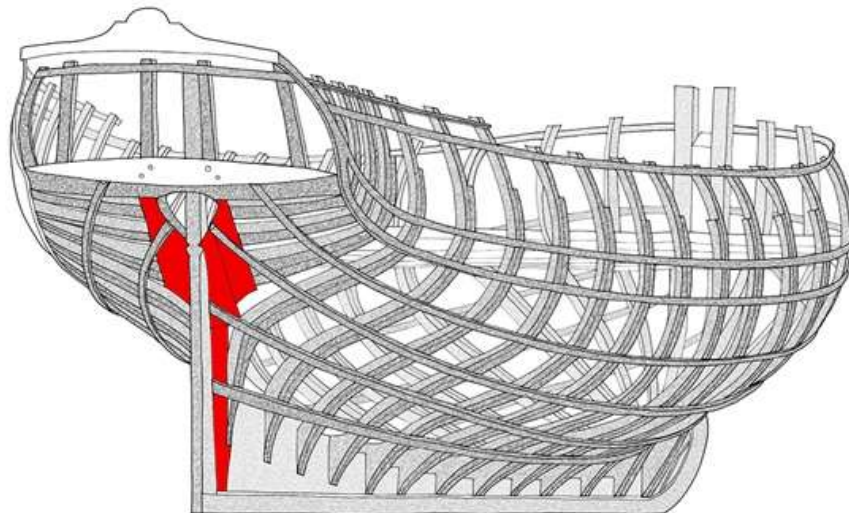


Ilustración 41: Yugos de popa ; Fuente: dicter.usal.es

1.5. Disposición de tablonés del casco

A lo largo de la historia de la construcción naval, se han desarrollado diferentes técnicas de forrado de una embarcación de madera. Dichas técnicas se dividen en dos grandes grupos que son los siguientes:

1.5.1. Técnicas tradicionales para el montaje del forro

Las técnicas aquí presentes se emplean desde tiempos inmemorables, las cuales se siguen llevando a cabo en muchas construcciones navales y sirven como base para las técnicas de forrado modernas. El forrado tradicional se divide en tres tipos principales, los cuales se muestran a continuación:

- **Forro de tope o solape liso:**

Esta técnica de forrado se caracteriza por el montaje de las tracas a lo largo del casco. Dichas tracas no van pegadas a las cuadernas, solo van unidas entre sí, canto con canto, obteniéndose una superficie lisa. Los tablonés van unidos a las cuadernas, roda, quilla y codaste; con clavos o remaches de cobre.

A la hora de ofrecer estanqueidad, las uniones entre tracas se calafatean. El calafateo tradicional se realiza con fibras de algodón o estopa de cáñamo ungidas en brea. En la actualidad existen materiales sintéticos tales como masilla epoxy o thiokol (polímero)... entre otros.



*Ilustración 42: Forro liso del navío VASA, en el Museo de Vasa de Estocolmo;
Fuente: trabajo cedido por el tutor de este TFG*

- **Forro de Tingladillo:**

El forrado a tingladillo se caracteriza por la unión de las tracas, éstas van solapadas ligeramente por sus bordes las unas con las otras. El montaje de los tablones, se lleva a cabo antes de armar la estructura de la embarcación. La unión entre ambos tablones no requiere de calafateo, ya que la disposición de los mismos ofrece estanqueidad.

Las embarcaciones de Tingladillo suelen abrirse cuando están fuera del agua, la madera se seca y la nave deja de ser estanca; por ello una vez estén a flote, necesitan un tiempo de adaptación, hinchándose la madera y a su vez volviendo a recuperar su estanqueidad.



Ilustración 43: Forro de Tingladillo, bote salvavidas del vapor LA PALMA; Fuente: trabajo propio.

- **Doble forro:**

La técnica del doble forro se lleva a cabo al igual que en la de solape liso, en este caso se le añade una capa más al casco. Los tablones, en el segundo estrato de forrado, se orientan de manera distinta a la capa de debajo, añadiendo una mayor resistencia al casco. Entre las dos capas se le puede añadir calafate, mejorando aún más la resistencia al agua.

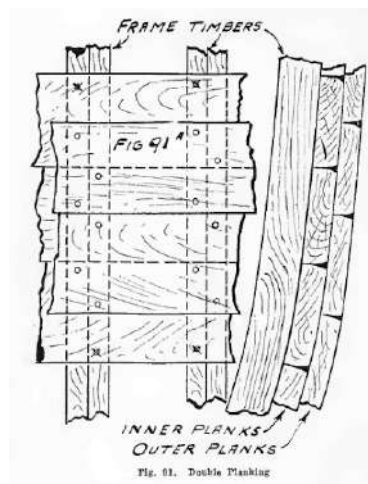


Ilustración 44: Doble Forro; Fuente: lh3.googleusercontent.com

1.5.2. Técnicas modernas para el montaje del forro.

Hoy en día los barcos de madera se construyen empleando técnicas que abaratan los costes, con el objetivo de mejorar cualidades como el peso y el aislamiento. Las técnicas de forrado modernas emplean el epoxy para sellar las juntas, los procesos de forrado moderno son los siguientes:

- **Forro de listones o strip plank:**

Esta técnica es igual que la del forro liso, la diferencia principal es el uso de listones en vez de tracas. El forrado por listones, se monta una vez esté construida la estructura interna de la embarcación, adaptándose los mismos a las formas del casco.

La desventaja de este sistema es que necesitamos más del doble de listones de madera, al ser éstos más finos, en lo que respecta a las tracas del sistema

tradicional de forrado liso. Otra desventaja es el inconveniente de que se necesita mucho más tiempo para forrar un casco.



Ilustración 45: Forro de listones; Fuente: selway-fisher.com

- **Forro de contrachapado:**

El contrachapado es un material compuesto que resiste la humedad, el calor, el agrietado, a los microorganismos, a la torsión, a la deformación y las contracciones. Este material es normalmente empleado para la fabricación de embarcaciones pequeñas. En el forrado de contrachapado, las planchas de dicho material, se van adaptando a la forma del casco, ocupando la mayor superficie posible con la misma.



Ilustración 46: Forro de contrachapado; Fuente: pinterest.es

- **Forro de tingladillo contrachapado o “playwood”:**

El tingladillo de contrachapado sigue los mismos principios constructivos del tingladillo tradicional, la única diferencia es el tipo de madera y las características que ofrece la misma.



Ilustración 47: Forro de tingladillo contrachapado; Fuente: epoxycraft.com

- **Forro cosido y estratificado:**

Esta técnica es muy sencilla, no requiere de moldes y utiliza pocas piezas. Tal y como indica su nombre, las planchas de contrachapado van unidas las unas con las otras mediante cosido con alambre de cobre o grapas (el cosido se refuerza con fibra unida en resina) de forma temporal. Una vez las piezas estén bien unidas, la superficie se unta en resina.

El método aquí presente, posee una ventaja, ya que no necesita de estructura interna para dar forma a la embarcación, esto se consigue recortando las piezas de contrachapado con la forma definitiva.



Ilustración 48: Forro cosido de una canoa; Fuente: en.wikipedia.com

1.6. Carpintería de ribera

1.6.1. ¿Qué es la carpintería de ribera?

La carpintería de ribera es el oficio de un artesano que construye embarcaciones de madera por métodos tradicionales:

1.6.2. Herramientas tradicionales de un carpintero de ribera.

Las herramientas de un carpintero de ribera se dividen en cinco grandes grupos que son los siguientes:

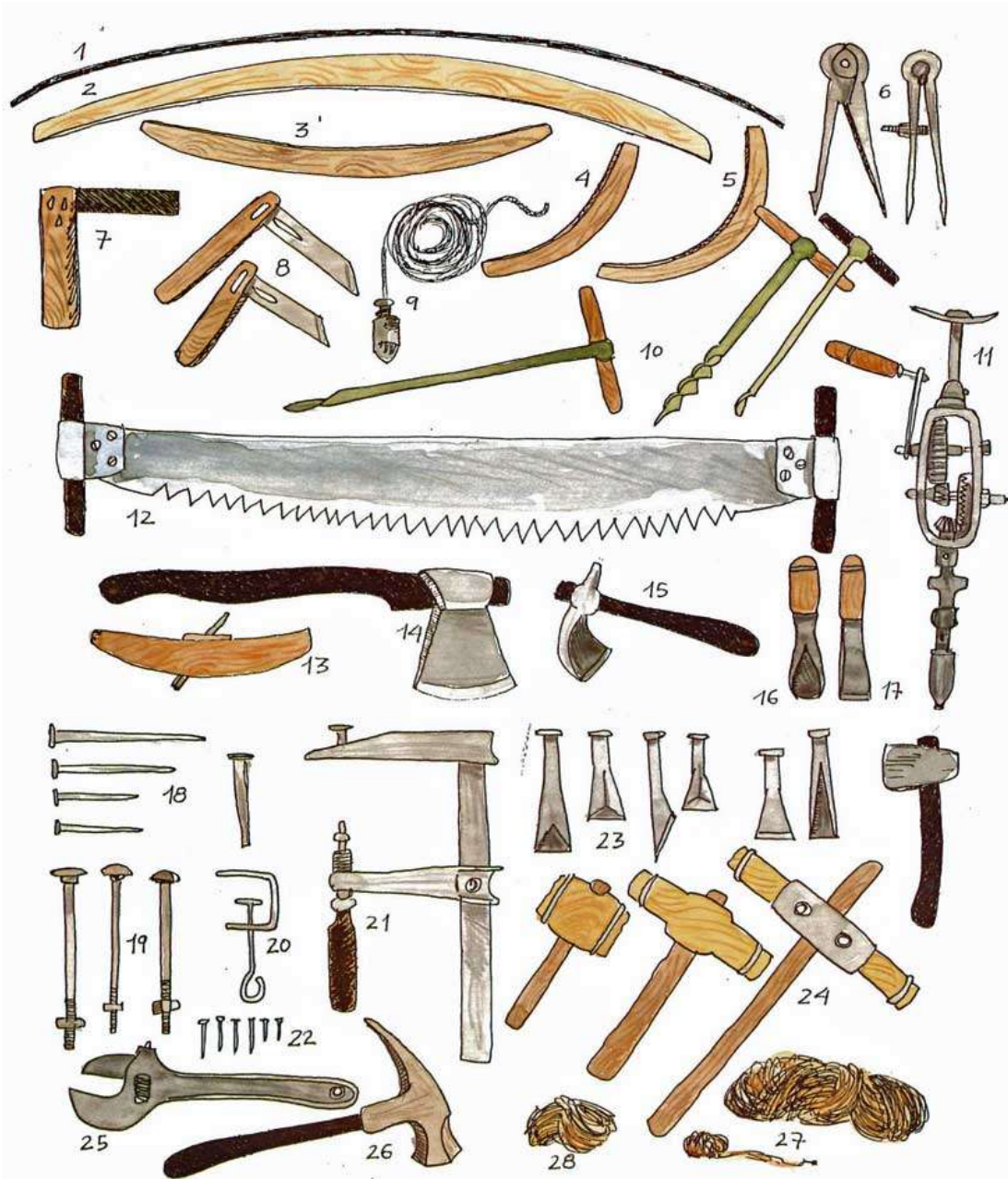
- **Herramientas de trazado:** son las herramientas fundamentales para el trazado de las formas de la embarcación. Las herramientas de trazado son las siguientes:
 - Plantillas y gálidos.
 - Juego de compases.
 - Escuadra.
 - Falsas escuadras.
 - Plomada.

- **Herramientas de corte:** las herramientas usadas para el corte de madera en carpintería de ribera son las siguientes:
 - Tronzón.
 - Cepillo curvo.
 - Hacha de carpintero.
 - Azuela.
 - Gubia y formón.

- **Herramientas de perforación:** las herramientas tradicionales para perforar madera son las siguientes:
 - Colas de ratón.
 - Parafusa.

- **Herramientas de unión y ensamblaje:** para la unión y ensamblaje de piezas se utilizan las siguientes herramientas:
 - Juego de clavos de diferentes tamaños (preferiblemente de sección cuadrada).
 - Pernos de diferentes tamaños.
 - Llave inglesa.
 - Martillo.
 - Sargentos.

- **Herramientas de calafatear:** para calafatear se usan las siguientes herramientas:
 - Hierros de calafatear o hierros de carenar.
 - Mazos y martillos de calafate.
 - Estopa para las juntas del forro.



HERRAMIENTAS DEL CARPINTERO DE RIBERA

1 a 5: Plantillas para diversas piezas: cuadernas, varengas... etc. 6: Compases. 7: Escuadra. 8: Falsas escuadras. 9: Plomada. 10: Barrenas. 11: Parafusa. 12: Sierra o Tronzón. 13: Cepillo curvo. 14: Hacha de Carpintero. 15: Azuela. 16: Gubia. 17: Formón. 18 y 22: Clavos de distintos tamaños. 19: Pernos. 20 y 21: Sargentas. 23: Hierros de Calafatear o Carenar. 24: Mazos y Martillos de Calafate. 25: Llave inglesa. 26: Martillo. 27 y 28: Estopa para las juntas del forro.

Ilustración 49: Herramientas del carpintero de ribera; Fuente: arrukero.com Ilustración del libro "Luanco 1900".

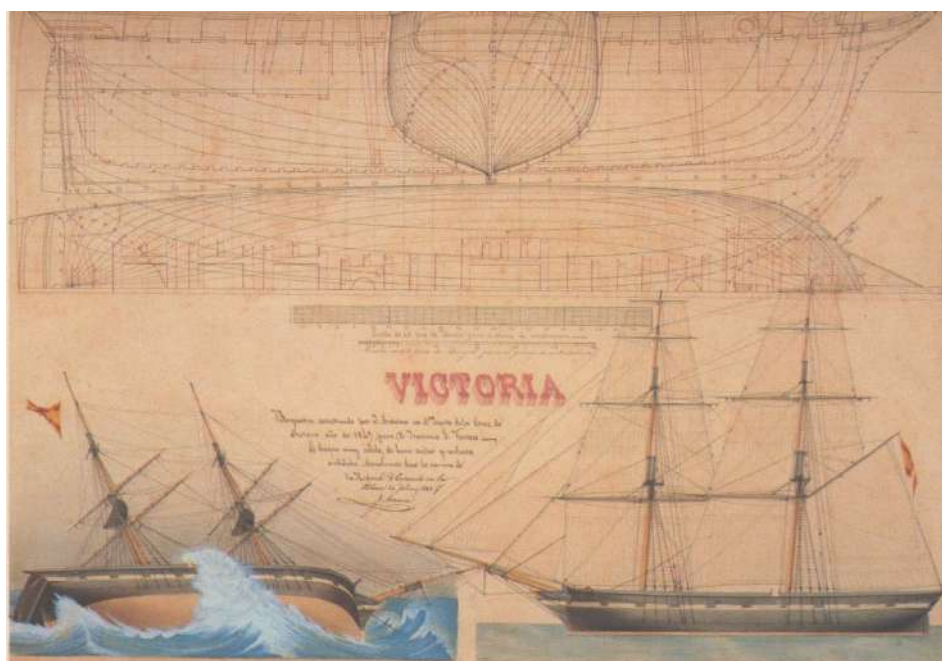
1.7. Carpintería de ribera en Canarias.

La carpintería de ribera en Canarias nace una vez termina la conquista, fruto de las reparaciones y necesidades pesqueras del archipiélago. En Tenerife, por aquella época destacaron maestros como: Cristóbal Martín (constructor naval), Juan Fernández (carpintero de ribera) y Hernán Rodríguez (carenero).

Más tarde en 1522, la carpintería de ribera nace en Gran Canaria, con el pescador Francisco Pérez, el cual construye un barco de pesca para sí mismo y su socio Luis Baez. Los primeros carpinteros de ribera seguían las mismas técnicas de construcción naval heredadas en la Edad Media.

Las familias de carpinteros de ribera nacen con los Blas; Juan Blas y su hijo Leonel Blas. Juan Blas construyó barcos por encargo, entre 1567 y 1574, y su hijo entre 1568 y 1584.

Ya en 1771, destaca un gremio de carpinteros de ribera, formado por Francisco Domínguez, Fernando Corchero, y los hermanos Miguel y Eugenio Farías. Miguel Farías destacó por la construcción de 30 bergantines.



*Ilustración 50: Bergantín goleta Victoria construido en Tenerife 1850;
Fuente: apuntesjdrz.blogspot.com*

En 1881 destaca Manuel Márquez López , con la construcción de la goleta Bella Lucía, en los astilleros de San Telmo, Las Palmas. Esta goleta es una de las embarcaciones más conocidas de la flota de Canarias. En la actualidad se conserva en Lanzarote. Al igual que muchos otros carpinteros de ribera, Manuel Márquez López se dedicó desde 1876 a la construcción de embarcaciones de servicio para el Puerto de La Luz.

En cuanto a la transición siglo XX , cabe destacar el traslado de los Astilleros de San Telmo al Puerto de La Luz.



Ilustración 51: Astilleros de San Telmo, Las Palmas 1898-1900, Fuente: fedac.org;

En 1898 el carpintero José Acosta Dominguez, en el varadero Blandy Brothers y Cia , destaca por la construcción a su cargo de 14 embarcaciones de madera, de las cuales la mayoría eran gabarras para almacenar carbón. Un año más tarde vuelve a estar bajo su mando otras 10 embarcaciones más; sumando un total de 1.305 toneladas. Ya en 1900 construye la Maspalomas, la gabarra más grande nunca antes construida en el Puerto de La Luz, con más de 26 m de eslora y 122 toneladas. A medida que fue creciendo la actividad portuaria, también lo hicieron las construcciones en madera, hecho que convirtió a Gran Canaria en la Isla con mayor peso en construcción.

En la actualidad, la carpintería de ribera en las islas está en declive, pues quedan muy pocos maestros carpinteros; uno de los maestros más conocidos en la actualidad es Agustín Jordán Romero, un carpintero de ribera con 27 barcos construidos y más de 120 reparaciones.



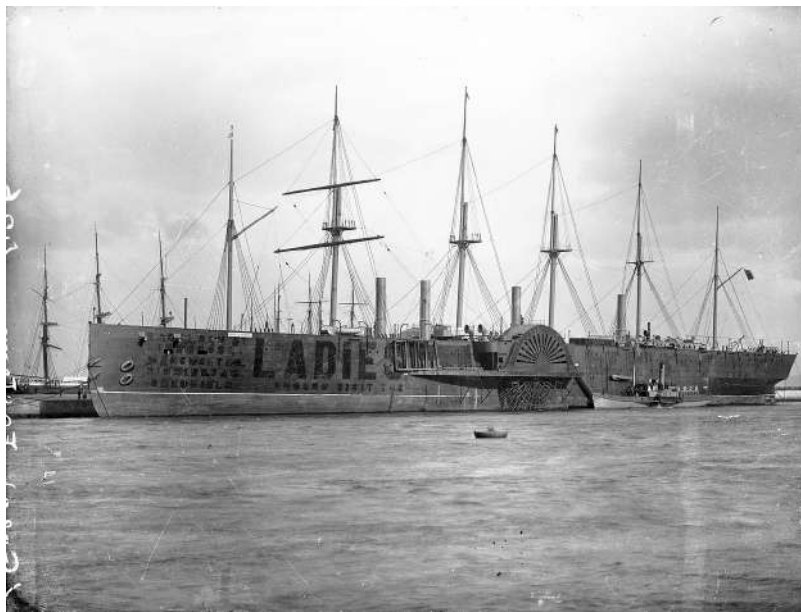
Ilustración 52: Agustín Jordán Romero junto a una de sus embarcaciones,
Fuente: diariodelanzarote.com;

2. Buques y embarcaciones de metal

2.1. Contexto histórico

El hierro en construcción naval comienza a aparecer en 1776, embarcaciones fluviales comenzaron a sustituir la madera por hierro, más tarde en 1790 empiezan a surgir embarcaciones completamente de hierro. Esta nueva técnica de construcción dejó de tener presencia notable, ya que se generaban problemas de desvíos en los compases de abordó, causados por el hierro, problema que se resolvió en 1830. Años más tarde, en 1819 se bota en Escocia el primer buque pasaje construido en su totalidad en hierro, el Vulcan, se destinó a la navegación en los canales de Forth y Clyde . Ya en 1821, nace el primer buque de vapor construido en hierro, el Aaron Manby; de 36,5 m de eslora y 5,5 m de manga. Aaron Manby, estaba equipado con dos motores de 80 cv.

