

Diseño y construcción de una maqueta de remolcador

Trabajo Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
Pere Abaijón Remacha

Dirigido por:
Rosa Maria Fernández
Juan Antonio Moreno

Grado en Tecnologías Marinas

Barcelona, 8 de julio de 2019

Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial. Departament de Ciències i Enginyeria Nàutiques .



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona

"En la ciencia como en la lotería, la suerte favorece al que juega más, es decir, al que remueve continuamente la tierra del jardín"

Santiago Ramón y Cajal



Agradecimientos

Agradecer a mis tutores por todo el esfuerzo y dedicación mostrados a lo largo de todo el trabajo.

También, agradecer a mis padres por toda la ayuda incondicional y esfuerzo que han hecho posible que el barco luzca así y a mi hermano por las ideas.



Resumen

En el presente trabajo hay dos grandes caminos a desarrollar, la parte más teórica donde se tocan temas como la historia y usos de los remolcadores, los materiales compuestos y sistemas de control, y por el otro lado, la parte más práctica donde se lleva a cabo el diseño usando software 3D, la construcción de una embarcación, su motorización, puesta a punto y sus pruebas para el estudio en diferentes condiciones del estado de la mar.

Se empieza con un pequeño marco histórico, así como la necesidad de los buques remolcadores, los tipos y los usos a los que van destinados.

Posteriormente se habla sobre materiales compuestos, haciendo hincapié en las resinas de poliéster y algunos de los métodos usados hoy en día para la construcción y elaboración tanto sea de piezas como de embarcaciones.

Para acabar, se detalla en profundidad el proceso de diseño, construcción y ensayo de la embarcación de 1,10 m de eslora.

Abstract

In the present work there are two great paths to develop, the most theoretical part where topics such as the history and uses of tugboats, composite materials and control systems are touched, and on the other hand, the most practical part where it is carried out the design using 3D software, the construction of a boat, its motorization, set-up and its tests for the study in different conditions of the state of the sea.

It begins with a small historical framework, as well as the need for towing vessels, the types and uses to which they are intended.

Subsequently, we talk about composite materials, emphasizing polyester resins and some of the methods used today for the construction and processing of both pieces and boats.

To finish, the design, construction and testing process of the boat of 1.10 m in length is detailed in detail.

Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VII
LISTADO DE FIGURAS	X
LISTADO DE TABLAS	XV
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 MOTIVACIÓN	1
1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO	2
1.3 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA	2
CAPÍTULO 2. BARCOS REMOLCADORES	4
2.1 HISTORIA	4
2.2 BARCO REMOLCADOR	5
2.2.1 DEFINICIÓN	5
2.2.2 NECESIDAD DE LOS REMOLCADORES	6
2.2.3 FUNCIONES	6
2.2.4 CARACTERÍSTICAS	7
2.2.5 TIPOS DE REMOLCADORES	10
2.2.7 ELEMENTOS DE REMOLQUE	18
2.2.8 OPERACIONES DE REMOLQUE	22
2.3 MARCO NORMATIVO	28
CAPÍTULO 3. MATERIALES COMPUESTOS	29
3.1 DEFINICIÓN	29
3.2 TIPOS DE MATERIALES COMPUESTOS	29
3.3 MATRICES	31
3.3.1 FUNCIONES DE LA MATRIZ	31
3.3.2 TIPOS DE POLÍMEROS	31
3.3.3 MATRICES TERMOESTABLES	32
3.3.4 RECUBRIMIENTOS	37
3.4 FIBRAS	38
3.4.1 FIBRA DE VIDRIO	38
3.4.2 FIBRA DE CARBONO	39
3.4.3 FIBRAS ARAMÍDICAS	40