Más tarde en 1843, el ingeniero Isambard Kingdom Brunel diseña y construye el SS Great Britain, el primer transatlántico del mundo con casco de hierro, abriendo las puertas a un nuevo estilo de navegación. Décadas más tarde, el 31 de enero de 1858, Brunel vuelve a impresionar al mundo, ese día en el astillero J Scott Russell & Co, en Millwall (Londres), se bota el buque con casco de hierro más grande jamás construido: el SS Great Eastern, un trasatlántico de propulsión mixta con capacidad para 4000 pasajeros, de 211 m de eslora y 20 m de manga, con un desplazamiento de 32 160 toneladas y 5 motores, uno para la hélice y 4 para las ruedas de paletas.



*Ilustración 53: SS Great Britain al final de su vida marinera,
Fuente: Wikimedia Commons*

A medida que avanzaba el siglo XIX, los buques de madera fueron sustituidos por buques de hierro debido al gran desarrollo de la industria siderúrgica, hasta que debido a los avances tecnológicos se descubre una aleación de hierro y carbono, el acero, al que en composición también se le incluyen otros metales, los cuales aportan las características que hoy en día conocemos. En Francia el acero sustituyó al hierro desde 1873, y en el Reino Unido años más tarde, a partir de 1880.

Los primeros buques de acero aparecen en el Reino Unido a finales del siglo XIX, siendo HMS Irish (1877) y HMS Mercury (1878), convirtiéndose en los primeros buques de guerra con casco de acero. Ya desde 1880 el acero ocupó el hueco del hierro en la construcción de buques mercantes.

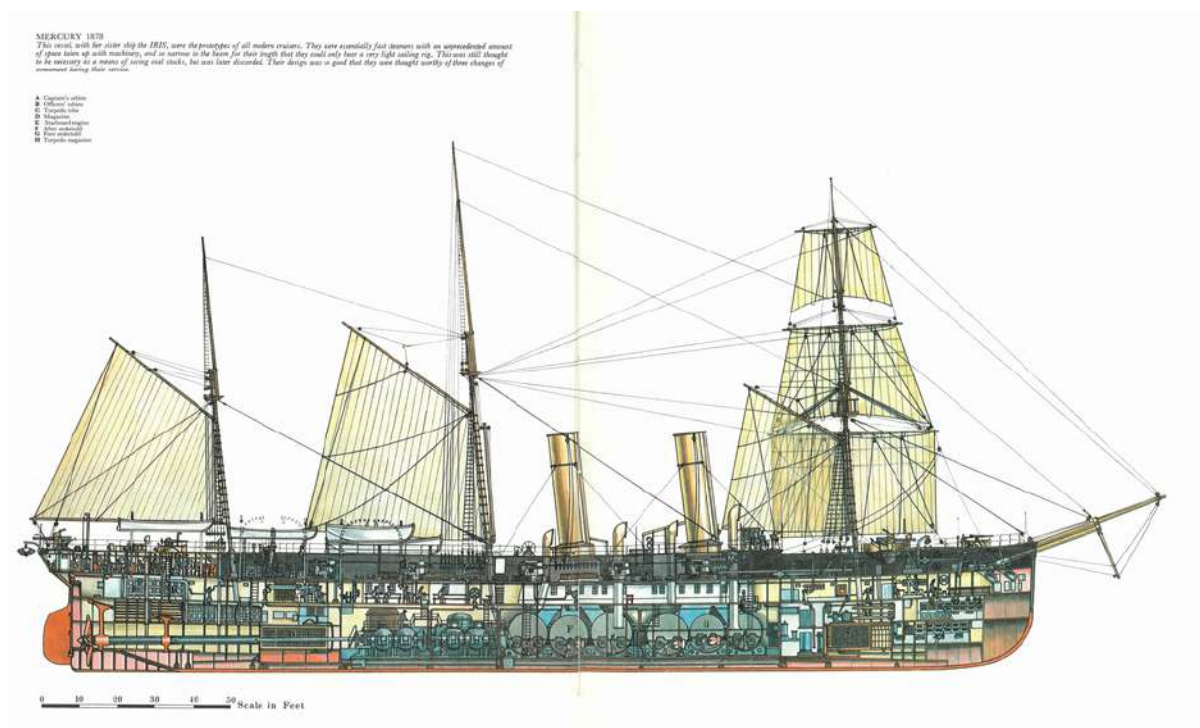


Ilustración 54: Diagrama Longitudinal del HMS Mercury 1878,
Fuente: reddit.com

En 1894 , los astilleros de Yarrow & Co construyeron la primera embarcación de aluminio, un torpedero de 10 toneladas, con un motor de vapor de 3000 cv, alcanzando una velocidad de 20,5 nudos. Este nuevo metal ya se conocía desde 1825, pero su gran costo de producción retrasó su uso en este tipo de construcciones, por lo que el acero le siguió ganando terreno; aún hoy en día más del 70% de las embarcaciones del mundo se fabrican en acero.

A medida que las técnicas en aleaciones y los procesos de construcción de embarcaciones mejoraban, el precio del aluminio bajaba considerablemente, permitiendo ser usado en una amplia gama en bienes inmuebles, incluyendo los barcos. El aluminio se volvió popular en construcción naval entre los 50 y los 70, en la actualidad sigue siendo un metal muy popular, pues su uso es muy frecuente en embarcaciones de alta velocidad y en embarcaciones de recreo.

2.2. Buques y embarcaciones de acero.

Actualmente, el acero es el material predominante en las construcciones navales, pues ocupa el 75% de las construcciones navales, el resto corresponde a las construcciones en aluminio, madera, materiales compuestos....

2.2.1. Tipos de aceros navales.

Los aceros empleados en construcción naval deben de cumplir con las exigencias de las sociedades clasificadoras de los buques, las cuales regulan las construcciones navales. Los tipos de aceros más utilizados son los siguientes:

TIPO DE ACERO	CARACTERÍSTICAS	CONTENIDO DE LA ALEACIÓN (%)	RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA
HTS	- Gran resistencia a la tracción. - Acero de bajo contenido en carbono	Se compone principalmente de: -Carbono 0,36 a 0,44 -Manganeso 0,65 a 1,10 -Fósforo 0 a 0,04 -Azufre 0 a 0,004 -Silicio 0,10 a 0,40 -Cromo 0,75 a 1,20 -Molibdeno 0,15 a 0,35	29 733 a 65 267 PSI 4590 Kg/cm ²
HY-80	- Alta resistencia a la corrosión. - Alta resistencia a la tracción. - Acero de baja aleación.	-Carbono 0,10 a 0,18 -Manganeso 0,10 a 0,40 -Fósforo 0,015 -Azufre 0,004 -Silicio 0,15 a 0,38 -Níquel 3,00 a 3,25 -Cromo 1,00 a 1,80 -Molibdeno 0,20 a 0,60 -Vanadio 0,03 -Titanio 0,02 -Cobre 0,25	80 000 PSI 5625 Kg/cm ²
HY-100	-Bajo contenido en carbono. -Buena ductilidad -Resistente a la tracción	-Carbono 0,10 a 0,18 -Manganeso 0,10 a 0,40 -Fósforo 0,015 -Azufre 0,004 -Silicio 0,15 a 0,38 -Níquel 2,25 a 3,50 -Cromo 1,00 a 1,80 -Molibdeno 0,20 a 0,60 -Vanadio 0,03 -Titanio 0,02 -Cobre 0,25	100 000 PSI 7031 Kg/cm ²

<p>HY-130</p>	<p>-Alta resistencia a la corrosión. -Alta resistencia a la tracción. -Buena ductilidad -Ideal para recipientes de alta presión.</p>	<p>-Carbono 0,10 a 0,18 -Manganeso 0,10 a 0,40 -Fósforo 0,015 -Azufre 0,004 -Silicio 0,15 a 0,38 -Níquel 2,25 a 3,50 -Cromo 1,00 a 1,80 -Molibdeno 0,20 a 0,60 -Vanadio 0,03 -Titanio 0,02 -Cobre 0,25</p>	<p>130 000 PSI 9140 Kg/cm²</p>
---------------	---	--	--

2.2.2. Espesores de planchas

En construcción naval los espesores de plancha de acero van desde 3 mm a 150 mm. Las planchas deben de cumplir dos limitaciones;

- Peso máximo de 25 toneladas.
- Dimensiones máximas 22,0 m de longitud y un ancho de 4,2 m

2.2.3. Corrosión y mantenimiento del acero

La corrosión es el gran problema al que se enfrenta un buque, pues éste flota en el electrolito natural conocido como mar. El mar como electrolito, junto a la embarcación, conforman una gran pila de corrosión, causando la pérdida de masa de los metales con menor potencial (ánodo). Dicha masa perdida pasa a los metales de mayor potencial (cátodo), la corrosión que vemos es el resultado de la citada actividad.

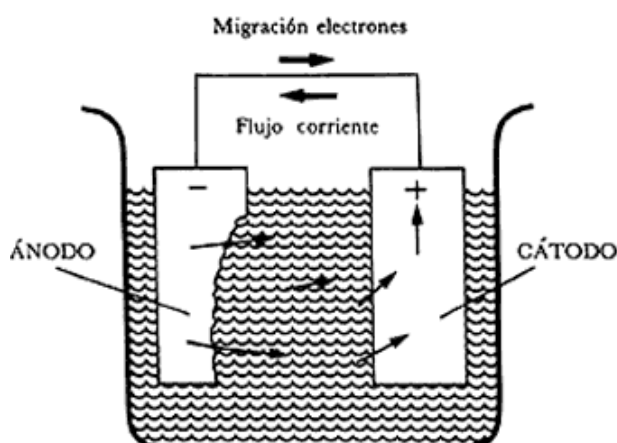


Ilustración 55: Diagrama de una célula de corrosión,
 Fuente: quimicamantenimiento.blogspot.com

Un correcto y constante mantenimiento alargará la vida útil de un buque, e incluso seguirá siendo seguro durante dicho periodo de tiempo. A continuación veremos los siguientes apartados que deberán de tenerse en cuenta:

A. Tipos de mantenimiento

Antes de realizar un mantenimiento hemos de tener en cuenta los distintos tipos que existen:

TIPO DE MANTENIMIENTO	FINALIDAD	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CORRECTIVO	Corrección de errores que requieran de una intervención para que el equipo funcione correctamente.	-Menor costo a corto plazo. -No requiere de una planificación compleja.	-Imprevisible, las averías suceden de manera imprevisible. -Los errores inesperados pueden llegar cuando no se dispone de material. -Fallos muy graves pueden resultar costosos a largo plazo.
PREVENTIVO	Acciones para reducir los futuros problemas	- Programado -Permite calcular la disponibilidad de repuestos. -Disminución del mantenimiento correctivo.	-No permite determinar el desgaste de las piezas si se emplea con cierto periodo. -Requiere del uso de las recomendaciones del fabricante y de personal cualificado.
PREDICTIVO	Tareas (análisis de lubricantes, vibraciones, termografía...) para evaluar el estado de maquinaria o de elementos para conocer si se requiere intervenir.	-Supone un gran ahorro. -Mayor fiabilidad -Reducido personal -Larga durabilidad de repuestos.	-Material costoso. -Costosa implementación. -Programación necesaria.

A. Tipos de corrosión

En este apartado se muestran los diferentes tipos de corrosión que podemos encontrar a bordo:

- **Corrosión galvánica:** proceso electroquímico en el que un metal se oxida al estar en contacto con un metal más noble, ambos metales están en contacto con un electrolito, en nuestro caso, el mar.



*Ilustración 56: Corrosión galvánica en un intrafueraaborda,
Fuente: lake-hartwell.org*

- **Corrosión uniforme:** en ambientes marinos el acero al carbono genera una capa homogénea de óxido de hierro en su superficie. Dicha capa de óxido aumenta de grosor con el paso del tiempo, hasta que se desprende, el ciclo se repite sucesivamente. Para evitar este tipo de corrosión se emplean ánodos de sacrificio o recubrimientos.

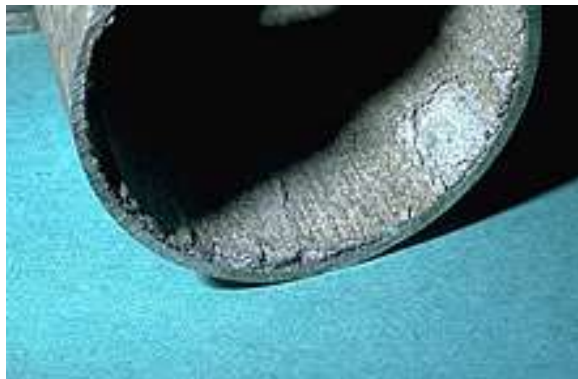


*Ilustración 57: Corrosión uniforme en un casco,
Fuente: jetdock.com*

- **Corrosión localizada:** este tipo de corrosión afecta al metal de manera profunda y localizada. Es difícil de detectar ya que estas perforaciones suelen estar cubiertas por material corroído y normalmente son muy pequeñas. La corrosión localizada tarda meses e incluso años en aparecer. Encontramos los siguientes tipos:
 - Corrosión en placas: mezcla entre corrosión localizada y corrosión uniforme.
 - Corrosión por picadura: se originan por la presencia de poros en la superficie del metal y pueden ser de diferentes tipos:
 - a) Corrosión por fricción
 - b) Corrosión por cavitación
 - c) Corrosión microbiónica
 - d) Corrosión intergranular
 - e) Corrosión por erosión.



*Ilustración 58: Corrosión microbiónica
Fuente: berkeyyagua.es*



*Ilustración 59: Corrosión intergranular, muy presente en aceros inoxidable y también frecuente en soldaduras
Fuente: cdcorrosion.com*

- **Corrosión selectiva:** los elementos más electronegativos se disuelven, dejando una estructura porosa poco estable en cuanto a propiedades estructurales. Está presente en aleaciones como:
 - Latón (70% Cu y 30% Zn): la corrosión se produce sobre el cinc, proceso llamado descincado.
 - El níquel presente en aceros.
 - La plata en aleaciones con oro.
 - Níquel, estaño y cobre de las aleaciones con cobre.

B. Prevención de la corrosión

Para prevenir la corrosión se emplean los siguientes métodos:

- **Pinturas antiincrustantes:** también conocidas como pinturas antifouling, tienen como objetivo principal retrasar el crecimiento de seres biológicos que se adhieren al casco. En el pasado se usaban pinturas con componentes tóxicos tales como arsénico, azufres, pinturas con estaño; hoy en día estos compuestos nocivos han sido sustituidos por sustancias bioactivas entre otras.

La pintura antifouling se solubiliza parcialmente en contacto con el agua, generando una “barrera protectora” gracias a la liberación de los componentes bioactivos.

- **Protección catódica por ánodos de sacrificio:** el objetivo principal de esta práctica es producir una corriente galvánica entre el casco del buque, que actúa como cátodo, y un ánodo de sacrificio a través del agua (electrolito).

Los ánodos de sacrificio se disponen a lo largo de la obra viva del buque y en los lugares vitales como el timón, codaste, túneles de hélices transversales... Estos ánodos de sacrificio se disuelven mucho antes que el acero en nuestro caso, ya que están fabricados de metales con mayor potencial electronegativo, tales como magnesio, zinc y aluminio.



Ilustración 60: Protección catódica por ánodos de sacrificio, fuente: electronicanautica.es

- **Protección catódica por corriente impresa:** este sistema consiste en un conjunto de electrodos de referencia, los cuales tienen como objetivo medir la diferencia de potencial a lo largo del casco. Cuando la diferencia de potencial indica evidencias de corrosión, el sistema transfiere una corriente eléctrica a través de la superficie del casco y el agua, hasta que consigue volver a estabilizar dicho potencial.

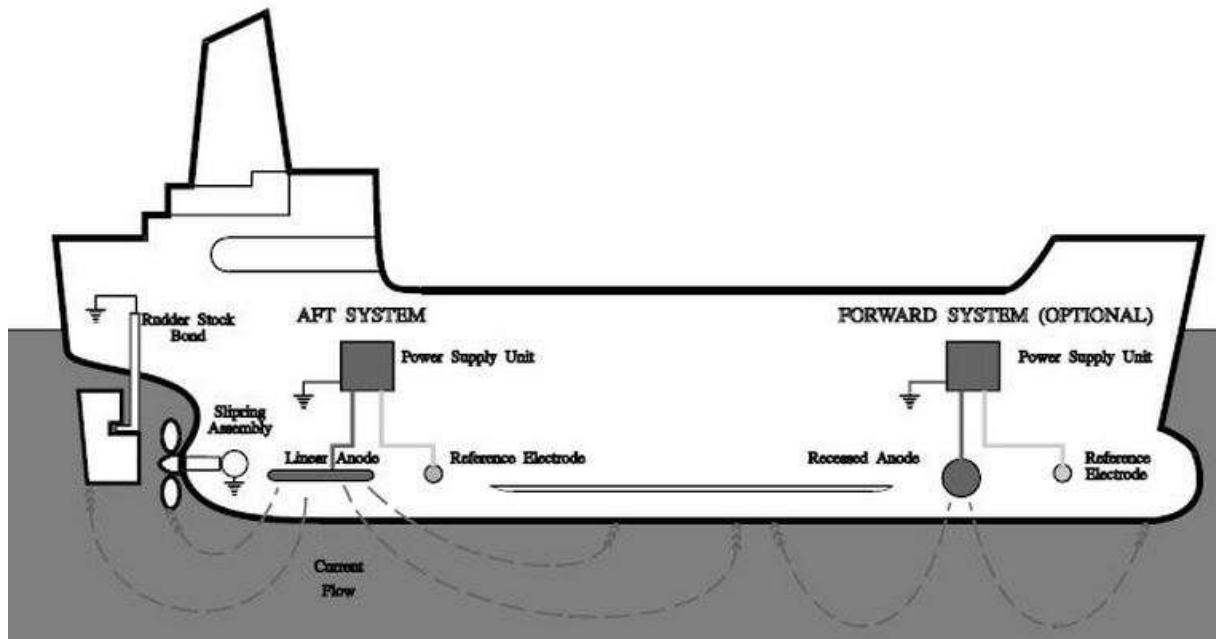


Ilustración 61: Sistema de protección catódica por corriente impresa; fuente: ingenieromarinero.com

C. Otras consideraciones a tener en cuenta

A la hora de realizar el mantenimiento de un buque se ha de tener las siguientes consideraciones:

- Los ánodos de sacrificio en zinc han de ser sustituidos de entre 1 a 3 años.
- Los ánodos de sacrificio en aluminio han de ser sustituidos cada 4 años.
- La varada del buque se realiza de 1 a 2 años, dependiendo.
- Normativa vigente.