3.4.4 ESTRUCTURAS DE LOS TEJIDOS	41
2.5 TÉCNICAS DE MOLDEO	45
3.5 DESMOLDEANTES	46
CAPÍTULO 4. SISTEMAS DE CONTROL Y MOTORIZACIÓN	48
4.1 ARDUINO	48
4.2 SISTEMA DE RADIO CONTROL	48
4.2.1 EMISOR O TRANSMISOR	48
4.2.2 RECEPTOR	49
4.3 MODULACIÓN DE PULSOS	49
4.3.1 MODULACIÓN PWM	52
4.3.2 MODULACIÓN PPM	54
4.4 MOTORES BRUSHLESS	55
4.5 VARIADORES DE VELOCIDAD ESC	57
CAPÍTULO 5. CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUETA	58
5.1 REALIZACIÓN DEL DISEÑO EN 3D	58
5.2 REALIZACIÓN DEL MODELO	64
5.3 REALIZACIÓN DEL MOLDE	74
5.4 REALIZACIÓN DE LA PIEZA	81
5.6 PRUEBAS DE MAR	101
5.6.1 COMPORTAMIENTO EN AGUAS TRANQUILAS	102
5.6.2 COMPORTAMIENTO CON OLAS DE TRAVÉS	102
5.6.3 COMPORTAMIENTO CON OLAS DE PROA	103
5.6.4 COMPORTAMIENTO CON OLAS DE POPA	106
CAPÍTULO 6. SISTEMA DE CONTROL	109
6.1 EMISOR O TRANSMISOR	109
6.2 RECEPTOR	112
CAPÍTULO 7. PRESUPUESTO Y HERRAMIENTAS	117
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES	119
BIBLIOGRAFÍA	121
WEBGRAFÍA	121



Listado de figuras

Figura 1. Cuadro de Blas de Lezo.....	4
Figura 2. Remolque de un velero	5
Figura 3. Curva estabilidad	8
Figura 4. Tiro fijo.....	9
Figura 5. Remolcador de puerto.....	10
Figura 6. Remolcador de altura	11
Figura 7. Remolcador de altura y salvamento.....	12
Figura 8. Supply	13
Figura 9. Remolcador de cabotaje.....	14
Figura 10. Remolcador Inland	14
Figura 11. Remolcador convencional	15
Figura 12. Tobera.....	16
Figura 13. Remolcador con sistema azimutal en proa	17
Figura 14. Remolcador con sistema azimutal en popa	17
Figura 15. Remolcador tipo Void-Scheider.....	18
Figura 16. Chigre de remolque	19
Figura 17. Gancho de remolque	19
Figura 18. Cable de remolque	20
Figura 19. Bita.....	21
Figura 20. Pie de gallo	21
Figura 21. Rodillos horizontales	22
Figura 22. Pines Norman	22
Figura 23. Honolulu Tree	23
Figura 24. Tándem.....	24
Figura 25. Christmas Tree.....	24
Figura 26. Remolcador en flecha.....	25
Figura 27. Remolcador a cabeza de carnero	25
Figura 28. Remolcador abarloado	26
Figura 29. Distribución fuerzas en remolque	26

Figura 30. Tumbada.....	27
Figura 31. Esfuerzo longitudinal.....	30
Figura 32. Esfuerzo transversal.....	30
Figura 33. Curva exotérmica.....	33
Figura 34. Comparativa espesores laminados.....	34
Figura 35. Mat.....	42
Figura 36. Tejido.....	42
Figura 37. tafetán.....	43
Figura 38. Sarga.....	43
Figura 39. Satén.....	44
Figura 40. Ensamblados y tejidos.....	44
Figura 41. Laminado.....	45
Figura 42. Muestreo de señal.....	50
Figura 43. Modulación señal.....	52
Figura 44. Modulación PWM.....	53
Figura 45. Modulación PWM II.....	53
Figura 46. Modulación PWM III.....	54
Figura 47. Modulación PPM.....	55
Figura 48. Motor brushless.....	55
Figura 49. Secuencia cambio fases motor.....	56
Figura 50. ESC.....	57
Figura 51. Fases de la construcción.....	58
Figura 52. Líneas de agua.....	59
Figura 53. Intersección vistas.....	59
Figura 54. Proyección vistas.....	60
Figura 55. Casco.....	60
Figura 56. Timón y hélice.....	61
Figura 57. Timón y hélice II.....	62
Figura 58. Casco y cubierta.....	63
Figura 59. Barco final.....	63
Figura 60. Barco final II.....	64