2.2.4. Astilleros más importantes en la construcción naval en acero.

ASTILLERO	FUNDACIÓN	LUGAR	TIPOS	PRODUCCIÓN 2012
Shanghai Waigaoqiao	1998	Shanghai, China	-Mercantes -Plataformas -Buques offshore	15.096.900 GT
Imabari Shipbuilding	1901	Marugame, Japón	-Todo tipo de buques. (LNG no).	15.692.687 GT
Hyundai Mipo Dockyard	1975	Ulsan, Corea del Sur	-Buques especiales -Buques quimiqueros y gaseros - Ferries -Graneleros	16.715.650 GT
Oshima Shipbuilding	1973	Oshima, Japón	-Principalmente graneleros. -Otros tipos de buques.	16.983.004 GT
Tsuneishi Shipbuilding	1917	Namakuma, Japón	-Graneleros -Quimiqueros -Portacontenedores -Cruceiros	17.824.038 GT
Mitsubishi Heavy Industries	1914	Nagasaki, Japón	-Gaseros -Buques de pasaje -Buques especiales -Maquinaria marina -Estructuras marinas	19.506.548 GT
Hyundai Samho	1998	Samho, Corea del Sur	-Petroleros -Graneleros -Gaseros -Carga rodada -Portacontenedores	28.414.515 GT
Samsung Heavy Industries	1974	Geoje, Corea del Sur	-Buques tanque -Graneleros -Portacontenedores -Buques de pasaje -Buques especiales	58.082.349 GT
Daewoo Shipbuilding	1973	Okpo, Corea del Sur	-Buques tanque -Buques de pasaje -Ro-Ro -Buques especiales -Graneleros -Portacontenedores	68.287.087 GT
Hyundai Heavy Industries	1972	Ulsan, Corea del Sur	-Buques tanque -Buques especiales	93.893.700 GT

2.3. Buques y embarcaciones de aluminio.

2.3.1. Tipos de aluminios en construcción naval.

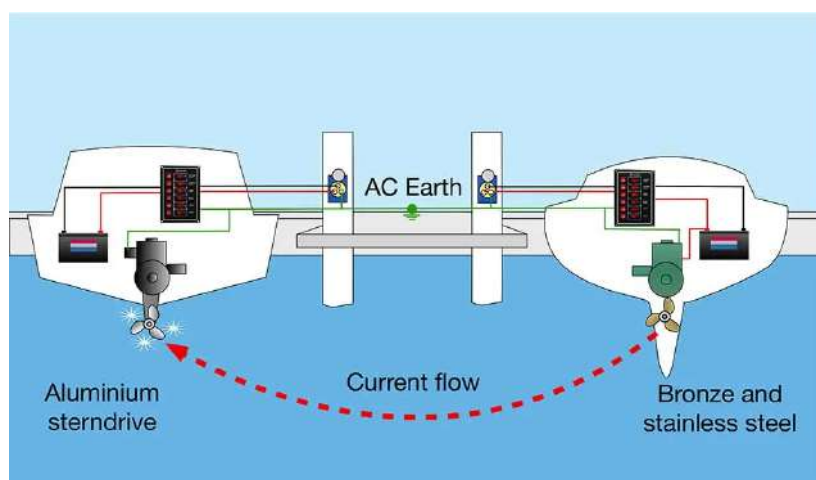
En construcción naval se emplean las siguientes aleaciones de aluminio:

ALEACIÓN	TEMPERADO	USOS	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
Aluminio 5050	H34, H36	Refuerzos estructurales	-Reciclable -Resistencia a la corrosión. -Ligero
Aluminio 5052	H32	Planchas y refuerzos estructurales	-Soldable -Resistencia a la fatiga media a alta. -Alta resistencia a la corrosión en agua marina. -Fácil mecanizado
Aluminio 5086	H32, H34, H112, H116	Planchas y refuerzos estructurales	-Alta resistencia a la corrosión. -Fácil soldado -Mecanizable.
Aluminio 5383	H116	Planchas	-Resistente a la corrosión
Aluminio 5456	H116	Planchas, refuerzos estructurales y tuberías	-Ideal para tanques LNG -Fácil soldado. -Fácil procesado -Susceptible a corrosión por exfoliación.
Aluminio 6061	T4, T6	Perfiles extruidos (T4) Refuerzos estructurales (T6)	-Buena soldabilidad -Resistencia media alta -Resistencia a la corrosión. -Dúctil
Aluminio 6063	T6	Tuberías	-Resistencia media -Buen acabado superficial -Alta resistencia a la corrosión -Soldable.
Aluminio 6082	T6	Perfiles extruidos	-Resistente a la corrosión. -Soporta alto estrés estructural.

2.3.2. Tipos de corrosión presentes en embarcaciones de aluminio.

El aluminio usado en construcción naval posee una excelente resistencia a la corrosión, si se protege adecuadamente, su degradación es prácticamente nula. A continuación se exponen los problemas de corrosión a los que se enfrentan este tipo de embarcaciones:

- **Corrosión galvánica:** como comentábamos anteriormente, la corrosión galvánica es un proceso electroquímico en el que un metal se oxida al estar en contacto con un metal más noble, ambos metales están en contacto con un electrolito, en nuestro caso, el mar. Las causas de corrosión galvánica en embarcaciones de aluminio son:
 - **Cercanía a una embarcación de acero:** si una embarcación de aluminio (ánodo) está amarrada cerca de una embarcación de acero (cátodo), se produce una diferencia de potencial entre ambos metales, al estar ambos sumergidos en el agua (electrolito). Si se conectan ambas embarcaciones a una toma eléctrica en tierra, se produce un cortocircuito, dando lugar a la corrosión en el aluminio.



*Ilustración 62: Momento en el que se produce corrosión galvánica;
fuente: safe-skipper.com*

- **Casco como conductor:** este caso supone un riesgo alto para las embarcaciones de aluminio, por lo que no se debe conectar los equipos eléctricos al casco como masa; se incluyen también los motores, generadores, alternadores... En el caso de las baterías, los bornes negativos deberán ser conectados al casco en un único punto central.
- **Por contacto entre dos metales**

La corrosión galvánica es el principal problema de los buques de aluminio, pero existen otro tipo de corrosiones posibles, son las siguientes:

- **Corrosión por exfoliación:** este tipo de corrosión se produce bajo la superficie del metal, las capas enteras de metal se corroen. El aspecto de este tipo de corrosión es escamoso, normalmente en la superficie se forman ampollas. La corrosión por exfoliación es muy común en aleaciones de aluminio, que han sido sometidas a laminación en caliente o en frío.



Ilustración 63: Corrosión por exfoliación, fuente: Wikimedia Commons

- **Corrosión intergranular:** la corrosión se produce en los límites intergranulares del metal, donde se produce una diferencia de potencial con la microestructura de la aleación.
- **Corrosión por picadura:** se originan por la presencia de poros en la superficie del metal.



Ilustración 64: Corrosión por picadura en aluminio naval, fuente: cruisersforum.com

2.3.3. Mantenimiento de embarcaciones de aluminio.

Sobre los buques y embarcaciones de aluminio se tiene que tener en cuenta lo siguiente:

- **Protección catódica:** los ánodos de sacrificio a usar son de zinc, para agua de mar; en el caso de agua dulce se usarán ánodos de magnesio. Si se usa protección catódica por corriente impresa no se debe de superar los 1300 milivoltios
- **Pintado de superficies:** en el caso de la pintura, hay que saber lo siguiente:
 - No se debe de pintar el casco con antifouling con base de cobre, ya que éste producirá corrosión electrolítica con el aluminio.
 - Toda estructura donde se acumula agua de mar o lluvia, ha de estar pintada.
 - Las pinturas utilizadas han de ser compatibles con el aluminio.
 - Sentina y tanques han de estar pintados
 - El aluminio que no está sumergido en agua genera una oxidación natural, se auto-anodiza. Razón por la que se pueden encontrar embarcaciones con la obra muerta sin pintar.
- **Otras tareas de mantenimiento:**
 - Hay que reparar grietas y arañazos que expongan el aluminio a la corrosión.
 - Los circuitos del sistema de baterías han de estar bien aislados, con esto se evita corrientes parásitas en el casco. Solo 1mA de corriente parásita puede generar importante grado de corrosión en un año.
 - Todos los circuitos eléctricos han de estar aislados del casco.
 - Las patas de la maquinaria han de estar correctamente aisladas.
 - La tornillería deberá de ser compatible con el aluminio, de no serlo se puede originar corrosión galvánica.

2.3.4. Prestaciones del aluminio

El aluminio en las embarcaciones presenta las siguientes cualidades:

- Las embarcaciones adquieren mayor velocidad y menor consumo de combustible.
- El aluminio es un material reciclable.
- Larga vida útil, de 30 a 40 años.
- Los cascos de aluminio permiten un amplio abanico de configuraciones.
- Alta resistencia elástica
- Mayor índice de estabilidad.
- El aluminio se emplea en construcción de superestructuras en barcos de acero, esto hace bajar el centro de gravedad del buque, aumentando su estabilidad.
- Gracias a la ductilidad del material, las embarcaciones de aluminio resisten los impactos.
- El aluminio es 30 veces más elástico que el acero.



Ilustración 65: Construcción de un catamarán de aluminio, Astilleros INCAT
fuente: trabajo cedido por el profesor tutor de este TFG

2.3.5. Construcción de un buque de aluminio

La construcción de un buque de aluminio comienza con la construcción del bloque principal; al igual que gran parte de los buques de acero, los buques de aluminio se construyen mediante la unión de módulos. Éstos módulos se construyen en otras instalaciones, y más tarde se transportan a la grada de construcción, donde se unen al módulo principal comentado anteriormente.



Ilustración 66: Transporte de un módulo del casco de un buque de aluminio, Fuente: fotografías del profesor tutor de este TFG.

La unión de los módulos, que conformarán el buque, se realiza mediante dos procesos diferentes de soldadura:

- **Soldado en el interior de los módulos:** la soldadura en el interior de cada módulo se realiza al “hilo”, es decir, esta soldadura es continua. El proceso para soldar con este método es el siguiente:
 - 1) En primer lugar se realizan puntos de soldadura con el objetivo de mantener los módulos unidos entre sí sin que sufran posibles desviaciones.
 - 2) Se suelda continuamente.
 - 3) En caso de acabarse el “hilo”, se amola la unión de la soldadura anterior y de la siguiente, con el objetivo de evitar posibles defectos posteriores.



*Ilustración 67: Cordones de soldadura en el interior de un módulo,
Fuente: fotografías del profesor tutor de este TFG.*

- **Soldado en el exterior de los módulos:** el exterior de los módulos de la nave se suelda usando una técnica de soldadura a la cerámica. En esta técnica se emplea un surco o canal de cerámica que se aplica en los extremos de la zona a soldar. El canal de cerámica tiene como objetivo evitar que la soldadura se expanda hacia los lados, quedando contenida dentro del mismo.

La soldadura en aluminio es un proceso que requiere de precauciones, ya que se trata de un proceso delicado. El entorno de trabajo ha de estar en un ambiente seco y sin viento, pues los agentes externos podrían causar problemas a la hora de soldar.

Todas las soldaduras realizadas durante la construcción son sometidas a inspección. Las sociedades de clasificación, tales como Bureau Veritas, Det Norske Veritas... se encargan de realizar radiografías a cada soldadura, con el objetivo de detectar fallos en las mismas;

tales como roturas, grietas y otros problemas. En caso de detección de fallos en los cordones, se procederá a su eliminación y sustitución completa.



*Ilustración 68: Montaje del puente de mando de un catamarán de pasaje,,
Fuente: fotografías del profesor tutor de este TFG.*

2.3.6. Astilleros más importantes en la fabricación de buques de aluminio.

Los astilleros más destacables en construcción naval en aluminio son los siguientes:

- **AUSTAL:** empresa fundada en 1988, Perth, Australia Occidental. Cuenta con las siguientes instalaciones:
 - **Austal Philippines Pty. Ltd:** astilleros situados en Balamban, Filipinas; estas instalaciones se encargan de la construcción de buques comerciales.



Ilustración 69: Instalaciones de Austal Philippines, Fuente: Google Maps

- **Austal Australia:** astilleros ubicados en Henderson, Australia Occidental: se dedican al diseño y construcción de buques militares.



Ilustración 70: Instalaciones de Austal en Henserson, Fuente: Google Maps

- **Austal USA** : astilleros en Mobile, Alabama, en estas instalaciones se construyen y diseñan buques militares.



Ilustración 71: Instalaciones de Austal USA, Fuente: Google Maps

- **Oficina central corporativa:** se ubica en Austal Henderson
- **Centros de servicios:** ofrecen apoyo para las embarcaciones; se localizan en Australia (Darwin, Cairns y Henderson), Estados Unidos (San Diego, California), en Balamban (Filipinas) y en Muscat (Omán).



Ilustración 72: Construcción de la superestructura de un catamarán en Austal, Fuente: austal.com

- **INCAT:** astilleros fundados en 1977, Derwent Park, Tasmania. Cuenta con una superficie de 70.000 m², cubierta por grandes naves, y dos áreas de dique seco capaces de albergar hasta 6 embarcaciones en construcción.

Los productos que se ofrecen son:

- Embarcaciones de alta velocidad
- Ferries
- Transbordadores
- Buques militares
- Buques offshore



Ilustración 73: instalaciones de INCAT, Fuente: Google Maps

2.4. Astilleros más importantes en la reparación de buques en Canarias.

ASTICAN: astillero de reparaciones navales localizado en Las Palmas de GC, en el Puerto de la Luz. Este astillero está conformado por las siguientes instalaciones:

- **Syncrolift** : para el varado de buques, el cual presenta las siguientes características:
 - Largo: 175 m
 - Ancho: 30 m
 - Capacidad de elevación: 10.000 toneladas.
 - Elevación de buques hasta 36000 TPM.
 - Varado de buques en tiempo reducido.



*Ilustración 74: Bajamar Express preparado para su elevación con syncrolift,
Fuente: La Provincia (web)*

- **Calles de varada:** el astillero posee 7 calles de varada, con espacio suficiente para albergar buques sin que los trabajos no interfieran de los unos a los otros. Las calles de varada poseen las siguientes características:
 - 2 calles de varada de 220 m.
 - 2 calles de varada de 180 m.
 - 3 calles de varada de 120 m.
 - Grúas móviles de 600 MT de capacidad máxima.

- **Zona de atraque:** muelle propio con las siguientes características:
 - Longitud: 700 m
 - Calados: de 8 a 12 m
 - Equipamiento: grúas pórtico giratorias de 45 MT de capacidad.



Ilustración 75: Zona de atraque de ASTICAN; Fuente: astican.es

- **Oficinas y comedor;** comedor con capacidad de hasta 400 personas
- **Talleres;** el astillero posee los talleres siguientes:
 - Taller de mantenimiento
 - Taller mecánico
 - Taller de acero y tuberías
 - Taller de Kongsberg
 - Taller multipropósito de 1080 m² con 2 grúas de 15 toneladas



Ilustración 76: Talleres de ASTICAN, el taller de Kongsberg es el de blanco; Fuente: Google Maps

- **Otras instalaciones:**

- **Área de almacenamiento**
- **Instalaciones ADQ:** El Astican Deepwater Quayside es un área ubicada en el Muelle Reina Sofía, el área total es de 13.000 m², con dos talleres y una línea de atraque de 270 m y 21 m de calado. Estas instalaciones ofrecen servicio a buques FPSO, plataformas petrolíferas y buques variados.



Ilustración 77: Instalaciones ADQ; Fuente: astican.es

- **Astican Tenerife:** se compone de un área de almacenamiento de 3500 m² a 8000 m², la función principal es ofrecer un área para reparación, inspección y mantenimiento de equipos



*Ilustración 78: Área de almacenamiento de ASTICAN en el puerto de Santa Cruz de Tenerife;
Fuente: astican.es*

ZAMAKONA SHIPYARDS (REPNAVAL): astillero que se especializa en reparaciones, mantenimiento y conversión de buques de hasta 5500 TM, está localizado en Las Palmas de GC, en el Puerto de la Luz. Este astillero está conformado por las siguientes instalaciones:

- **Carros de varada:** el astillero dispone de 5 carros de varada, capaces de recibir buques con un máximo de 123 m de eslora y 21 de manga



*Ilustración 79: Carro de varada, Zamakona Shipyards;
Fuente: nauticadigital.com*

- **Zona de atraque:** compuesta por un muelle de 120m y con un calado de 7 metros.
- **Grada de varada:** compuesta por 5 calles de varada.



*Ilustración 80: Gradas de varada, Zamakona Shipyards;
Fuente: zamakonayards.com*

- **Departamentos:** Zamakona Shipyards ofrece una variedad de departamentos dedicados a diversas actividades, dichos departamentos son:
 - Departamento técnico.
 - Departamento eléctrico y electrónico.
 - Departamento de mecánica.
 - Departamento de soldadura.
- **Servicios de alojamiento:** aseos , gestión de residuos, sala de conferencias, cocina...



*Ilustración 81: Repnaval-Zamakona Shipyards;
Fuente: elespejocanario.es*

TENERIFE SHIPYARDS: Tenerife Shipyards es una empresa de reparaciones y servicios navales, forma parte del Grupo Hidramar.

- **Servicios:** Tenerife Shipyards ofrece una amplia gama de servicios de los cuales podemos encontrar:
 - Servicio de reparación de motores.
 - Calderería.
 - Andamios.
 - Suministros marinos
 - Mantenimiento y reparación de sistemas eléctricos y electrónicos
 - Inspecciones subacuáticas y de obras.
 - Pintura
 - Escaneado 3d.
 - Inspección y reparación de tuberías
 - Elevación de cargas pesadas (servicio de grúas)...

- **Instalaciones:** las instalaciones de Tenerife Shipyards se ubican en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife, en el muelle Dique del Este. Las instalaciones son las siguientes:
 - **Oficina de administración:** espacio de 1000 m² donde se gestiona la producción, en este edificio podemos encontrar la oficina de atención al cliente, la oficina técnica y de producción.
 - **Zona de atraque:** compuesta por un muelle de 180 m de largo y con un calado de 12, variando en ángulo.
 - **Área abierta de fabricación y ensamblaje:** superficie que ocupa 8500 m², con una capacidad de carga de 50 t/m².
 - **Taller de chorreado y pintura:** instalación que ocupa un área de 600 m². Aquí se realizan trabajos de chorreado, pintado y aplicaciones de epoxy.
 - **Taller para trabajos pesados:** ocupa una superficie de 900 m², y una altura de 12 m ; dispone de 2 grúas de 63 toneladas.
 - **Pozo de presión:** de 36.000 psi / 2480 bares.
 - **Taller de hidráulica:** ocupa una superficie de 900 m², viene equipada con dos grúas de 20 toneladas



*Ilustración 82: Instalaciones de Tenerife Shipyards;
Fuente: canaryports.es*

3. Remachado y soldadura en construcción naval.

3.1. El remachado

3.1.1. Contexto histórico.

Según las excavaciones arqueológicas, se tiene constancia de la utilización del remache como elemento de unión de piezas, en el antiguo Egipto, hace 5000 años; los egipcios unían asas a ánforas de barro con remaches.

Más tarde en el siglo VII los vikingos comienzan a utilizar el remache en la construcción naval; estos remaches unían las tracas de las naves vikingas.

Ya en la era moderna, el remache, tal y como lo conocemos hoy en día, tuvo su llegada a mediados del siglo XIX, en la fabricación de calderas de vapor. Entre los años 1830 y 1940, el remache tuvo gran importancia en la fabricación de buques, esa importancia se vio motivada por el crecimiento del tráfico marítimo. El primer buque en incorporar remaches en la construcción de su estructura fue el “Great Britain”, en 1843.