Figura 61. Corte transversal	65
Figura 62. Sección en AutoCad	66
Figura 63. Secciones con vistas	67
Figura 64. Secciones con vistas II	67
Figura 65. Pre-forma piques	68
Figura 66. Pre-forma codaste	68
Figura 67. Pre-formas unidas	69
Figura 68. Pre-formas unidas II	69
Figura 69. Pre-formas unidas III	70
Figura 70. Pre-forma barco	70
Figura 71. Pre-forma barco II.....	71
Figura 72. Modelo inicial	72
Figura 73. Modelo masillado	72
Figura 74. Tolón del codaste	73
Figura 75. Modelo acabado.....	73
Figura 76. Desmoldeante	74
Figura 77. Línea de crujía.....	75
Figura 78. Preparación molde	76
Figura 79. Molde estribor I.....	76
Figura 80. Molde estribor I.....	76
Figura 81. Preparación molde babor.....	77
Figura 82. Molde terminado.....	77
Figura 83. Marcas molde estribor	78
Figura 84. Partes molde.....	79
Figura 85. Vaselina	79
Figura 86. Cera.....	80
Figura 87. Unión molde y encerado	80
Figura 88. Molde preparado para enfibrado.....	81
Figura 89. Aplicación resina.....	82
Figura 90. Casco enfibrado.....	82
Figura 91. Corte molde.....	83

Figura 93. Orificio	84
Figura 92. Corte	84
Figura 94. Molde del tolón del codaste.....	84
Figura 95. Tolón codaste en resina.....	85
Figura 96. Pieza acabada	85
Figura 97. Arreglo imperfecciones	86
Figura 98. Agujeros timón, bocina y conducto.....	86
Figura 99. Casco pintado	87
Figura 100. Masillado	87
Figura 101. Imbornales.....	87
Figura 102. Pintura obra muerta	88
Figura 103. Casco pintado	88
Figura 104. Puente y elementos de cubierta	89
Figura 105. Cubierta a popa	89
Figura 106. Cubiertas.....	90
Figura 107. Soporte cubierta.....	90
Figura 108. Soporte cubierta central.....	91
Figura 109. Anclajes cubierta central	91
Figura 110. Tapa registro cubierta de popa	92
Figura 111. Chumacera apoyo.....	92
Figura 112. Preforma pletina.....	93
Figura 113. Soporte motor	93
Figura 114. Montaje timón.....	94
Figura 115. Soporte servo timón	94
Figura 116. Unión eje con motor.....	95
Figura 117. Montaje motor	95
Figura 118. Goma en costados y regala	96
Figura 119. Cabina y soportes masillados y pulidos.....	96
Figura 120. Pintado interior cabina.....	97
Figura 121. Colocación film en cubierta	98
Figura 122. Unión soporte gancho	98

Figura 123. Estructura, cabina y soporte pintado	99
Figura 124. Barandillas	99
Figura 125. Barco terminado.....	100
Figura 126. Olas.....	101
Figura 127. Navegación aguas tranquilas.....	102
Figura 128. Olas de través	102
Figura 129. Navegación olas de través.....	103
Figura 130. Navegación olas de través II.....	103
Figura 131. Olas de proa.....	104
Figura 132. Navegación olas de proa	105
Figura 133. Navegación con olas de proa II.....	105
Figura 134. Ola de proa	106
Figura 135. Olas de popa.....	107
Figura 136. Navegación olas de popa.....	107
Figura 137. Navegación olas de popa II.....	108
Figura 138. Esquema eléctrico transmisor	109
Figura 139. Parte delantera emisor.....	110
Figura 140. Parte trasera emisor	110
Figura 141. Esquema receptor	112
Figura 143. Parte trasera receptor	113
Figura 142. Paete delantera receptor	113

Listado de tablas

Tabla 1. Comparativa entre materiales 35

Tabla 2. Catalizador y acelerador 36

Tabla 3. Propiedades fibra de vidrio..... 39

Tabla 4. Propiedades fibras de carbono 40

Tabla 5. Propiedades de las fibras aramídicas 41

Tabla 6. Comparativa desmoldeantes 47

Tabla 7. Listado herramientas 118

Capítulo 1. Introducción

1.1 Motivación

Desde las embarcaciones egipcias hasta los cruceros más modernos se ha intentado lograr que los barcos maniobren y naveguen lo mejor posible, ya sea para llegar a puerto y descargar la carga o para que los pasajeros desembarquen.

A mediados del siglo XIX es cuando la navegación y en especial el transporte marítimo empieza a crecer debido a la gran revolución, con la invención de la propulsión mecánica. Ya en el puerto holandés de Rotterdam se empezaron a construir buques rompe hielos para que esta industria creciente y en vías de desarrollo no se detuviera frente a inclemencias meteorológicas.[23]

Los buques empezaban a tener grandes esloras y calados, haciendo más complicada su maniobrabilidad, sobretodo en entrada a los puertos de carga. Por esta razón, empezó a hacerse necesario el desarrollo y construcción de un nuevo tipo de barco, potente y capaz de remolcar sin problema los pesados y grandes barcos. Estos nuevos barcos se llamaron remolcadores.

Gracias a la invención de la propulsión mecánica se diseñaron barcos remolcadores equipados con calderas de vapor transmitiendo la potencia a la hélice.

Dado que tanto la mejora o necesidad de la maniobrabilidad de los barcos ha ido evolucionando, los materiales de construcción también lo han tenido que hacer. Ya desde los egipcios se conocen los materiales compuestos y eran éstos que los usaban para arreglar o reforzar vasijas construidas en cerámica. [19]

El ámbito de estudio de este trabajo son los buques remolcadores siendo el motivo principal la posibilidad de aplicar los conocimientos teóricos de la carrera a algo práctico, concretamente a la construcción de un barco remolcador a escala.

Con el desarrollo del transporte marítimo el mar es cada vez más pequeño, pues es surcado constantemente por un número creciente de embarcaciones. Si hay unos espacios que se resienten especialmente por este hecho son los puertos. Los puertos tienen un espacio limitado, y sus ampliaciones no son siempre posibles, por este motivo una buena gestión de las entradas y salidas de embarcaciones puede hacer que un puerto sea mucho más eficiente. En este sentido cobra un papel especialmente importante el remolcador, pues de también él depende que un puerto gestione mejor su espacio. La apuesta por mejorar los remolcadores es -en parte- una apuesta por la eficiencia portuaria.

Es por este motivo que la embarcación sobre la que se centra este TFG es un remolcador, una embarcación de dimensiones relativamente reducidas capaz de mover barcos mucho más grandes que él debido, básicamente, al diseño del casco y su motorización.

1.2 Objetivos del trabajo

El objetivo central de este trabajo es diseñar prácticamente desde cero un barco y poder construirlo, aunque a pesar de ser una maqueta a escala, se han seguido todos los procesos de construcción usados en la industria naval. El objetivo incluye poder motorizarlo y controlarlo mediante controles electrónicos, así como el estudio y conocimiento del funcionamiento de los remolcadores y sus diferentes condiciones de operación para poder remolcar o hacer maniobrar un buque de grandes dimensiones.

Por tanto, se procederá también al diseño y construcción de uno de ellos, construyendo una maqueta a escala 1:20 de un remolcador del puerto de Bilbao utilizando materiales compuestos mediante unos procesos de construcción de embarcaciones utilizados actualmente en la industria naval y, finalmente, ponerlo a navegar para poder hacer un estudio de su comportamiento.

Desde el punto de vista tecnológico, una embarcación es una serie de elementos y sistemas dependientes unos de los otros pero, de igual manera, independientes entre ellos también, es decir, un sistema debe funcionar por si solo pero además, en concordancia con el resto.

Así, como objetivos específicos se tienen:

- Diseño en 3D de la embarcación mediante Rhinoceros.
- Poner en práctica la construcción y modelaje del casco y cubierta.
- Poner en práctica la construcción con materiales compuestos.
- Motorización e implementación de circuitos y elementos de control.
- Conocimiento de las técnicas de remolque usados.

1.3 Organización de la memoria

En los puntos que siguen en dicho trabajo, se separará la parte teórica donde se hablará de materiales compuestos, técnicas de moldeo y moldeado, de la construcción de cascos, de técnicas y maniobras realizadas con los barcos remolcadores y también comentar el marco legal que rige la operación de esto barcos en los puertos. Y en la parte práctica, se hablará principalmente de los pasos y procedimientos seguidos para dicha construcción y ensayo.