En cuanto a número de remaches se refiere, destacan las siguientes estructuras/construcciones:

NOMBRE	AÑO	TIPO	Nº DE REMACHES
SS GREAT BRITAIN	1884	Trasatlántico	200.000
TORRE EIFFEL	1887	Monumento	2,5 millones
RMS TITANIC	1912	Trasatlántico	3 millones
SYDNEY HARBOUR BRIDGE	1932	Puente	6 millones
SS NORMANDIE	1935	Trasatlántico	12 millones
RMS QUEEN MARY	1936	Trasatlántico	10 millones
GOLDEN GATE	1937	Puente	1.2 millones

- **Nota:** el trasatlántico “NORMANDIE” , ostenta el récord en número de remaches.

3.1.2. Tipos de remaches.

Diferencia entre remache y roblón:

Existe una gran diferencia entre remache y roblón; el primero se constituye por dos o más piezas, (ejemplo, el que se usa en los pantalones vaqueros), mientras que el roblón se constituye de una sola pieza. La designación de remache a los roblones es común, aunque debemos de tener en cuenta la diferencia ya descrita entre ambos. Un roblón se considera un remache mayor de 10 mm de diámetro.

Tipos de remaches

Los remaches se clasifican de la siguiente forma:

- **Remaches ciegos:**
 - Remache con mandril de estiramiento
 - Remache ciego con pasador guiado.
 - Remache expandido químicamente
 - Remache roscado

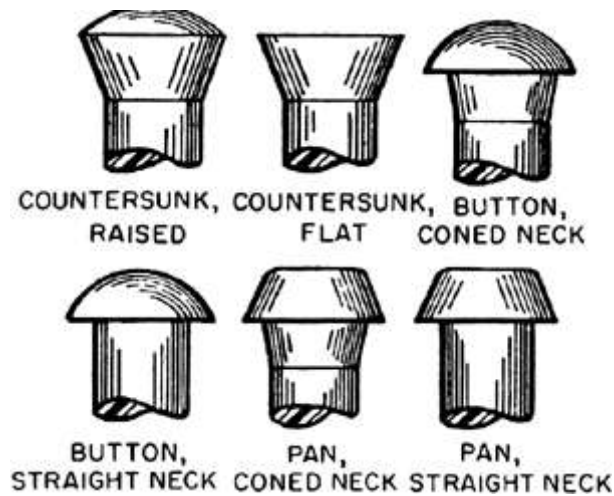
- **Remaches de compresión**

Tipos de roblones

Los remaches/roblones más utilizados en construcción naval son los roblones macizos; estos remaches se clasifican según la forma de sus cabezas. Existen cuatro tipos de roblones principales, que son los siguientes:

- Remache de cabeza plana (Flat head rivet)
- Remache de cabeza avellanada (Countersunk head rivet)
- Remache de cabeza cónica (Pan head rivet) .
- Remache de cabeza esférica (Snap head).

Los roblones más comunes en construcción naval son el remache de forma cónica y el remache de cabeza esférica.



*Ilustración 83: Tipos de roblones/remaches;
Fuente: encyclopedia2.thefreedictionary.com*

3.1.3. Herramientas y procesos de remachado.

A) Herramientas para el remachado

Para remachar una superficie, en nuestro caso la estructura de una embarcación, se necesitan las siguientes herramientas:

- **Horno:** se emplea para calentar los remaches.
- **Punzón/taladro:** para perforar el metal a remachar



*Ilustración 84: Antiguo punzón de péndulo;
Fuente: boat-building.org*

- **Martillo remachador:** para golpear los remaches hasta unir las piezas involucradas en la unión. Estos pueden ser manuales, hidráulicos o neumáticos.



*Ilustración 85: Martillo remachador manual;
Fuente: boat-building.org*



Ilustración 86: Antigua remachadora hidráulica; Fuente: henryrobb.wordpress.com



Ilustración 87: Remachadora neumática; Fuente: jag-ind-marine.com

- **Dolly o bucking bar (barra de tronzado):** barra de metal que se usa para sostener la cabeza del remache (la cabeza del remache se encaja en un hueco en la propia barra) mientras es golpeada la cola del mismo con el martillo. Se recomienda tener un juego con formas y tamaños variados



*Ilustración 88: Dolly o bucking bar;
Fuente: boat-building.org*

- **Pinzas/tenazas:** para sujetar los remaches incandescentes.
- **Herramienta de corte y doblado:** para ajustar las piezas en el tamaño necesario.
- **Roblones/remaches:** el tipo varía dependiendo de las normas de cada constructor.

B) Personal

Para realizar el remachado se necesita un grupo de tres, preferiblemente cuatro personas:

- **Calentador:** calienta los remaches al rojo vivo.
- **Receptor:** recoge el remache al rojo vivo y lo introduce en el agujero.
- **Sustentador:** sostiene la cabeza del remache, empujándola en sentido contrario al remachador, se ubica en la cara contraria del elemento a remachar.
- **Remachador:** con el martillo remachador golpea el remache, hasta que las piezas queden unidas.

En los grupos de tres personas, el receptor y el calentador son la misma persona.

C) Equipos de Protección Individual

Antiguamente los EPI no estaban presentes, pero actualmente tenemos que cumplir normas de seguridad. Con el objetivo de protegernos frente a ruidos y lesiones posibles, debemos de llevar el siguiente equipamiento:

- **Guantes** resistentes a quemaduras.
- **Protectores auditivos;** el remachado genera un alto índice de ruido, sobre todo en un astillero donde trabajan cientos de personas realizando la misma tarea.
- **Mascarilla.**
- **Arnés** para trabajos de altura.
- **Casco** para proteger la cabeza de posibles caídas de material a cierta altura y de golpes con alguna estructura.
- **Buzo de trabajo**

D) Proceso de remachado

A continuación se describen los procesos que se llevan a cabo para unir piezas mediante remaches/roblones:

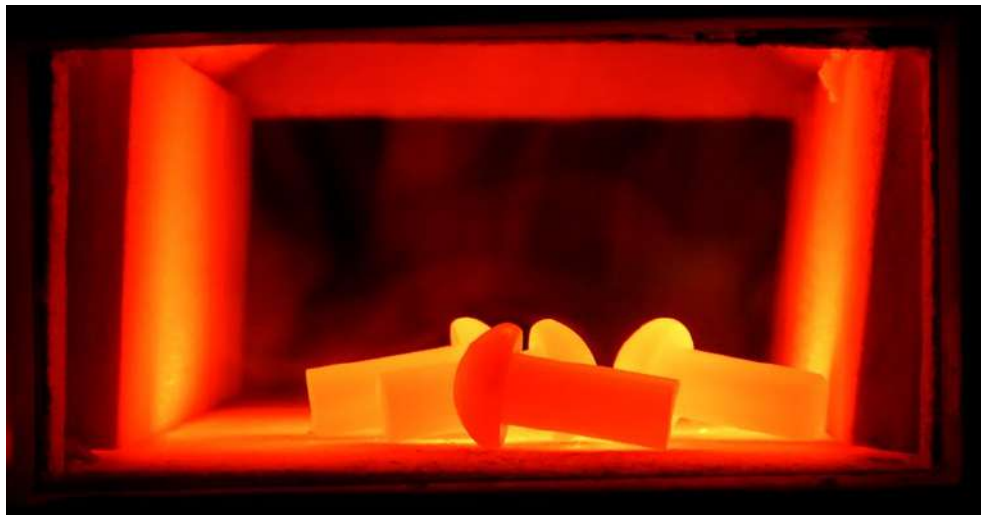
- 1) Se prepara el conjunto de piezas a unir, en esta parte se corta y se dobla el metal según convenga. En este proceso se prepara la superficie, la cual no ha de presentar óxido y otras irregularidades.
- 2) Se mide y se marcan las posiciones donde se abrirán los agujeros. Los orificios deberán de estar a una misma distancia (conocida como paso). Por otra parte, los orificios de ambas piezas a unir deberán de estar perfectamente alineados.
- 3) Se perforan los agujeros en los que se introducen los remaches. Antiguamente se perforaban con un punzón de péndulo; una máquina con un contrapezo en el otro extremo, la cual mediante una oscilación , perforaba el acero gracias a la gran presión que ejercía. Hoy en día este proceso se realiza con punzones eléctricos o hidráulicos.



*Ilustración 89: perforación de planchas con un punzón eléctrico;
Fuente: SS John W. Brown, Project Liberty Ship (Facebook)*

Los agujeros tienen que dejar pasar el remache, sin ejercer rozamiento, por lo que su diámetro difiere en milímetros.

- 4) Preparar los orificios, éstos deben de estar libres de virutas y de otros cuerpos extraños, que imposibiliten la introducción de los roblones.
- 5) Se avellana el orificio en el que se apoya la cabeza del remache (cara interna) con un taladro de cabeza cónica, ensanchando la zona de entrada; esto hace más fácil la introducción del remache en los orificios.
- 6) Se unen con pernos las piezas a unir temporalmente.
- 7) En este paso se seleccionan los remaches con longitud y grosor adecuados. En caso de unir más de dos piezas o unir piezas más gruesas, se utilizarán remaches más largos; se pueden cortar los remaches si se necesita ajustarlos.
- 8) Se calienta el horno; en el pasado se utilizaba una fragua de carbón, el gran inconveniente era su mayor probabilidad de llegar a derretir los remaches. En la actualidad se emplean hornos de gas, donde podemos seleccionar y controlar la temperatura.
- 9) A continuación se calientan los remaches al rojo vivo.



*Ilustración 90: calentado de remaches al rojo vivo ;
Fuente: trainmuseum.blogspot.com*

- 10) Una vez llegado el metal al rojo vivo, se retiran los remaches con unas pinzas largas y se introducen en los agujeros por la cara interna de las piezas a remachar. Tenemos que tener en cuenta de que se trabaja con rapidez para evitar que se enfríen los remaches y se dificulte el trabajo el trabajo de remachado.



*Ilustración 91: introducción de remache en su ubicación correspondiente ;
Fuente: goebelfasteners.com*

- 11) El Sustentador sostiene la cabeza del remache mientras el Remachador golpea el extremo sobresaliente del mismo; esta tarea es dura, ya que el Sustentador debe de soportar los golpes de martillo. En la actualidad para remachar se suele usar un martillo neumático.



Ilustración 92: martillo neumático en proceso de remachado; Fuente: i.ytimg.com



Ilustración 93: Sustentador sosteniendo el remache mientras el remachador realiza su trabajo; Fuente: boat-building.com

Cuando el remache se enfría se contrae, haciendo aún más firme la unión de los elementos implicados.

- 12) Durante el proceso de remachado, el Calentador prepara el siguiente remache, volviendo a comenzar el ciclo ya descrito.

3.1.4. Tipos de juntas remachadas.

A) Remachado por recubrimiento

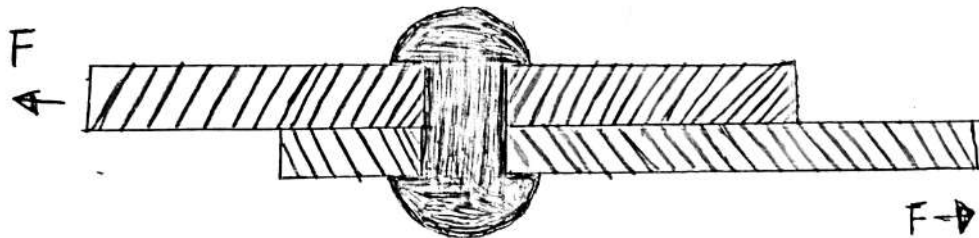


Ilustración 94: Remachado por recubrimiento ; Fuente: elaboración propia.



Ilustración 95: Remachado por recubrimiento, vapor LA PALMA ; Fuente: elaboración propia.

B) Remachado a simple cubrejunta

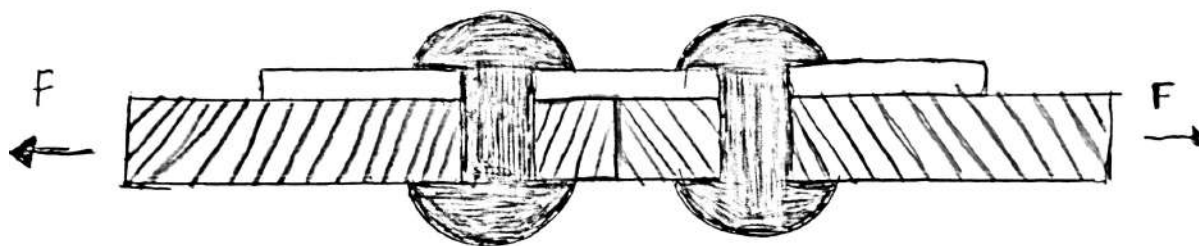


Ilustración 96: Remachado a simple cubrejunta ; Fuente: elaboración propia.



Ilustración 97: Remachado a simple cubrejunta, vapor LA PALMA ; Fuente: elaboración propia.

C) Remachado a doble cubrejunta

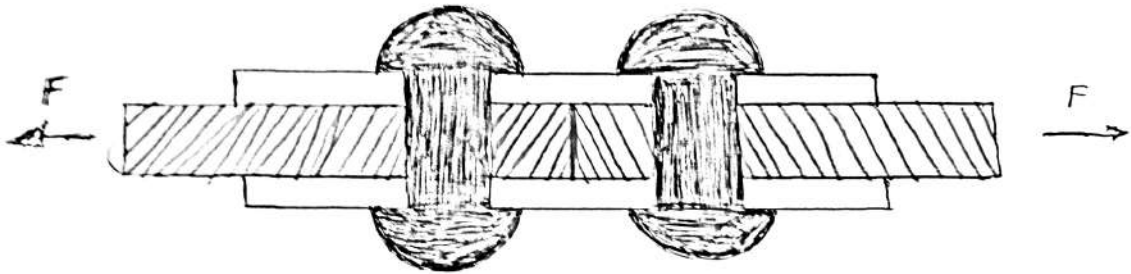


Ilustración 98: Remachado a doble cubrejunta ; Fuente: elaboración propia.



Ilustración 99: Remachado a doble cubrejunta, vapor LA PALMA ; Fuente: elaboración propia.

3.1.5. Tipos de remachado.

Los tipos de remachado presentes en la construcción naval son los siguientes:

A) Remachado a una hilera

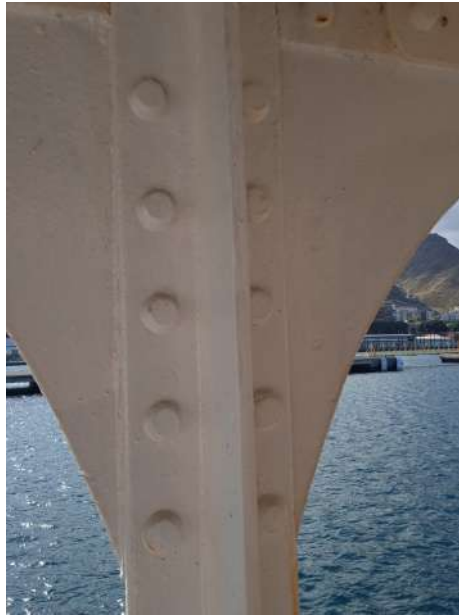


Ilustración 100: Remachado a hilera simple, vapor LA PALMA ; Fuente: elaboración propia.

B) Remachado de varias hileras



Ilustración 101: Remachado de varias hileras, vapor LA PALMA ; Fuente: elaboración propia.

C) Remachado en paralelo



Ilustración 102: Remachado en paralelo, vapor LA PALMA ; Fuente: elaboración propia.

D) Remachado en zigzag



Ilustración 103: Remachado en zigzag, vapor LA PALMA ; Fuente: elaboración propia.

3.1.6. Fuerzas y esfuerzos a los que se someten los remaches.

Los esfuerzos soportados por roblones en uniones remachadas son las siguientes:

- **Corte del remache:** se produce un corte diametral del roblón, esto se debe a las fuerzas de cizalladura que generan los elementos unidos.

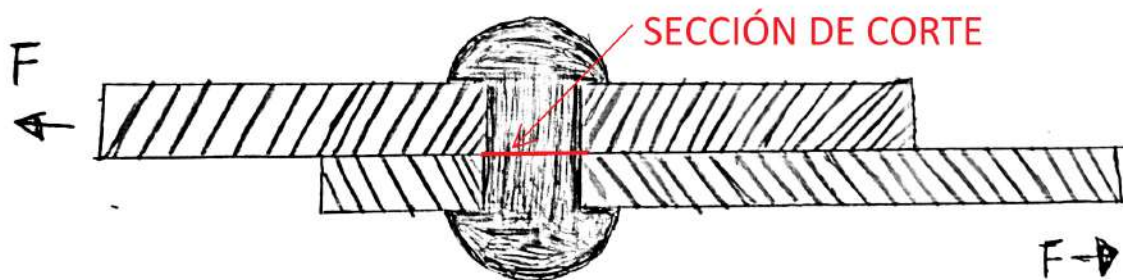


Ilustración 104: Esfuerzo de corte en un remache; Fuente: elaboración propia.

- **Aplastamiento del remache:** se produce cuando las piezas unidas ejercen compresión, aplastando las caras laterales del remache.

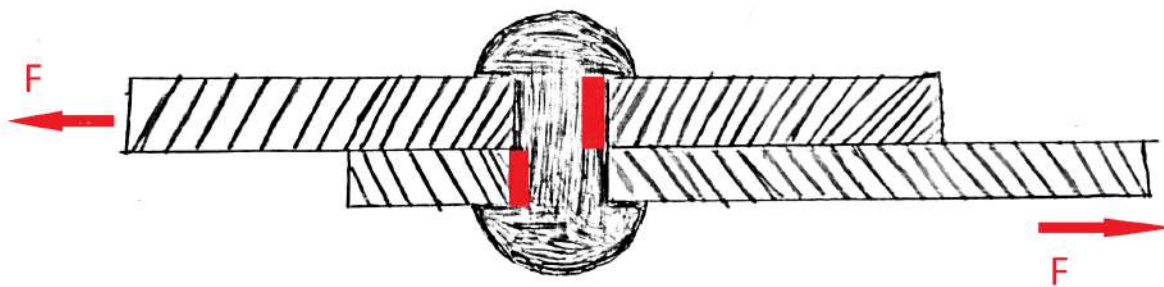


Ilustración 105: Aplastamiento del remache; Fuente: elaboración propia.

- **Flexión del remache:** el remache se flexiona debido a los momentos de cizalladura producidos por dos piezas conectadas.

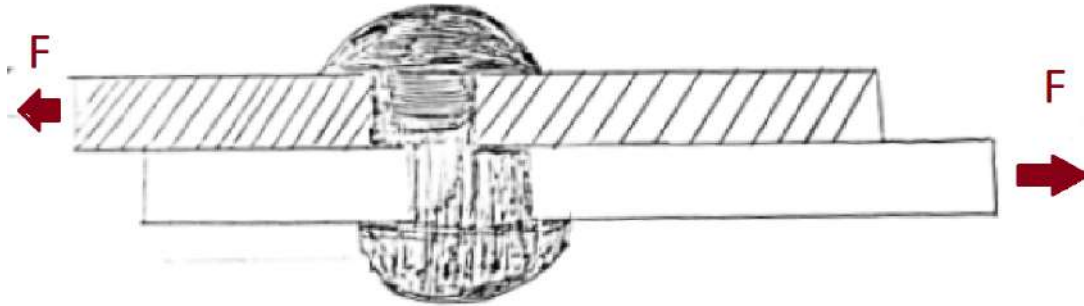


Ilustración 106: Flexión del remache; Fuente: elaboración propia.