Así, la presente memoria está organizada como sigue:

El Capítulo 2 está dedicado a los barcos remolcadores. Se presentan los tipos de barcos remolcadores que hay, desde los pequeños barcos de vapor hasta los modernos remolcadores con propulsión Voith Schneider, haciendo una comparativa entre ellos y describiendo algunos de sus sistemas y disposiciones más significativos.

Aprovechando que se ha construido un barco con materiales compuestos, más concretamente con fibra de vidrio y resina de poliéster, en el Capítulo 3 se explican las técnicas y los procesos que se deben seguir para dicha construcción viéndolo desde un punto de vista más práctico pero basándonos en los principios y conocimientos teóricos de dicha materia.

En el Capítulo 5 se describe todo el proceso de construcción del barco y los métodos utilizados.

En el Capítulo 7 se detalla el presupuesto destinado para la construcción del barco remolcador.

Finalmente, en el Capítulo 8 se presentan las principales conclusiones del proyecto y se apuntan líneas futuras de mejora.

Capítulo 2. Barcos remolcadores

2.1 Historia

Hablar de transporte marítimo es sinónimo de hablar de remolcador o más concretamente de remolcar. Desde sus orígenes, la construcción naval siempre ha ido en función de las necesidades de la época.

Los caballos y reses se utilizaban para remolcar barcazas de pequeño tamaño por algunos canales y ríos.

Con el descubrimiento de América y con las rutas a las Indias, los buques a vela aumentan de manera considerable su tamaño y tonelaje haciendo complicada la entrada a puerto cuando el viento no era favorable teniendo que utilizar chulapas¹ con remos para realizar las maniobras tanto de entrada como de salida de puerto, siendo éstas las primeras operaciones de remolque de barcos a vela.

Si pensamos en remolque entre veleros, se puede ver en cuadros el gran marinero español Blas de Lezo y Olavarrieta remolcando un navío inglés después de una batalla. [23]

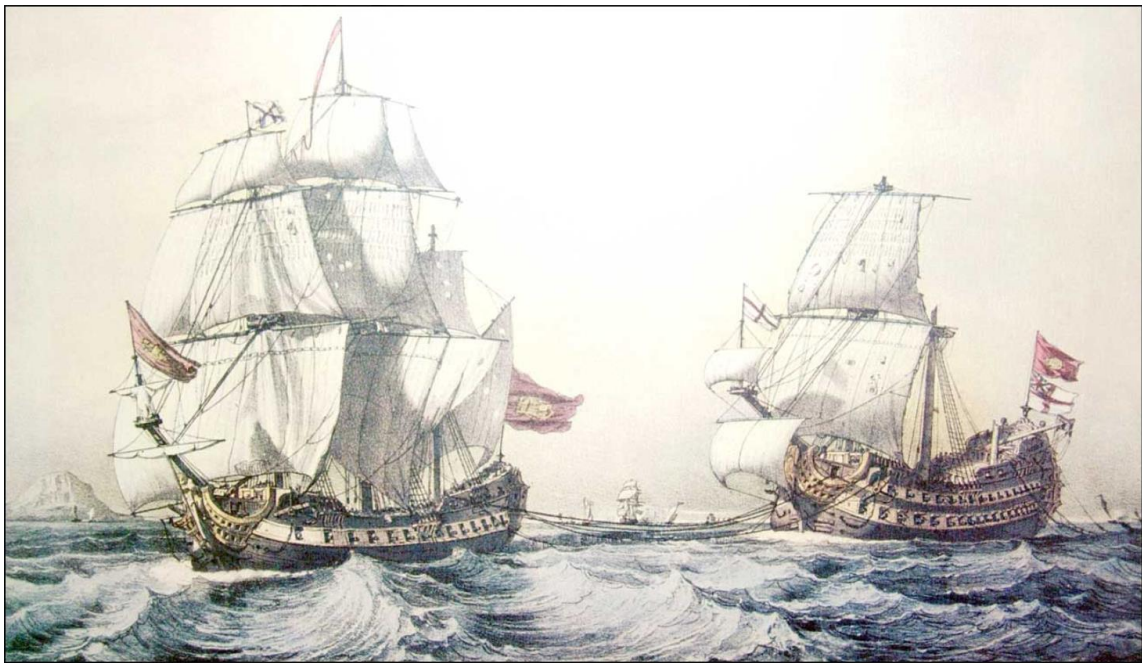


Figura 1. Cuadro de Blas de Lezo [8]

Cada vez los remolques a barcos grandes se demandaba más y eran los pesqueros que lo hacían pero con el progresivo aumento del tamaño de los barcos, se necesitaba además de la fuerza favorable del viento su remolque con barcos a remos. [1]

¹ Chulapa: Embarcación pequeña generalmente a remo.