3.1.7. El remachado en la actualidad.

A partir de los años 50 el remachado es sustituido por la soldadura en la mayoría de las construcciones. En la actualidad el remachado aparece en restauraciones de elementos arquitectónicos (como el Golden Gate en San Francisco), en antiguas locomotoras de vapor y en construcción naval, en la reparación de antiguas embarcaciones y buques.



Ilustración 107: John W. Brown, buque de la clase liberty, su restauración incluyó recambios en remaches; Fuente: SS John W. Brown

3.2. La soldadura

3.2.1. Contexto histórico.

Desde el siglo XIX hasta la Primera Guerra Mundial, el remachado era el método más popular en la fabricación de grandes buques, en aquel entonces la soldadura (tal y como la conocemos hoy en día), novedoso invento para unir piezas metálicas se usaba únicamente para reparaciones. La aparición de la soldadura en los buques, da lugar en 1918 al Reglamento Provisional para Buques Soldados Eléctricamente (“Provisional Rules for Electrically Welded Ships”), por la Lloyd 's Register.

Un año antes de la publicación de la Lloyd 's, en 1917, el Astillero Cammell Laird instala un equipo de soldadura por arco eléctrico, recibiendo su primer encargo a gran escala en 1919. Ya en 1920, Cammell Laird bota el primer buque construido con soldadura, el MS Fullagar.

Para la construcción del MS Fullagar se utilizó la soldadura por arco eléctrico, haciendo pasar la corriente a través de electrodos de acero recubiertos por amianto. Dicha construcción fue supervisada por Lloyd's hasta el día de su botadura el 5 de febrero de 1920, otorgándole su aprobación. Fullagar fue destinado al cabotaje, en ocasiones quedaba varado en ciertos puertos e incluso llegó a recibir incidentes en los que resultaba gravemente dañado, de esta manera demostraba la fiabilidad de la soldadura. Más tarde, en 1937, su carrera llega a su fin tras colisionar con el Hidalgo, hundiéndose en las costas de Baja California.

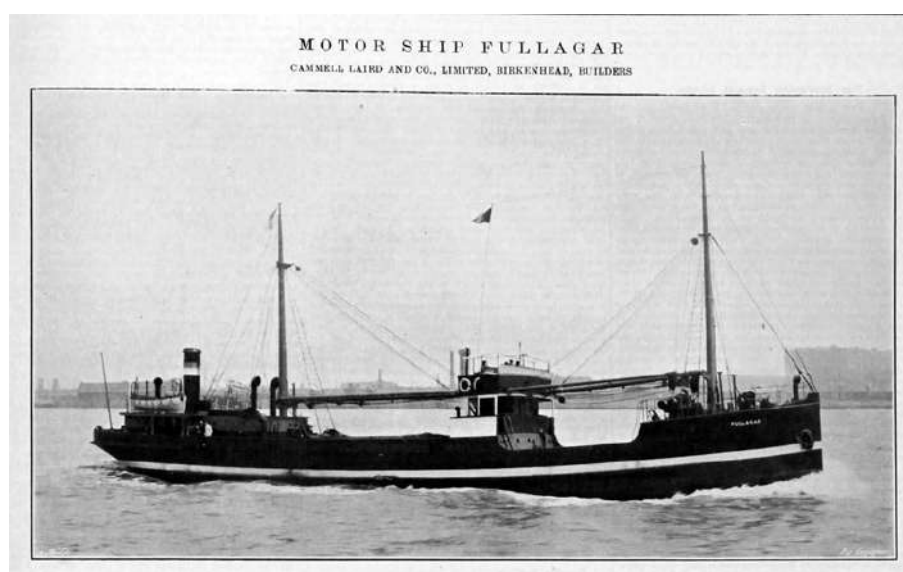


Ilustración 108: Fullagar, primer buque construido mediante soldadura, Fuente: “Grace's Guide to British Industrial History”

Después del trágico final del MS Fullagar, la construcción mediante soldadura no se volvió a usar plenamente hasta la llegada de la Segunda Guerra Mundial, momento en el que toma protagonismo debido a la necesidad de construir buques en masa. Dichos buques se fabricaban a través de módulos prefabricados, un claro ejemplo fueron los buques de la Clase Liberty, el conjunto de todos sus módulos eran montados en tan sólo 80 horas y 30 minutos. En la actualidad la construcción de buques por módulo es la práctica más común.



Ilustración 109: Construcción en masa de buques Liberty, Segunda Guerra Mundial; Fuente: ssjohnwbrown.org.

Poco a poco la soldadura se hizo un hueco en la construcción naval, dando lugar a la sustitución del remachado, a la reducción del tiempo, a la reducción de personal en la construcción, a la reducción de costes e incluso a la reducción de peso de los buques y embarcaciones. En las últimas décadas las técnicas de soldadura evolucionaron, al igual que la construcción naval.



Ilustración 110: Construcción de un buque por secciones, Astilleros Meyer Werft Papenburg. Fuente: meyerwerft.es

3.2.2. Tipos de soldadura.

Los tipos de soldadura más comunes en construcción naval son los siguientes:

- **Soldadura MMA o SMAW:** conocida como soldadura manual de electrodo revestido, consiste en la fusión de dos metales de manera localizada, el arco se forma entre un electrodo metálico y el metal base.

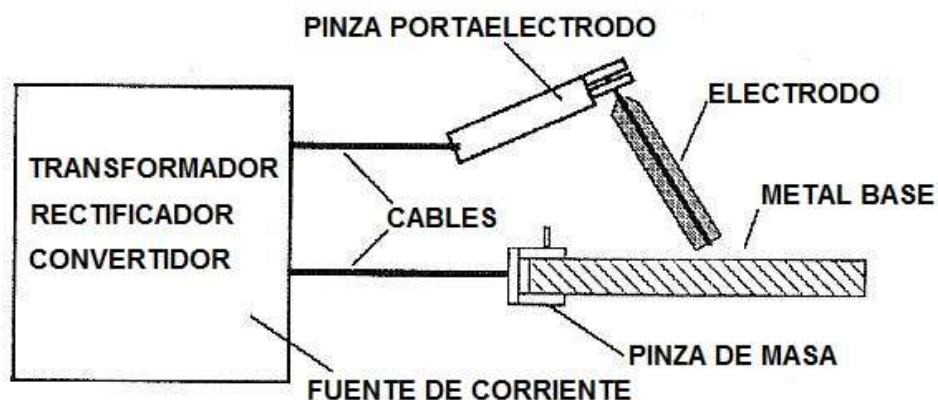


Ilustración 111: esquema de soldadura MMA, fuente: "Ingemecanica"

- **Soldadura MIG/MAG:** también es conocida como soldadura semiautomática de hilo continuo. En este tipo de soldadura el arco eléctrico se protege de la atmósfera con un gas inerte (Metal Inert Gas) o un gas activo (Metal Active Gas); el electrodo es un hilo continuo.

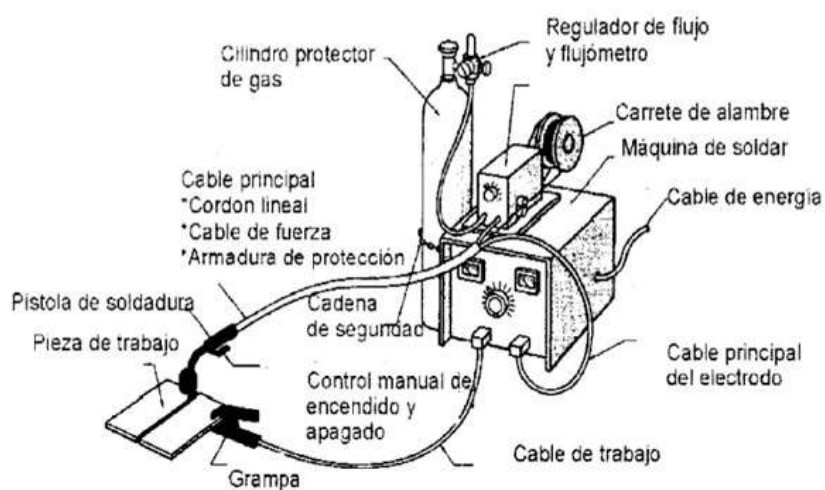


Ilustración 112: esquema de soldadura MIG/MAG, fuente: "RSF Maquinaria (blog)"

- **Soldadura TIG:** conocida como Soldadura de gas inerte de tungsteno, emplea un electrodo de tungsteno no consumible. Con este método se obtienen cordones de soldadura de alta resistencia, alta ductilidad y resisten la corrosión.

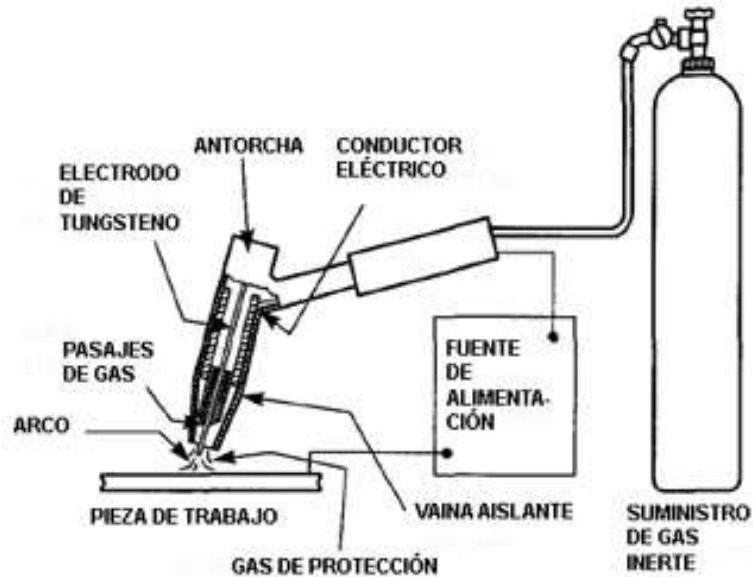


Ilustración 113: esquema de soldadura TIG, fuente: sapiensman.com

- **Soldadura PAW:** la soldadura por arco de plasma consiste en un electrodo de tungsteno (no consumible) estrangulado dentro de un orificio, cuya misión es ionizar un gas (generalmente Argón) para alcanzar el punto plasmático. Dicho gas sale por la misma boquilla en la que se encuentra el electrodo, generando un chorro a una temperatura que puede alcanzar los 28000°C. Se usa un gas inerte para proteger el sistema de la atmósfera circundante, dicho gas sale por el recubrimiento exterior de la boquilla en la que se encuentra el electrodo. La soldadura PAW asienta sus bases en la soldadura TIG.

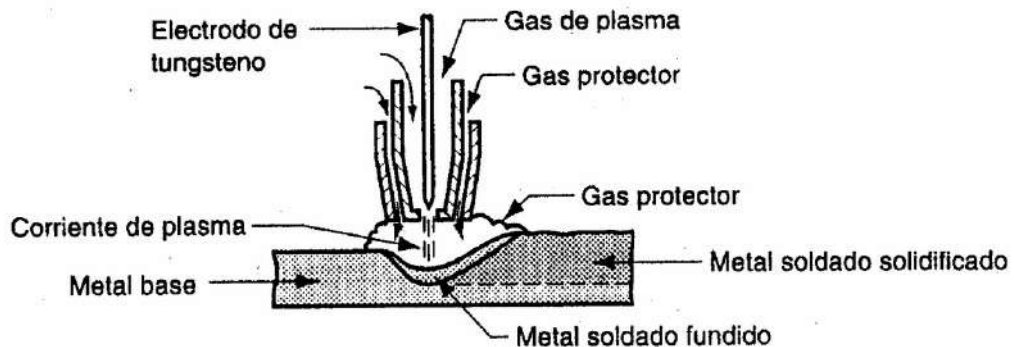


Ilustración 114: esquema de soldadura PAW, fuente: procesosmanufacturau4.weebly.com

- **Soldadura SAW:** también se conoce como soldadura por arco sumergido; en este tipo de soldadura el arco eléctrico y el baño de fusión van sumergidos en un polvo granulado/fundente.

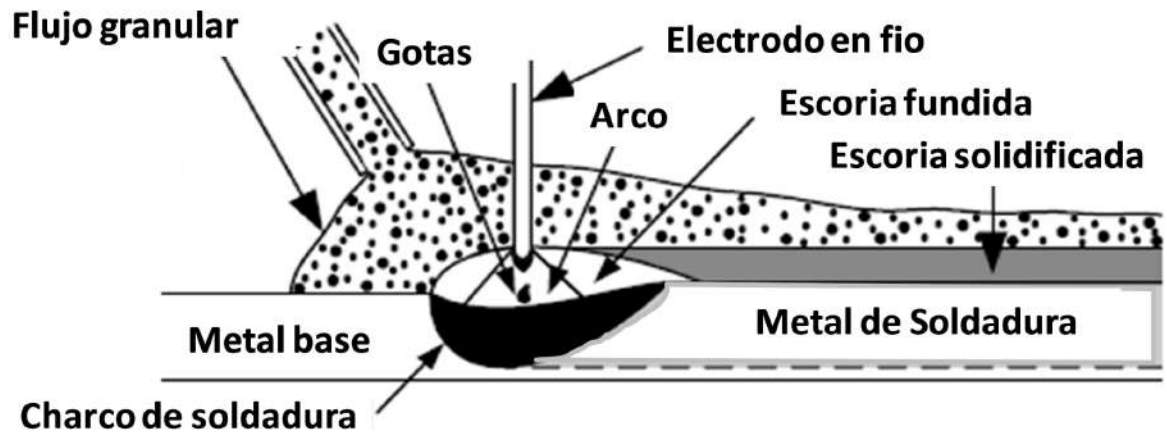


Ilustración 115: esquema de soldadura SAW, fuente: "SciELO Brasil"

- **Soldadura con oxiacetileno:** en este tipo de soldadura se utiliza una llama producida por la combustión del oxígeno (gas comburente) y el acetileno (gas combustible). En este proceso se puede añadir un metal de aportación o soldar directamente las piezas, el metal es fundido a 3500°C, aproximadamente.

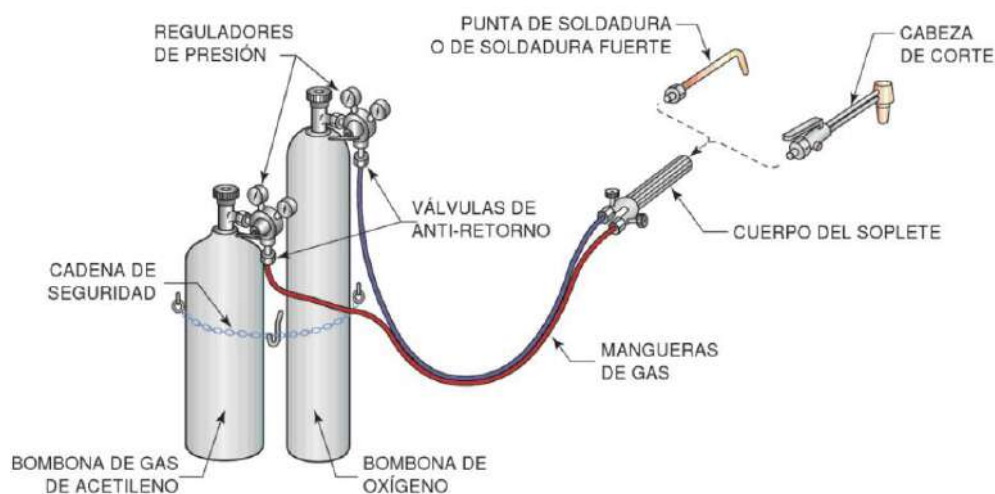


Ilustración 116: esquema de soldadura OAW, fuente: "Ingedemy" (Facebook)

3.2.3. Ventajas y desventajas de los tipos de soldadura.

TIPO DE SOLDADURA	SIGLAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Soldadura manual de electrodo revestido	MMA: manual metal arc. o SMAW: shielded metal arc welding.	-Se pueden soldar casi cualquier espesor de metal. -Uniones de tipos variados. -No necesita de gases de protección -Sencillo - Bajo coste	-Manual exclusivamente -Cambio de electrodos, por lo que el trabajo es interrumpido cada cierto tiempo. -El punto de inicio requiere de limpieza antes de empezar con un nuevo electrodo -Electrodos relativamente cortos, de 230 mm a 700 mm.
Soldadura semiautomática de hilo continuo	MIG: metal inert gas. MAG: metal active gas.	-Sistema rápido -Acabado de calidad -Permite un rango variado de espesores de entre 0,7 a 6 mm. -Reducida emisión de gases tóxicos. -Permite trabajar en cualquier posición.	- Alto costo en material. -Sistema de enfriamiento rápido. -Sistema aparatoso para trabajar en espacios muy reducidos.
Soldadura de gas inerte de tungsteno	TIG: tungsten inert gas.	-No requiere de material de relleno. -Los electrodos no necesitan mantenimiento, solo limpieza. -Soldadura de precisión y calidad altas. -Electrodo no consumible.	- Alto costo. -La superficie a soldar debe de estar limpia. -Soldadura de compleja ejecución -Necesita personal experimentado.
Soldadura por arco de plasma.	PAW: plasma arc welding.	-Soldadura de alta velocidad. -No produce escoria. -Penetración profunda - Mayor concentración de calor en un área reducida.	-Alto coste. -La boquilla se derrite, lo que necesita de recambios. -Requiere de una buena formación.
Soldadura por arco sumergido	SAW: submerged arc welding	-Gran penetración -Calidad alta en cordones - Permite cordones largos sin interrupciones	-Solo para soldadura horizontal. -Requiere experiencia. -Gener escoria -Requiere fundente.
Soldadura con Oxiacetileno	OAW: Oxy-acetylene welding	-Alta temperatura -Control de temperatura -Cordón de buen aspecto	- Riesgo de incendio y explosión por mal uso. -Gases tóxicos. -Proyección de material -Radiación UV e IR

3.2.4. Tipos de soldadura; usos y materiales.

TIPOS DE SOLDADURA	USOS/APLICACIONES	MATERIALES NECESARIOS
Soldadura MMA	-Permite soldar aceros inoxidables, aluminios, aleaciones ligeras. -Trabajos a pequeña escala. -Trabajos de reparaciones de fundición.	-Generador de corriente -Pinza porta electrodos -Electrodo revestido -Pinzas de masa y cables
Soldadura MIG/MAG	-Fabricaciones de estructuras de acero y aluminio. -Permite soldar aluminio, cobre, magnesio y titanio.	-Fuente de potencia -Cables -Pinza de masa -Cable de masa -Antorcha de soldadura MIG/MAG. -Gas protector -Material de aporte.
Soldadura TIG	-Permite soldar acero, aluminio, titanio, aleaciones de níquel. -Permite soldar espesores delgados. -Permite soldar hierro	-Gas protector (argón o helio). -Fuente de corriente. -Soplete porta electrodos de tungsteno. -Electrodo de tungsteno no consumible -Circuito de presión -Pinza de masa -Cable de masa -Grupo de enfriamiento por agua para sopletes.
Soldadura PAW	-Uniones de alta calidad. -Permite soldar acero inoxidable. -Permite soldar aceros y aluminios de finos espesores.	-El equipo de soldadura PAW es parecido al equipo TIG. -Se necesita un soplete para soldadura PAW.
Soldadura SAW	-Permite soldar de medios a altos espesores, desde 5 mm, pudiendo soldar hasta 12 mm. -Permite soldar aceros, titanio, aleaciones con base de aluminio y cobre. -Construcciones industriales y navales.	-Antorcha para arco sumergido -Fuente de corriente -Equipo para soldadura SAW. -Fundente -Alimentador de fundente -Alambre de electrodo -Masa de corriente y cables.
Soldadura oxiacetileno	-Permite soldar acero, aluminio, hierro, cobre, latón, aluminio y bronce. -Soldado de planchas delgadas. -Soldado de tuberías -Reparaciones y mantenimiento	-Botella de acetileno. -Botella de oxígeno. -Reguladores de presión. -Válvula de seguridad antirretroceso. -Soplete -Mangueras para cada botella, colores diferenciados.