Figura 2. Remolque de un velero [13]

Con la invención de la máquina de vapor, se podía solucionar el remolque de estos grandes barcos a vela para entrada y salida a puerto.

Holanda fue, durante muchos años, líder en remolques de barcos especializándose en remolques de salvamento instalados en puertos estratégicos con gran afluencia de tráfico. También tuvo una flota de remolcadores para proporcionar de remolque a las grandes dragas del este de la India y para remolcar barcos de puerto a puerto.

Sobre la década de los 50 y con el auge creciente de los motores de combustión, se abre la necesidad de perforar el subsuelo para encontrar petróleo en aguas profundas. La primera plataforma que se usó para perforaciones en aguas del Golfo de México fue "Mr. Charlie", la cual necesitaba de un barco para su colocación y remolque.

Empezaban así los barcos de suministro o de apoyo (*Supply*) siendo el primero el "Edd Tide" con una cubierta libre de 27 m.

De igual forma que se adaptó un barco para dar soporte a las plataformas petrolíferas, se hace con los barcos remolcadores, incorporando maquinillas de remolque, ganchos, uso de hélices de proa y transversales de popa hasta llegar a las hélices azimutales. [22]

2.2 Barco remolcador

2.2.1 Definición

El barco remolcador se ha convertido, actualmente, en un barco imprescindible en operaciones de trabajo en puertos, siendo una figura de rescate, de salvamento marítimo, para dar soporte a plataformas de extracción de crudo, trasladar barcos, etc.

Se puede definir un remolcador como un tipo de barco especializado en el apoyo de la maniobra de otros buques y/u objetos, o dicho de otro modo, un remolcador está diseñado para ejercer una fuerza de tracción o de empuje sobre el buque asistido tirando de él mediante un cabo de remolque o empujándolo

apoyándose en el casco del propio buque asistido ya que por su condición o lugar de navegación no puede navegar libremente manteniendo la seguridad. [17]

2.2.2 Necesidad de los remolcadores

En función de las necesidades y requisitos de cada puerto, se procede a la adquisición de un tipo de remolcador u otro.

Se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Las características del área donde va a desarrollarse la maniobra.
- Las condiciones climáticas.
- El tipo de buque a remolcar y sus condiciones de maniobrabilidad.
- El tipo de maniobra a realizar y forma de actuación.
- Las condiciones económicas que regulen la intervención de los remolcadores.

Con la llegada del buque a puerto, se separa la asistencia del mismo en tres fases, siendo:

1. El buque mantiene una velocidad apreciable donde puede mantener un control de la navegación con sus propios medios, siendo, por ejemplo, por hélices o timón. Si se requiere asistencia de remolcadores, éstos no demandarán potencia o tracción excesiva pero, si en caso necesario, condiciones específicas de navegabilidad para poder asistir al buque en movimiento.
2. El buque reduce la velocidad para la aproximación al área de maniobra donde el buque realiza la parada.
En esta fase el buque reduce la velocidad, reduciendo también la posibilidad de maniobrar por sus propios medios siendo necesaria la asistencia de remolcadores.
3. Se realizan las últimas maniobras de aproximación o atraque, en el caso de llegada a puerto.
El buque no dispone de suficiente velocidad para poder actuar por sí solo. Es en esta fase donde la ayuda de remolcadores es la más importante. [17]

2.2.3 Funciones

A continuación, se enumeran una serie de funciones que desempeña o puede desempeñar este tipo de barco, siendo:

- Asistencia en buques durante maniobras de atraque o desatraque.
- Ayuda o asistencia en buques con espacios limitados de maniobra.
- En condiciones de baja velocidad, donde la eficacia del timón y motor propulsor se ve reducida, pueden dar apoyo en condiciones de fuerte viento, oleajes o corrientes, así como a la detención del buque.
- En circunstancias de buque sin gobierno o sin propulsión, dan remolque o auxilio.
- Transportar elementos sin medios de propulsión de un lugar a otro.

- En buques que transportan mercancías peligrosas donde puede haber una incidencia considerable, pueden dar escolta.

2.2.4 Características

Dadas las necesidades y funciones de las que se debe hacer cargo, su capacidad y facilidad de maniobra son fundamentales para poder llevar a cabo su trabajo.

También, la potencia al freno, potencia al eje, tracción a punto fijo o *bollard pull* y la estabilidad definen las características que deben cumplir estos barcos. [1]

2.2.4.1 Maniobrabilidad

Es fundamental la capacidad y facilidad de la maniobra para el desarrollo de las funciones a realizar que ya con grandes buques y con espacios reducidos es imprescindible poder moverse rápidamente y en todas direcciones.

La maniobrabilidad o la capacidad de maniobra depende en gran parte de la forma del casco por lo que requiere de un buen diseño en forma hidrocónica a popa o de fondo plano para que a la hélice no le lleguen turbulencias.

Otro de los elementos a destacar son los sistemas de propulsión y gobierno en especial si se dispone de sistemas tipo Schottel o Void-Schneider proporcionando mayor movilidad al remolcador en todas direcciones.

Un factor influyente también es la posición del gancho o chigre de remolque que deberán estar muy cerca del centro de resistencia lateral o hacia popa de él.

Además, también debe tener un puntal reducido manteniendo el punto de remolque a baja altura y la capacidad de pasar de una situación de avance toda a completamente parado.[17]

1.2.4.2 Estabilidad

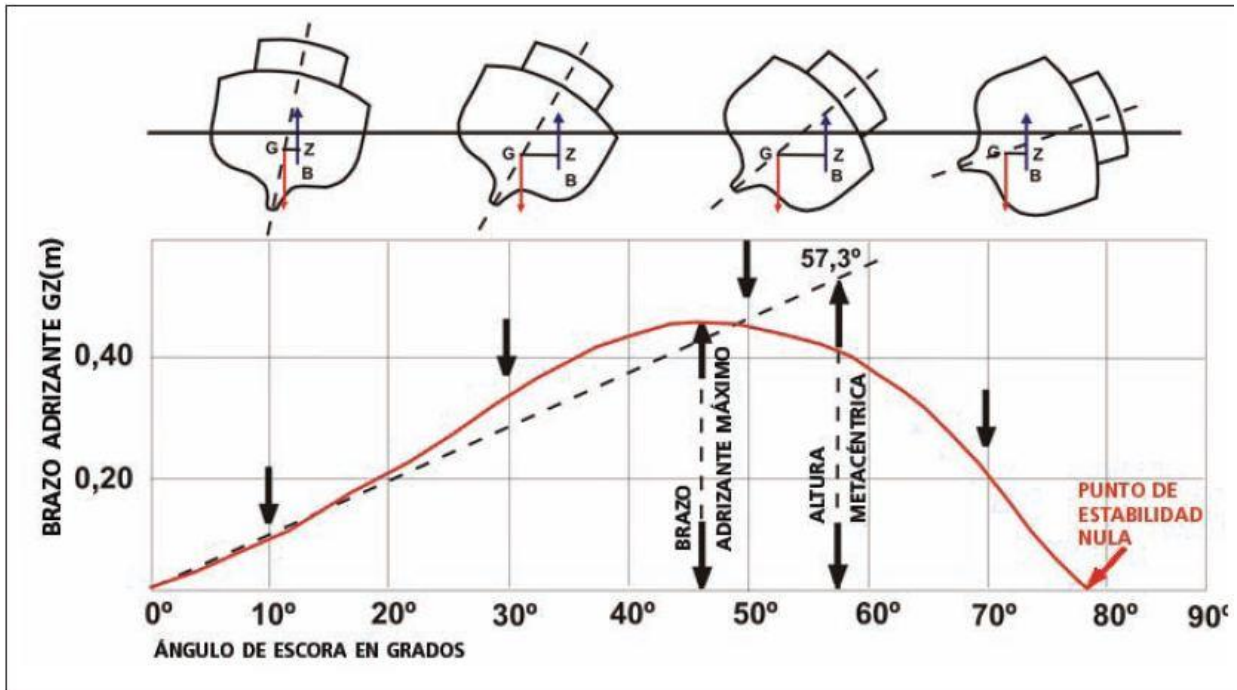


Figura 3. Curva estabilidad [17]

Teniendo en cuenta la curva de estabilidad estática, ésta será positiva hasta los 60-70° con un brazo de estabilidad de unos 60 cm, siendo necesario, entonces, que las puertas de sala de máquinas y alojamientos sean estancas debido a la posibilidad de alcanzar estas grandes esloras cuando tira en dirección de través.