3.2.5. Equipos de protección individual para soldadores.

Los equipos de protección individual para soldadores se dividen en dos grandes grupos:

- Equipos de protección para soldadura eléctrica
 - Protector de ojos
 - Protector de cara
 - Guantes de cuero de manga larga (costuras en el interior).
 - Mandil de cuero
 - Polainas
 - Botas de seguridad (aislantes).
 - Casco de seguridad (cuando se requiera).
 - Cinturón de seguridad (cuando se requiera).
 - Ropa de trabajo, de lana pura o de material ignífugo, sin bolsillos, con mangas hasta la muñeca y con collarín para proteger la piel de las radiaciones . Los pantalones no han de tener dobladillo.
 - Protectores respiratorios.

- Equipos de protección para soldadura no eléctrica
 - Polainas de cuero.
 - Calzado de seguridad.
 - Yelmo de soldador.
 - Pantalla de protección (de sustentación manual).
 - Manguitos de cuero.
 - Mandil de cuero.
 - Casco de seguridad (cuando se requiera).
 - Cinturón de seguridad (cuando se requiera).
 - Guantes de cuero de manga larga.
 - Ropa de trabajo limpia, sin manchas de grasa ni elementos combustibles o inflamables.

PROTECCIÓN PERSONAL

Siempre utilice todo el equipo de protección necesario para el tipo de soldadura a realizar.
El equipo consiste en:

GORRO: Protege el cabello y el cuero cabelludo, especialmente cuando se hace soldadura en posiciones.

MASCARILLAS RESPIRATORIAS PARA HUMOS METÁLICOS: Esta mascarilla debe usarse siempre debajo de la máscara para soldar. Estas deben ser reemplazadas al menos una vez a la semana.

MÁSCARA DE SOLDAR: Protege los ojos, la cara, el cuello y debe estar provista de filtros inactivos de acuerdo al proceso e intensidades de corriente empleadas.

GUANTES DE CUERO: Tipo mosquetero con costura interna, para proteger las manos y muñecas.

COLETO O DELANTAL DE CUERO: Para protegerse de salpicaduras y exposición a rayos ultravioletas del arco.

POLAINAS Y CASACA DE CUERO: Cuando es necesario hacer soldadura en posiciones verticales y sobre cabeza, deben usarse estos aditamentos, para evitar las severas quemaduras que puedan ocasionar las salpicaduras del metal fundido.

ZAPATOS DE SEGURIDAD: Que cubran los tobillos para evitar el atrape de salpicaduras.

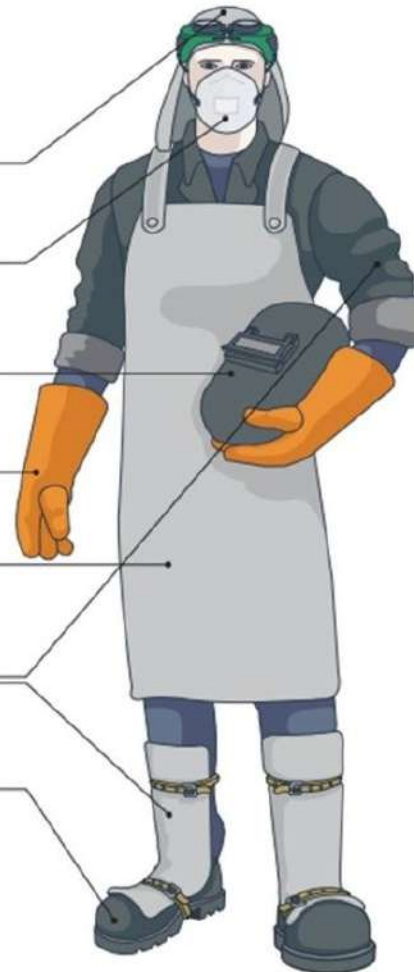


Ilustración 117: EPIS para soldadura, Fuente: "Aubert Suministros Industriales (Web).

3.2.6. Talleres de soldadura y reparación naval en Canarias.

En Canarias los talleres de soldadura naval se encuentran en las Islas mayores de:

- **Tenerife:** en la Isla de Tenerife podemos encontrar los siguientes talleres cualificados en soldadura naval:
 - **Mercaflote:** realiza trabajos de reparaciones, soldaduras, calderería, reparación de motores, mantenimiento de motores... Mercaflote trabaja tanto en el sector naval como en el industrial.
 - **Tenerife Shipyards:** astillero especializado en reparaciones navales, calderería y servicios industriales.
 - **Talleres Garrote:** taller especialista en mecánica, reparación naval, soldadura, mantenimiento y carpintería metálica.
 - **Talleres Tusoca:** taller especializado en soldadura, calderería, tuberías, reparaciones industriales y navales.
 - **Talleres Quintana:** astillero fundado en 1925, se dedica a la reparación industrial y naval. mecanizado de piezas, y soldadura.
 - **BMAR:** empresa especialista en trabajos subacuáticos, de entre sus numerosas actividades se incluyen trabajos de corte y soldadura submarina.

- **Gran Canaria:** en la isla de Gran Canaria se localizan talleres como:
 - **Contratas Metalúrgicas:** realiza reparaciones navales, soldadura naval, mantenimiento en la industria, construcción de estructuras metálicas, expertos en instalaciones de gas y combustible...
 - **Metal Welding Canarias:** expertos en trabajos con acero; realiza tareas de mantenimiento a instalaciones industriales, reparaciones navales, construcción de estructuras metálicas, instalación de tuberías...
 - **Talleres Sanper:** desde su fundación en 1978, se dedica al sector naval e industrial. Las tareas que realiza son: trabajos de calderería, trabajos de mecanización de piezas y soldadura, entre otros.

- **Reparaciones Navales Canarias:** conocida como REPNAVAL, pertenece al grupo de Zamakona Shipyards. Realizan todo tipo de reparaciones navales.
- **Tecnavin:** empresa fundada en 1992, se dedica a trabajos de mecanizado, soldadura naval, reparaciones navales e industriales, fabricación y montaje de tuberías... entre otros.



Ilustración 118: Trabajo de soldadura por Tecnavin, Fuente: tecnavin.es

- **Hidramar:** Hidramar Shipyards se especializa en servicios de reparaciones navales.
- **Astican:** astillero especialista en reparaciones navales de toda clase.

4. Buques y embarcaciones de ferrocemento.

4.1. Contexto histórico

El cemento se usó por primera vez en la construcción naval en 1847, siendo en 1855 la presentación de una embarcación fabricada en mortero reforzado con acero, su pionero fue Josep Louis Lambot, fabricante de maceteros. Lambot patenta el mortero en 1852, al que lo llamó "Ferciment"; el proyecto de su embarcación es abandonado por la falta de interés.

Ya en 1860 se construyen barcazas para transportar mercancías a través de canales en Europa, años más tarde, en 1896, el ingeniero italiano Carlo Gabellini construye una serie de embarcaciones de hormigón de las cuales la más conocida fue "Liguria".

Los desarrollos e intentos de embarcaciones de ferrocemento continúan hasta 1917. En este año nace, en noruega, el primer barco de ferrocemento autopropulsado, el "Namsenfjord". Esta nave estaba propulsada por un motor diesel, el cual lo impulsaba a una velocidad de 7 knt; su vida útil fue de dos años, realizando cabotaje por los fiordos noruegos.

En el periodo de la primera guerra mundial, en Estados Unidos se ordenó la construcción de 24 naves de hormigón (sólo se terminaron 12), bajo el proyecto Emergency Fleet Corporation, la más conocida fue el petrolero "Selma". Este petrolero de vapor fue el barco de hormigón más grande construido, con 130 m de eslora y 7.500 toneladas de desplazamiento. Al igual que sus gemelos nunca llegó a tiempo, pues "Selma" fue botado el mismo día en el que terminó el conflicto bélico.



Ilustración 119: SS Selma, fuente: texasce.org



Ilustración 120: SS Selma semihundido en Galveston, donde se hundió deliberadamente, Fuente: gcaptain.com

Al igual que en la Primera Guerra Mundial, en la Segunda, escaseaba el acero, conllevando la construcción de embarcaciones de hormigón. Estas construcciones fueron de gran importancia entre 1944 y 1945, pues sirvieron de apoyo en el desembarco de Normandía, transportando tropas, munición, pertrechos...

Más tarde, la década de los 60 viene marcada por la construcción en masa de embarcaciones de ferrocemento. Debido al bloqueo estadounidense y a la escasez de la madera, China comienza a fabricar buques de este material; por otra parte, en Cuba, el ferrocemento se empleó para la construcción de pesqueros.

Por último, la década de los 70's viene marcada por la introducción del ferrocemento en la construcción de embarcaciones de recreo, en países como Nueva Zelanda, Australia, Canadá y Reino Unido. En esta época, un Ingeniero y constructor italiano llamado Pier Luigi Nervi, mejora el hormigón armado, tal y como lo conocemos en la actualidad, una de sus creaciones más importantes fue el yate "Giuseppa" de 8,5 m de eslora, con un espesor de ferrocemento de 1,25 cm.



Ilustración 121: Velero neozelandés "Awahnee", yate construido en ferrocemento; recorrió el mundo con éxito. Fuente: vadebarcos.net

4.2. Características del ferrocemento.

¿Qué es el ferrocemento?

El ferrocemento es una mezcla de cemento, arena, malla de alambre en acero y agua. Este material se emplea en la construcción de hogares, esculturas, depósitos de agua y en la construcción de embarcaciones.

Características:

Las características del ferrocemento son las siguientes:

- Resistencia a la fatiga, tracción y a la compresión
- Flexibilidad
- Homogéneo
- Elástico
- Buen comportamiento ante incendios.

Ventajas:

- Producción rápida
- Mantenimiento casi nulo
- Impermeable
- Resistencia a la corrosión
- Económico
- Duradero
- Resistencia a la acción del mar
- Resistencia a la intemperie.

Desventajas:

- Montaje laborioso
- Mayor mano de obra
- Para pequeñas embarcaciones es bastante pesado.
- Menor resistencia a impactos que la madera o el acero.
- Aísla mal térmicamente.

4.3. Buques y embarcaciones de ferrocemento en la actualidad.

En la actualidad las embarcaciones de ferrocemento siguen estando presentes, a continuación veremos los usos principales de estas embarcaciones y del propio material:

- **Rompeolas:** muchos de los buques y embarcaciones de ferrocemento del siglo pasado se encuentran formando parte de rompeolas.
- **Locales:** hay países como Argentina, donde estos barcos se usan como restaurantes o salones de baile.
- **Museos:** hoy en día se conservan naves de ferrocemento como el remolcador Paul Kossel (en el Deutches Schifffahrts).
- **Veleros:** en la actualidad siguen existiendo veleros construidos en la década de los 70 e incluso en los 90, como es el caso de la goleta “Larinda”, botada en 1996.
- **Construcción de pequeñas embarcaciones.**
- **Construcción de viviendas flotantes:** en países del norte como Dinamarca, se construyen pontones y barcazas de ferrocemento.



*Ilustración 122: Barcaza de ferrocemento equipada como vivienda;
Fuente: hhbc-consulting.blogspot.om*

4.4. Mantenimiento de embarcaciones de ferrocemento.

Las naves y embarcaciones de ferrocemento casi no requieren de mantenimiento, en cambio hay que realizar tareas de reparación. Normalmente los desperfectos en estos barcos se deben al desconchado del mortero, estos problemas pueden dejar pasar el agua. Para realizar las diferentes reparaciones es aconsejable disponer de materiales a bordo como: cemento Portland, guantes de goma, disolución de fraguado rápido y madera de contrachapado.

A continuación en la siguiente tabla se muestran los defectos más y las soluciones:

TIPO DE DESPERFECTO	GRADO	CAUSA	SOLUCIÓN
FISURA	Superficial / reparación menor	Choques	Agrandar la fisura con una muela y rellenar con resina epoxídica para cementos. Eliminar el mortero dañado y luego rellenar la zona con resina epoxídica y mortero.
MANCHAS DE OXIDACIÓN	Menor grado	Malla y grapas de la estructura interna del ferrocemento, cerca de la superficie del mortero.	Corregir con muela, rellenar la zona con resina epoxídica, por último pintamos.
FUGA	Reparación menor	Mala penetración del mortero.	Achicar el agua; descubrir la dirección del orificio y el alcance del hueco con una punta. Por último se rellena el orificio con cemento Portland y un agente de secado rápido.
DAÑO GRAVE EN EL MORTERO Y REFUERZOS	Reparación importante	Grandes impactos.	Retirar el mortero de la zona afectada con ayuda de un martillo. Retirar la malla exterior, dejando la capa de malla interna. Sustituir las varillas cortadas o dobladas por otras nuevas. Unir tres capas de malla a la ya existente. Pintar el borde del mortero viejo con epoxídico para finalmente rellenar la zona con mortero nuevo.

4.4.1. Pintado de cascos de ferrocemento.

Antes de pintar un casco de ferrocemento, se deben de tener en cuenta los siguientes procesos:

PREPARACIÓN Y RELLENO

- 1) Se eliminan las sales e impurezas; con lijado, cepillado con alambre o con baños de soluciones no dañinas.
- 2) Se lava la superficie con agua limpia o con diluyentes especiales y se deja secar durante un mes.
- 3) Rellenado de la superficie, con material de relleno especial de base de resina epoxídica o de poliéster.

PINTADO

- 4) Se debe de tener en cuenta que la pintura sea compatible con el material de relleno. Hay dos tipos de pinturas con bases diferentes, una con base epoxídica y otra de polímero clorado
- 5) Se debe de tener en cuenta las zonas que vamos a pintar, pues dependiendo de su localización y utilización, requerirá de dos a 5 capas de pintura. Las indicaciones sobre el tiempo de cada capa viene especificado en el producto.
- 6) Diferencias entre las pinturas; la pintura epoxídica tiene mayor capacidad de aguante, en cambio la de polímero clorado es más blanda, lo que la hace menos resistente a las abrasiones.
- 7) Nunca deben de mezclarse la de polímero clorado con la de base epoxídica.

4.5. Normativa para embarcaciones de ferrocemento.

En cuanto a normativa, los buques de ferrocemento vienen regulados por reglamentos, los cuales están dictados por organizaciones y autoridades internacionales de diferentes países.

A continuación veremos las entidades que aprobaron la normativa la cual recoge y clasifica los buques y embarcaciones de ferrocemento:

- **American Bureau of Shipping:** sociedad de clasificación fundada en 1862, con sede en Houston (Texas); junto con Lloyd's Register y Det Norske Veritas, es una de las empresas líderes en el sector. En 1986 dicta una serie de normativas que clasifican a los buques de ferrocemento.
- **Det Norske Veritas:** sociedad de clasificación fundada en 1864, con sede en Noruega. En 1974 formula la normativa para la construcción y clasificación de buques de ferrocemento.
- **Transport Advisory Council of Australia:** consejo de administración australiano, que en 1979 publica el "Uniform Shipping Laws Code (USL Code)", en la sección 5 "Construcción" (subapartado J, Ferrocemento), recoge la normativa en lo referente a buques de ferrocemento.
- **Marine Department of New Zealand:** era un departamento gubernamental de Nueva Zelanda, fundado en 1866, la misión de este departamento era la gestión de la administración del derecho marítimo. A principios de 1970, pasó a ser la División de Marina del Ministerio de Transporte y numerosas funciones formaron parte de otras instituciones. En 1977 se crea el "Journal of Ferrocemento", publicado por "International Ferrocemento Information Center" en colaboración con el "New Zealand Ferrocemento Marine Association".



Ilustración 123: Portada del "Journal of Ferrocement"

5. Buques y embarcaciones de materiales compuestos.

5.1. ¿Qué es un material compuesto?

Un material compuesto es aquel material que se ha creado a través de la combinación de dos o más elementos. Los materiales originados presentan mejores características que los materiales que lo componen por sí solos.

5.2. Tipos de materiales compuestos

Los materiales compuestos se clasifican de la siguiente manera:

- **Según el tipo de matriz**
 - **Material compuesto de matriz metálica:** los materiales compuestos de matriz metálica son muy resistentes y poseen un bajo peso.
 - **Material compuesto de matriz cerámica:** soportan mejor las bajas temperaturas, y poseen mejores cualidades mecánicas que los productos cerámicos tradicionales.
 - **Material compuesto de matriz polimérica:** estos materiales son resistentes a la corrosión, resistentes a los productos químicos y permite ser moldeado en variadas configuraciones.

- **Según el tipo de refuerzo**
 - **Material compuesto reforzado por partículas**
 - **Material compuesto reforzado por fibras**
 - **Material compuesto estructural:** las propiedades de estos compuestos dependen de los materiales que lo componen y de la geometría de los mismos. Estos pueden ser:
 - + Compuestos laminares.
 - + Compuestos con estructura de sandwich.

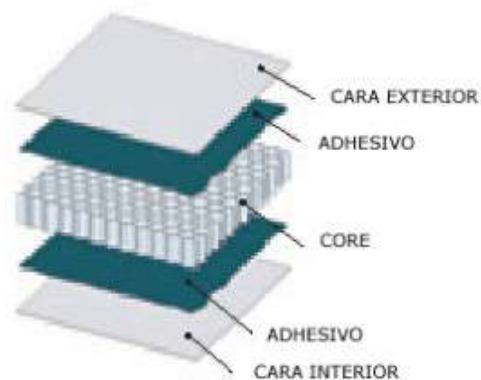


Ilustración 124: Estructura de sandwich, Fuente: navalcomposites.com

- + Compuestos de estructura no laminar.

5.3. Matrices empleadas en los materiales compuestos

Las matrices utilizadas en la fabricación de material compuesto son las siguientes:

- **Matriz de Termoplástico:** polímero que se funde a determinadas temperaturas, permitiendo su moldeo.
- **Matriz de elastómero:** polímero flexible debido al libre movimiento de sus partículas.
- **Matriz termoestable:** polímeros que no fluyen cuando se les aplica temperaturas. Son resinas muy rígidas debido a la forma entrelazada de sus moléculas. En construcción naval se usan las siguientes resinas:
 - Resina de poliéster
 - Resina de vinilester
 - Resina epóxica

5.4. Recubrimientos usados en construcción naval

Los recubrimientos se usan para cubrir la superficie del laminado, protegiéndola de los agentes externos, como el agua, humedad y agentes químicos.

Los recubrimientos usados en construcción naval son los siguientes:

- **Gelcoat:** el gelcoat es la primera capa que se aplica al molde de la embarcación, este recubrimiento proporciona protección frente a los agentes externos como la humedad, productos químicos o la intemperie.



Ilustración 125: Velero en el Puerto de Santa Cruz de Tenerife, Fuente: elaboración propia

- **Topcoat:** es un producto parecido al gelcoat, que se aplica sobre la última capa del laminado, protegiéndola de la humedad del ambiente.

5.5. Materiales de refuerzo

Los materiales de refuerzo proporcionan resistencia mecánica, rigidez y dureza a los materiales empleados en la fabricación de embarcaciones. En construcción naval se utilizan fibras como material de refuerzo, esas fibras son:

- Fibra de vidrio
- Fibra de carbono
- Fibra aramídica (Kevlar)



Ilustración 126: Fibra de vidrio
Fuente: thisbuildis.com

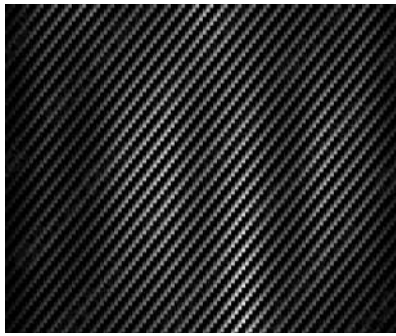


Ilustración 127: Fibra de carbono
Fuente: cruspixel.com



Ilustración 128: Fibra de kevlar
Fuente: dynatech.ind.br

5.6. Materiales de textiles para laminado

Los materiales textiles que se usan en el laminado se dividen en dos grupos:

- **MAT**

- **MAT de superficie:** conocido como velo de superficie, se instala en contacto con el gelcoat, aportándole una mayor resistencia y haciendo de barrera química, gracias a su composición, la fibra de vidrio de clase C.
- **MAT de fibras cortadas:** los hilos de la fibra de vidrio se presentan cortados y unidos mediante un emulsionante.
- **MAT de fibras continuas**

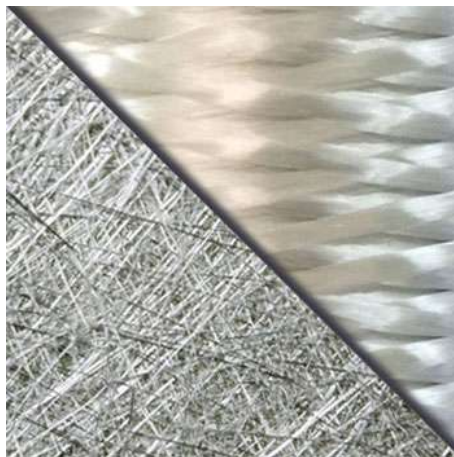


Ilustración 129: Diferencias entre MAT de fibras cortadas y MAT de fibras continuas
Fuente: navalcomposites.com

- **Tejidos:** los más resistentes poseen sus fibras orientadas de 0° , conocida como urdimbre y la de 90° llamada trama, existen los siguientes tejidos, de los cuales se diferencian en el entrelazado de sus fibras:
 - **Tafetán:** es un tejido muy firme, pues el entrelazado de sus fibras es numeroso.
 - **Sarga:** tejido muy característico, en el cual su entrelazado origina líneas diagonales con grados desde 15° a 75° .
 - **Satén:** es una tela que se caracteriza por su brillo, debido a los grandes entrelazados de sus fibras.



Ilustración 130: esquema de los distintos tipos de tejidos, Fuente: mildedales.com

- **Ensamblados:** en los ensamblados las fibras paralelas se superponen entre ellas en diferentes orientaciones, siendo unidas a través de fibras auxiliares. Los ensamblados se clasifican según la orientación de las fibras que lo componen, siendo:
 - Unidireccionales
 - Biaxiales
 - Triaxiales
 - Cuatriaxiales
 - Multiaxiales

5.7. Estructura de sándwich en materiales compuestos: embarcaciones.

El objetivo principal de una estructura de sándwich es ofrecer un aumento en la resistencia a la flexión, en la resistencia a la contracción y rigidez a una estructura, sin aumentar su peso.



Ilustración 131: diagrama de las distintas capas que componen el casco de una embarcación, Fuente: hanseyachts.co.uk

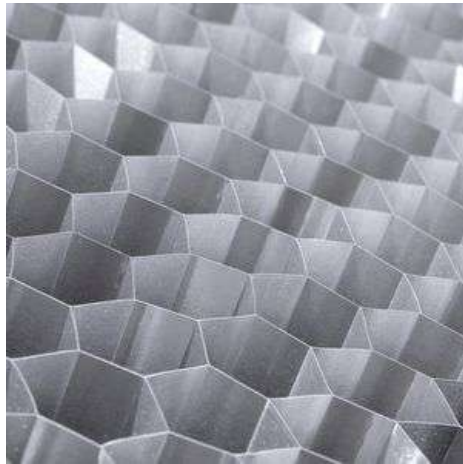
La estructura de sándwich se compone de tres partes diferenciadas que son las siguientes:

- **Caras:** conocidas también como alas, son láminas delgadas y resistentes con mejores propiedades que el resto de materiales
- **Núcleo:** también llamado CORE, tiene como función transmitir los esfuerzos cortantes de una cara a otra, y separarlas entre sí. En cuanto a los tipos de núcleos encontramos los siguientes tipo:
 - **Fire coremat:** material formado por fibras de poliéster en cuyo 50% de su estructura se compone de microesferas; las cuales lo convierten en un material resistente a impactos, buen aislante térmico, ligero y fácil de aplicar.



Ilustración 132: fire coremat; Fuente: materialdistrict.com

- **Nido de abeja:** estructura de semejanza a un panal de abejas.



*Ilustración 133: núcleo nido de abeja;
Fuente: nauticexpo.es*

- **Madera de balsa:** es la madera más ligera que se conoce, posee una densidad de 100 a 150 kg/m³; su árbol proviene de América del Sur.
- **Espumas:** material plástico que fue creado por agregación de burbujas. La espuma es un buen aislante térmico y acústico, supone una alta resistencia en materiales compuestos.



*Ilustración 134: núcleo de espuma de pvc;
Fuente: thai.alibaba.com*

- **Interfase de unión:** son adhesivos que hacen de unión entre las caras y el núcleo.

5.8. Métodos de construcción de embarcaciones de material compuesto.

En cuanto a construcción naval en materiales compuestos, existen los siguientes métodos:

- **Moldeado térmico:** esta técnica de construcción consiste en el moldeado del casco usando dos moldes, un molde negativo y un molde positivo. Entre ambos moldes se hace fluir resina, quedando el material impregnado. El producto final se cura por la acción del calor en dichos moldes.

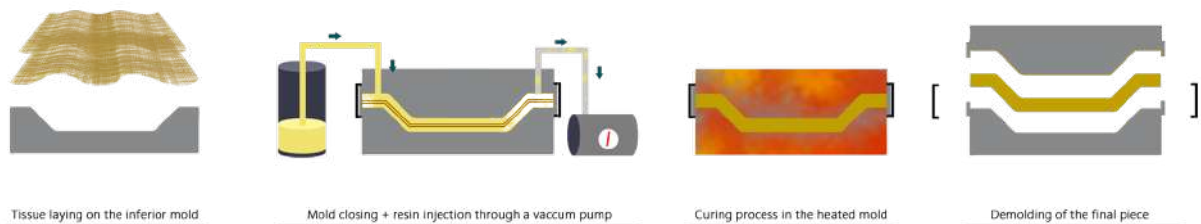


Ilustración 135: esquema de moldeado térmico, Fuente: composites-ate.com

- **Moldeado por infusión de resina al vacío:** esta técnica de construcción consiste en el moldeado del casco a molde cerrado, en el que se introduce resina epoxi a través de unos conductos, a una viscosidad que le permita fluir. La impregnación de la resina en las diferentes capas del material se consigue mediante una diferencia de presión. La diferencia de presión está generada por una bomba de vacío



Ilustración 136: moldeado al vacío de una embarcación, Fuente: astilleros-nicolau.com

- **Moldeado en frío:** este sistema de construcción consiste en la fabricación de una embarcación sobre un molde abierto. Antes de aplicar las capas con epoxi, el molde es pulido y untado en sustancias desmoldantes, para facilitar el despegue del producto final.



Ilustración 137: moldeado en frío de una embarcación, Fuente: subpesca.cl

5.9. Mantenimiento de embarcaciones de fibra de vidrio.

5.9.1. Preparación previa

Antes de reparar una embarcación de fibra de vidrio hay que realizar una serie de pasos previos, que son los siguientes:

- 1) Se desmontan los elementos que nos impiden la reparación.
- 2) Si se dispone de quilla desmontable, ésta ha de estar desmontada.
- 3) Se reparan los agujeros y defectos.
- 4) Se limpia la superficie con el objetivo de eliminar posibles residuos.

5.9.2. Reparación del casco

Una vez realizado los pasos anteriores, toca reparar la superficie de la embarcación, para ello se siguen los siguientes pasos:

- 1) Para rebajar grietas o burbujas (osmosis en el casco), se usa una amoladora o una fresa de carburo.



Ilustración 138: Ósmosis en un casco de fibra de vidrio, principal problema de las embarcaciones de material compuesto
La ósmosis se produce al entrar agua entre el gelcoat y el laminado de debajo, Fuente: yacht-painters.com

- 2) Se lijan las imperfecciones o bordes afilados.

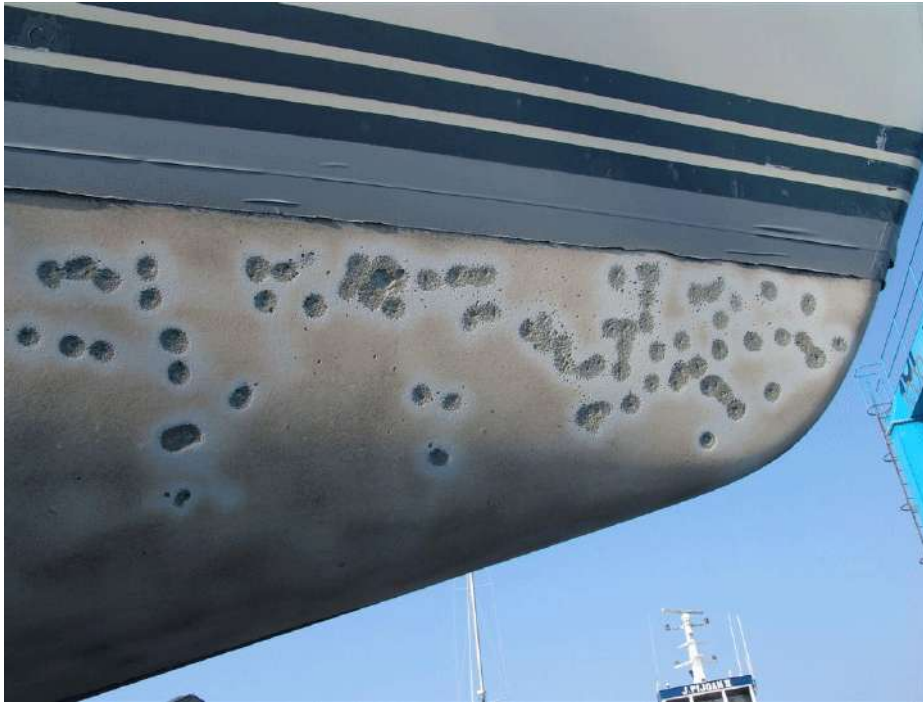


Ilustración 139: Retirado del gelcoat dañado por ósmosis, fuente: vdebravado.com

- 3) Se eliminan los residuos posibles limpiando la superficie
- 4) Se prepara el relleno teniendo en cuenta las indicaciones del producto. Los rellenos puede ser de:
- Resina de epoxi
 - Mezcla de fibra de vidrio y gelcoat
- 5) Con ayuda de un esparcidor, se aplica el relleno sobre las imperfecciones.



Ilustración 140: Aplicación de material de relleno, Fuente: Semirrigidasonline.es

- 6) Se lija la zona hasta que quede al mismo nivel de la superficie del casco. En caso de existir poros en la superficie trabajada, se vuelve a repetir el proceso anterior.
- 7) Se realiza una mezcla de gelcoat, reductor de gelcoat y endurecedor, la cual se rocía sobre la superficie. Se recomienda pulverizar, para obtener una capa uniforme.
- 8) Se lija la superficie con papel de lija de grano 800, y se termina con uno de 1200.
- 9) Se pule la superficie con un compuesto de pulido. A medida que se va puliendo hay que ir limpiando la zona.



Ilustración 141: Pulido del casco, Fuente: euronáutica.com

5.9.3. Astilleros más importantes en construcción naval: materiales compuestos

Astilleros Roodman

El Grupo Rodman se fundó en 1974, desde ese entonces ha construido más de 15.000 embarcaciones de diversas esloras; sus construcciones van desde el acero hasta los materiales compuestos. Rodman es la empresa más antigua en la construcción de embarcaciones de compuestos en nuestro país.

Los astilleros Rodman cuentan con las siguientes instalaciones:

- Superficie total de 240.000 m².
- Superficie cubierta de 66.000 m².
- 4 instalaciones localizadas en España y en Portugal:
 - Metalships & Docks (Vigo).
 - Rodman Polyships (Moaña).
 - Rodman Lusitania (Valença do Minho)
 - Neuvisa (Moaña).

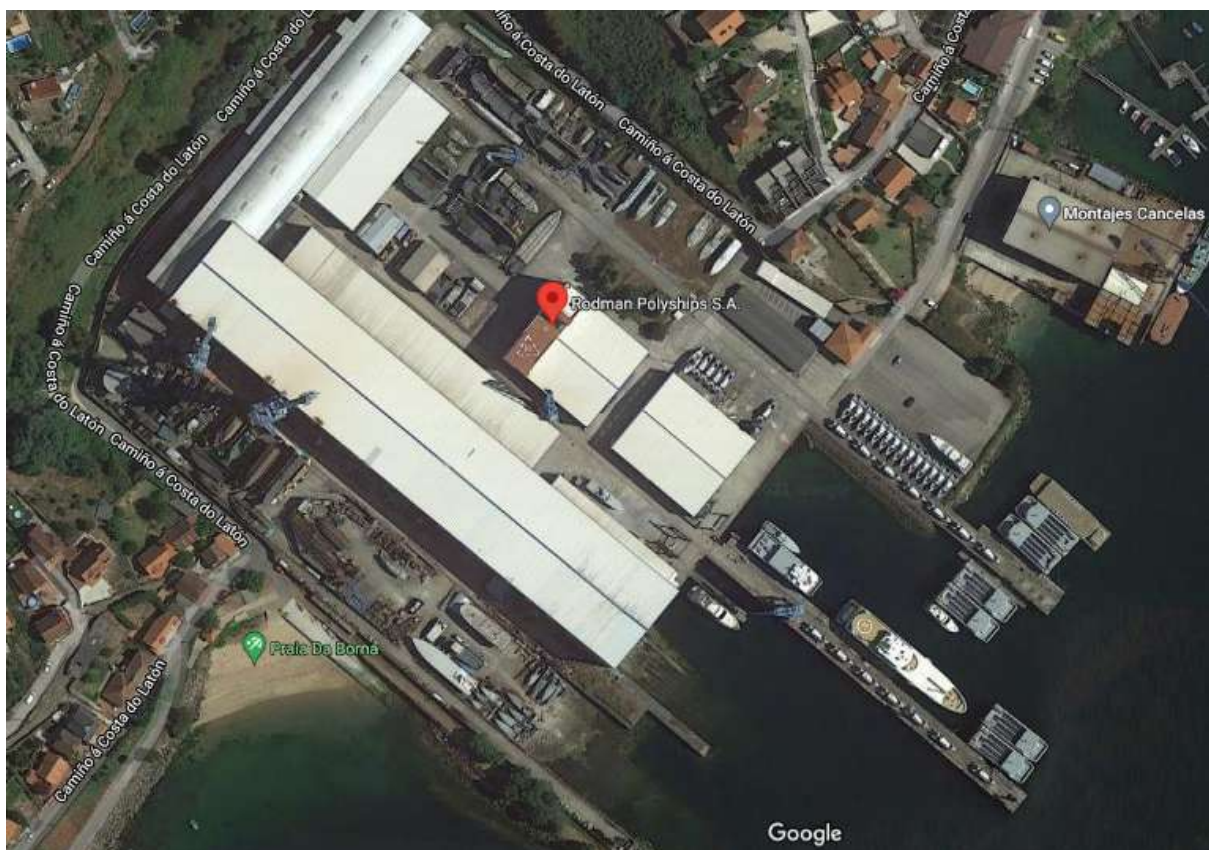


Ilustración 142: Instalaciones de Rodman Polyships, Fuente: Google Maps

Rodman se especializa en la construcción de patrulleras, embarcaciones de recreo, embarcaciones de pasaje , pesqueros y embarcaciones de servicio portuario.



Ilustración 143 : Patrullera “CONDOR” (Rodman 138). Es la patrullera más grande de Europa construida en PRFV (Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio) , Fuente: rodman.es

Gulf Craft

Empresa con sede en Umm Al Quwain, Emiratos Árabes; fue fundada en 1982. Gulf Craft cuenta con tres instalaciones, de las cuales dos se localizan en los Emiratos Árabes y una en Maldivas de 9290 m². En Umm Al Quwain cuenta con una superficie de 39000 m², la cual se encuentra equipada con zonas de lanzamiento y grúas pórtico elevadoras de 150 tons y de 500 tons, para la elevación y transporte de sus construcciones.

Gulf Craft opera varias marcas de embarcaciones de recreo, de las cuales se encuentran: Majesty Yachts, Oryx Sport Yachts & Cruisers, Silvercraft, y Nomad Yachts.

Ésta empresa produjo en el , el barco de recreo más grande del mundo construido de material compuesto, el “Majesty 175”; cuyas características son las siguientes:

- Eslora: 56,40 m
- Manga: 9,62 m
- Calado: 2,11 m
- Arqueo: 780 GT
- Motor: dos motores MTU de 2012 HP y 1500 kW
- Material del casco: Fibra de vidrio



Ilustración 144 : Majesty 175, el barco más grande del mundo construido en material compuesto ,
Fuente: majesty.gulfcraftinc.com

6. Otros materiales en construcción naval.

METALES NO FERROSOS	CARACTERÍSTICAS	USOS	PESO ESPECÍFICO
ALUMINIO	Ligero, elevada ductilidad, rigidez, fácil de reparar.	Construcción de cascos y superestructuras	2700 Kg/m ³
COBRE	Gran resistencia a la corrosión, alta maleabilidad, dúctil y conductor de la electricidad.	Tuberías, elementos decorativos, tornillería y forrado de obra viva en veleros	8960 Kg/m ³
TITANIO	Alta resistencia a la corrosión por agua de mar, baja densidad y de gran dureza.	Aparejos, tornillería, hélices, tuberías, cascos, forros.	4507 Kg/m ³
ACEROS Y METALES FERROSOS	CARACTERÍSTICAS	USOS	PESO ESPECÍFICO
ACERO INOXIDABLE	Resistente a la corrosión,	Tanques, cubiertas, barandillas, elementos de amarre, anclas para embarcaciones deportivas. Cadenas...	7850 Kg/m ³
ACERO ALEADO	Resistencia al calor, resistente a la corrosión, resistencia al desgaste...	Tuberías, construcción de embarcaciones, cadenas...	2690 Kg/m ³
HIERRO FUNDIDO	Flexible, maleable, buen conductor de la electricidad y tenaz	Anclas, cadenas, elementos de amarre	6920 Kg/m ³
ALEACIONES DE METALES	CARACTERÍSTICAS	USOS	PESO ESPECÍFICO
LATÓN	Dúctil, resistente a la corrosión en entornos marinos, conductor eléctrico, alta conductividad.	Hélices, campanas, decoración, tornillería, telégrafos y cubichetes de bitácora, iluminación..	8400 a 8700 Kg/m ³
BRONCE	Excelente conductor eléctrico, resistente a la corrosión	Campanas, portillos, tornillería, decoración iluminación	8900 Kg/m ³
DURALUMINIO	Resistente a la corrosión, resistente a las abrasiones, mecanizable	Tornillería	8750 Kg/m ³

7. La impresión 3D: una nueva cuestión

La impresión 3D o fabricación aditiva, consiste en la fabricación de un objeto por capas. El objeto se crea a partir de un modelo 3D realizado por ordenador, el cual se envía a una impresora que es capaz de reproducir el objeto diseñado. Las impresoras 3D usan materiales plásticos, aleaciones de metales, hormigón e incluso tejidos vivos; entre otros.

7.1. La impresión 3D en el sector marítimo

La impresión 3D se ha implementado en el sector marítimo, desarrollando las siguientes aplicaciones:

- Construcción de pequeñas embarcaciones
- Construcción de repuestos
- Construcción de hélices (en fase de experimentación).
- Impresión ligera de repuestos para naves de carreras.
- Equipos de mapeo para profundidades marinas.
- Repuestos de piezas mecánicas a bordo de embarcaciones.
- Drones navales (usados por la US Navy).
- Aislamiento a base de mallas.
- Generadores mareomotrices (en fase de experimentación).
- Consolas de mando.



Ilustración 145: Hélice “WAAMPeller”, primera hélice construida por impresión 3D, incorpora 298 capas de una aleación de bronce, aluminio y níquel. Fuente: Revista TCT.

7.2. Materiales para impresión 3D: construcción naval.

Los materiales empleados en la construcción de embarcaciones por el método de fabricación aditiva son los siguientes:

- Fibra de vidrio.
- Fibra de carbono.
- Fibra de madera.
- Mezcla de fibra de vidrio y plástico.
- Plástico ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno).
- Plástico PET
- ABS reforzado con fibra de carbono.



Ilustración 146: Impresión de una embarcación, Fuente: AMS (Advanced Machine Systems)

7.3. Proyectos existentes.

Los proyectos de embarcaciones construidas por el método de adición son las siguientes:

NOMBRE PROYECTO	CONSTRUCTOR	PESO (Kg)	DIMENSIONES	TIEMPO CONST.	Comp.
3Dirigo	Centro de Compuestos y Estructuras de la Universidad de Maine	2268	7,62 m de eslora	72 Horas	Fibra de madera
MAMBO	Moi Composites Colaboradores: Autodesk, Catmarine, Micad y Owens Corning	800	6,5 m de eslora 2,5 m de manga	7 a 8 meses	Fibra de vidrio
Pioneer 14 Active Dark	Pioner y Colaboradores: CIPAX y RISE	190	4,11 m de eslora 1,73 m de manga	–	Plástico y fibra de vidrio
AC9F	Yachting Developments	--	9 m de eslora	--	
One Minute Boat	Serious Bussines y Lay3rs	20.000	20 m de eslora	En desarrollo	PET reciclado
Barco Thermwood	Thermwood	1820	15,5 m de eslora	65,5 Horas	ABS reforzado con fibra de carbono
Kayac	Grass Roots Engineering	30	5 m de eslora 0,5 m de manga	–	28 tipos de plásticos ABS
Sumergible	Laboratorio Nacional de Oak Ridge	–	9,14 m de eslora	672 Horas aprox.	Material compuesto de fibra de carbono
Livrea 26	CRP Group	–	7,9 m de eslora	–	Materiales plásticos



*Ilustración 147: MAMBO, embarcación construida por impresión en fibra de vidrio.
Fotografía de Dimitris Siali, Fuente: mby.com*



*Ilustración 148: 3Dirigo, embarcación construida por impresión en fibras de madera.
Fuente: covissa.com*

8. Sociedades de clasificación: Normativa.

Las construcciones navales están reguladas por las diferentes sociedades de clasificación de diversas naciones del mundo, con el objetivo de que se cumplan los requisitos técnicos, bajo el concepto de seguridad humana y protección medioambiental. Las sociedades de clasificación son las siguientes:

- **American Bureau of Shipping (ABS):** con sede en Houston, Texas; es una sociedad de clasificación fundada en 1862, miembro de la IACS (Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación). Cuenta con más de 70 oficinas en todo el mundo.
- **Bureau Veritas (BV):** empresa con sede en Neuilly sur Seine, Francia; es una compañía de certificación, ensayo e inspección fundada en Amberes en 1828. La compañía cuenta con más de 1.400 oficinas en 140 países.
- **China Classification Society (CCS):** sociedad de clasificación fundada en la República Popular China en 1956. La CCSS forma parte de la IACS desde 1988.
- **Hrvatski Register Brodova (CRS):** es una sociedad de clasificación sin ánimo de lucro, especializada en la certificación y clasificación de buques. Dicha sociedad se fundó en Croacia en 1949 y forma parte de la IACS desde 1973.
- **Det Norske Veritas (DNV):** sociedad de clasificación miembro de la IACS, fue fundada en 1864. Con sede en Bærum, Noruega; dispone de 300 oficinas en 100 países.
- **Germanischer Lloyd (GL):** sociedad de clasificación fundada en 1867, con sede en Hamburgo, Alemania. En el 2013 se une con DNV, formando el grupo DNV GL, la sociedad de clasificación más grande del mundo.
- **Korean Register of Shipping (KR):** es una sociedad de clasificación con sede en Busan, Corea. La KR se fundó en Corea del Sur en 1960, siendo miembro de la IACS desde 1988. En la actualidad posee 66 oficinas por todo el mundo.

- **Lloyd 's Register (LR):** es una de las tres sociedades más importantes del mundo, junto con Det Norske Veritas y American Bureau of Shipping. Lloyd´s Register con sede en Londres, se fundó en 1760, convirtiéndose en la sociedad de clasificación más antigua. LR dispone de 300 oficinas alrededor del mundo.
- **Nippon Kaiji Kyokai (NK):** sociedad japonesa de clasificación no gubernamental, fundada en 1899. La NK tiene su sede en Chiyoda, Tokio.
- **Registro Cubano de Buques (RCB):** sociedad sin ánimo de lucro fundada en 1982, tiene su sede en La Habana, Cuba. Sus oficinas se distribuyen por todo el país.
- **Registro Italiano Navale (RINA):** sociedad de clasificación fundada en 1861, con sede en Génova, Italia; dispone de 200 oficinas en más de 70 países.
- **Russian Maritime Register of Shipping (RS):** sociedad clasificadora fundada en 1913. La RS tiene su sede en San Petersburgo, Rusia; dispone de 106 oficinas localizadas en Rusia y en países distribuidos por todo el globo.
- **Indian Register of Shipping (IRS):** sociedad de clasificación fundada en 1975, con sedes en Powai, Bombay y Maharashtra. En 1991 se convierte en miembro de la IACS. En la India posee 25 oficinas repartidas por el país y oficinas extranjeras en casi todos los continentes.
- **Polish Register of Shipping (IRClass):** sociedad clasificadora fundada en 1936. IRClass cuenta con su equipo propio para inspecciones subacuáticas, característica que la diferencia de otras sociedades de clasificación. Su sede se encuentra en Gdańsk, Polonia. La IRClass es miembro de la IACS desde 1972.

8.1. La Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación.

La IACS es una organización no gubernamental formada por 12 sociedades de clasificación marítima. El objetivo principal de la IACS es promover la seguridad y la preservación de los mares. Las organizaciones miembro de dicha Asociación son las siguientes:

- Lloyd's Register.
- Bureau Veritas.
- Hrvatski Register Brodova.
- American Bureau of Shipping.
- Registro Italiano Navale.
- Det Norske Veritas.
- Nippon Kaiji Kyokai.
- Russian Maritime Register of Shipping.
- Indian Register of shipping.
- China Classification Society.
- Korean Register of Shipping .
- Polish Register of Shipping.

Más del 90 % de los buques del mundo han sido clasificados por estas sociedades.

9. Bibliografía.

Historia barcos de madera

<http://www.barcelonaworldrace.org/es/educacion/programa-educativo/explora/ser-humano/historia-de-la-navegacion/navegacion-antigua/los-egipcios-y-las-primeras-barcas-de-vela#:~:text=Curiosamente%2C%20las%20maderas%20no%20se,maderas%20unas%20contra%20las%20otras.>

<https://historiaeweb.com/2015/10/09/las-embarcaciones-en-el-antiguo-egipto/#:~:text=Las%20embarcaciones%20egipcias%20estaban%20dotadas,la%20hora%20de%20realizar%20maniobras.>

https://historia.nationalgeographic.com.es/a/barcos-faraones_8270/3

https://es.wikipedia.org/wiki/Barcos_vikingos

<https://historiayarqueologiamaritima.wordpress.com/2009/07/27/la-tecnica-de-construccion-maritima-en-la-antiguedad/>

<https://www.romanoimperio.com/2009/10/navi-romane.html>

<https://www.naval-encyclopedia.com/medieval-ships/>

<http://artehistoriaestudios.blogspot.com/2017/06/capitulo-28-armada-y-ejercito-romano.html>

<http://aragonromano.ftp.catedu.es/flota.htm>

<http://jcdonceld.blogspot.com/2010/06/navios-de-la-edad-moderna.html>

http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Los_Barcos/Clippers/Clippers.htm

Libros

https://books.google.es/books?id=zEvZJCDsfdC&pg=PA46&lpg=PA46&dq=curva+capuchina&source=bl&ots=b_FAoJwdPq&sig=ACfU3U3XN67o-m4PwSRQmEWuusBPDm2JkA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwju64yhueTwAhUW7KQKHbbpDWcQ6AEwEHoECA0QAg#v=onepage&q=curva%20capuchina&f=false

<https://es.wikipedia.org/wiki/Baobao>

Diccionarios náuticos

<http://www.nautical-dictionary.com/carlinga>

http://www.waypointgijon.com/wabpoint_cp_027.htm

<https://dle.rae.es/>

<https://diccionario-nautico.com.ar/?s=quillote>

<https://diccionario-nautico.com.ar/>

Barcos de ferrocemento

<https://vadebarcos.net/2019/01/22/una-breve-historia-de-los-barcos-de-hormigon-armado/>

<https://weekend.perfil.com/noticias/nautica/el-misterio-de-los-barcos-de-cemento.phtml>

<https://www.texasce.org/tce-news/behind-the-ss-selma-a-historical-landmark/>

<https://tectonica.archi/articles/manual-barcos-de-ferrocemento/>

<https://www.navegar-es-preciso.com/news/barcos-de-ferrocemento/#:~:text=Los%20inconvenientes%20del%20ferrocemento%20son%3A&text=%2D%20Es%20menos%20resistente%20al%20impacto,No%20es%20buen%20aislante%20t%C3%A9rmico.>

<http://www.fao.org/3/V9468S/v9468s09.htm>

<http://www.fao.org/3/V9468S/v9468s0a.htm#TopOfPage>

Remaches

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn35.html>
https://www.wikiwand.com/es/Robl%C3%B3n_s%C3%B3lido
<https://es.wikipedia.org/wiki/Remache>
<http://www.boat-building.org/learn-skills/index.php/en/metal/riveting-2/>
<https://www.facebook.com/347644832693794/posts/766801797444760/>
<https://deingenierias.com/blog/remaches-y-uniones-remachadas/>

Impresión 3D

<https://www.autodesk.es/solutions/3d-printing>
<https://www.3dnatives.com/es/top-10-aplicaciones-maritimas-la-impresion-3d-230820172/>
<https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/waampeller-3d-printed-propeller-unveiled-rotterdam/>
https://www.damen.com/en/news/2017/11/worlds_first_class_approved_3d_printed_ships_propeller_unveiled
<https://www.3dnatives.com/es/los-proyectos-de-barcos-impresos-en-3d-mas-sorprendentes/>

Soldadura

<https://canaryislandssuppliers.com/index.php/es/maritimo-cat/itemlist/category/13-acero-y-soldadura>
<https://www.solyman.com/equipos-soldadura-arco-sumergido/>
<https://www.amadaweldtech.eu/es/base-de-conocimientos/soldadura-de-gas-inerte-tungsten-o-tig>
<https://www.binzel-abicor.com/ES/spa/soluciones/process/plasma-welding-paw/>
<https://es.linkedin.com/pulse/paw-plasma-arc-welding-joan-bonet>
<https://www.westarco.com/westarco/sp/education/blog/proceso-de-soldadura-arco-manual-con-electrodo-revestido.cfm>
<https://soldadoras.com.ar/soldadoras-mig/ventajas-desventajas-las-soldadoras-mig-mag/>
<https://soldadoras.com.ar/soldadoras-tig>
<https://ingtelecto.com/soldadura-por-arco-de-plasma/>
<https://www.maquinadesoldar.online/arco/arco-sumergido-saw>
<https://www.tiendaserecon.com/blog/soldadura-oxiacetilenica/#:~:text=Con%20este%20tipo%20de%20soldadura,un%20proceso%20por%20arco%20el%C3%A9ctrico.>
<https://www.telwin.com/es/telwin-academy/saldadura/mma-welding/>
<https://www.fronius.com/es-es/spain/tecnologia-de-soldadura/el-mundo-de-la-soldadura/soldadura-mig-mag>
<https://www.implika.es/blog/cual-es-la-diferencia-entre-soldadura-tig-y-mig-mag>
<https://asoldar.com/soldadura-tig/>
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn45.html>
<https://blogs.imf-formacion.com/blog/prevencion-riesgos-laborales/sin-categoria/epis-trabajos-soldadura/>

Mantenimiento acero

<https://conbdebarco.wordpress.com/2016/05/17/corrosion-marina-efectos-y-soluciones/>
<https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-corrosion-en-el-acero>
<http://ingmaritima.blogspot.com/2017/03/la-corrosion.html>
<http://ingmaritima.blogspot.com/2017/03/la-corrosion.html>

<https://www.nauticaydeportes.com/noticias/los-beneficios-de-la-pintura-antifouling/>
<https://ingenieromarinero.com/corrosion-y-proteccion-catodica/>
<https://www.aner.com/blog/mantenimiento-correctivo.html>
<https://www.mantenimientosbdbn.com/mantenimiento-preventivo-ventajas-desventajas/>

Aluminio

<https://static1.squarespace.com/static/5d7d9ffbd77d004e50ec27b1/t/5dbccced6e50835ed1a0f52d/1572654318506/tecnicasactualesdeconstrucciondeembarcaciones.pdf>

Corrosión aluminio

<https://www.jetdock.com/knowledge-center/prevent-aluminium-boat-corrosion.asp>
<https://aister.com/es/barcos-de-aluminio/barcos-de-aluminio-profesionales-ventajas/>
<https://proyectosnavales.com/2015/12/28/5-pasos-para-proteger-tu-velero-de-aluminio-frente-a-la-corrosion-galvanica/>
<https://www.mastervolt.es/evitar-la-corrosion-a-bordo-de-una-embarcacion/>
<https://www.boatingmag.com/protecting-aluminum-boats-from-salt-water-corrosion/>
<https://www.safe-skipper.com/galvanic-and-electrolytic-corrosion/>

Canarias

<https://www.astican.es/es/>
<https://www.tenerifeshipyards.com/wp-content/uploads/2014/11/OilGas-division-brochure-double-spread.pdf>

Composites

<https://www.navalcomposites.com/materiales-compuestos/conceptos>
<https://www.castrocompositesshop.com/es/fibras-de-refuerzo/1179-mat-de-hilos-cortados-de-fibra-de-vidrio-e-y-150-gm2.html>
<http://mildedales.com/?p=961>
<https://rodman.es/acerca-de-rodman/>
<https://www.gulfcraftinc.com/>

Reparaciones barcos compuestos

<https://www.nauticadvisor.com/blog/2016/04/22/todos-los-pasos-para-reparar-un-barco-de-fibra-de-vidrio/>
<http://apuntesjdrz.blogspot.com/2016/12/la-carpinteria-de-ribera-en-gran.html>
<http://www.composites-ate.com/tecnologias-de-fabricacion/>
<https://formlabs.com/es/blog/introduccion-moldeo-vacio/>

Carpintería de rivera en canarias

<https://mdc.ulpgc.es/utills/getfile/collection/aea/id/1543/filename/1544.pdf>
<http://agustinjordanromero.blogspot.com/p/fotos-y-videos-de-cursos.htm>
<http://apuntesjdrz.blogspot.com/2016/12/la-carpinteria-de-ribera-en-gran.html>

Carpintería de Ribera.

http://www.gestenaval.com/carpinteria/carpinteria_ribera.htm

Historia

<https://www.nuestromar.org/antiguas/el-ms-fullagar-el-primer-barco-de-casco-soldado-de-la-historia/>
<https://historicengland.org.uk/images-books/publications/iha-ships-boats-1840-1950/heag133-ships-and-boats-1840-1950-iha/>
<https://www.navegar-es-preciso.com/news/el-hierro-y-el-acero-en-la-construccion-naval-apuntes/>
<https://www.navegar-es-preciso.com/news/el-hierro-y-el-acero-en-la-construccion-naval-apuntes/>

Normativa

https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/42848/IDL-42848_v7n2.pdf?sequence=2&isAllowed=y
<https://media.defense.gov/2017/Aug/24/2001797416/-1/-1/0/2000-10%20ATLANTIC%20AREA%20BEST%20PRACTICE%20RIVET%20INSP%20GUIDANCE.PDF>

Construcción

<https://metinvestholding.com/es/media/article/stalj-v-sudostroenii-ot-istorii-do-nashih-dnej>

Links barcos de madera

<http://armadasiglo18.free.fr/armada18/construccion/construccion01.htm>
https://apps.rae.es/DA_DATOS/TOMO_II_HTML/CORAL_007247.html
http://apuntesjdrz.blogspot.com/2019/12/analisis-de-la-libreta-de-delineamiento_16.html
<https://dicter.usal.es/lema/buzarda>
<http://www.albaola.com/es/site/el-beque>
<https://armada.defensa.gob.es/archivo/rqm/2016/05/cap10.pdf>

Árboles/madera

<https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tarda-en-crecer-un-arbol-3027.html>
https://www.conifers.org/pi/Pinus_aristata.php
<https://maderame.com/enciclopedia-madera/roble/>
<https://www.blanquer.com/blog/teca/#:~:text=En%20la%20construcci%C3%B3n%20naval%20la%20capacidad%20de%20conservar%20el%20hierro.>
<https://maderame.com/madera-barcos/>
<https://www.forestmaderero.com/articulos/item/tabla-de-densidad-de-maderas.html>
<https://normadera.tknika.eus/es/content/ficha/olmo.html>
https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_5482_2592633.pdf
<http://www.cimsamaderas.com/es/maderas/tropicales/sipo>
<https://www.maderas-rado.com/productos/item/75-afroformosa>
<http://www.maderasdelrio.com/data/productos/ficheros/22082008121659.pdf>
<http://www.tropicaltimber.info/es/specie/pino-patula-pinus-patula/>
https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_682_16568.pdf
<https://www.maderea.es/madera-de-pino-pinaster/>

Permiso de divulgación del Trabajo Final de Grado

El alumno **Cristian Molina Quintana**, autor del trabajo final de Grado titulado “**Construcción Naval: desde la madera hasta los materiales compuestos**”, y tutorizado por el/los profesor/es **Salomón Iván Ramón Concepción Cáceres**, a través del acto de presentación de este documento de forma oficial para su evaluación (registro en la plataforma de TFG), manifiesta que **PERMITE** (Elimínese la que no corresponda, y el contenido de este paréntesis) 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 Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval; 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.

Nota: Este documento será obligatorio presentarlo como última hoja del documento final del TFG.