Para mejorar la estabilidad estática de los buques remolcadores se puede hacer aumentando la manga, llegando a tener relaciones de eslora/manga inferiores a 3.

Se deben mantener las condiciones de estabilidad en cualquier condición de carga y remolcado con buen y mal tiempo. [17]

El brazo adrizante, que se muestra en la figura 3, se puede calcular mediante:

$$GM = \frac{SHP \cdot h}{100 \cdot \frac{\Delta \cdot f}{B}} \quad (1)$$

O también,

$$GM = \frac{BHP \cdot h \cdot 15}{\Delta \cdot \frac{1}{B}} \quad (2)$$

donde,

SHP = Potencia en HP del eje de propulsión.

BHP= Potencia en HP al freno

h= Distancia vertical desde el centro del esfuerzo a la parte superior del anclaje (Bita o gancho).

B= Línea de flotación de la cuaderna maestra.

f= Francobordo mínimo en m.

Δ = Desplazamiento en T a plena carga.

2.2.4.3 Potencia

La potencia necesaria para el remolcador deberá ser la suma de la potencia necesaria para mover el remolque y al propio remolcador.

Esta suma de potencias será la necesaria para remolcar o empujar a un buque a una velocidad determinada permitiéndole gobernar en las peores condiciones meteorológicas posibles, es decir, la potencia deberá ser aquella que le permita realizar de forma segura la maniobra.

2.2.4.4 Tiro fijo (Bollard pull)

Es importante destacar la tracción a punto fijo ya que este valor es directamente proporcional a la potencia de los remolcadores necesaria para sus funciones a desarrollar.

Esta tracción es la fuerza horizontal que puede aplicar el remolcador trabajando avante con una velocidad de avance nula. [17]



Figura 4. Tiro fijo [17]

La tracción a tiro fijo depende del área de giro de la hélice, el paso de hélice, potencia al freno, potencia al eje, desplazamiento buque, forma de casco y sistema propulsor.

2.2.5 Tipos de remolcadores

Como ya se ha comentado anteriormente, en función de la situación y de las funciones a realizar, se usará el tipo que mejor las desempeñe.

2.2.5.1 Remolcador de puerto

Se emplean para el tráfico interior de puerto ya que el uso de remolcadores en muchos puertos es obligado e imprescindible para el manejo en espacios reducidos añadiendo seguridad y rapidez a la maniobra.

Son remolcadores robustos con la proa reforzada y protegida para poder empujar sin peligro de daños en el casco. Generalmente son cascos anchos, cubierta amplia y francobordo bajo. Debido a la gran necesidad de maniobrabilidad, disponen de sistemas muy avanzados.

La potencia suele oscilar entre los 400 y 3.000 CV, con una tracción a punto fijo entre las 6 y 30 toneladas con una eslora entre los 15 y 25 metros y un calado superior a 4,5 metros. [17]



Figura 5. Remolcador de puerto [17]

Un remolcador de puerto, puede no disponer de chigre de remolque ni de elementos para la lucha contra incendios o contaminación aunque suele disponer de un molinete para la recogida del cabo de remolque para que de esta manera hacerlo firme a la bita de cubierta. [15]

2.2.5.2 Remolcador de puerto y altura

Los remolcadores de altura tienen mucho calado y grandes dimensiones ya que estas embarcaciones pueden mantener el rumbo y gobierno hasta en las peores condiciones meteorológicas posibles.

Estos remolcadores oceánicos pueden remolcar en cualquier parte del mundo por muy lejos que se encuentre el puerto de origen dando remolque por popa. Además, deben estar dotados de suficiente autonomía, tanto de combustible, agua y piezas de recambio. También se usan para dar apoyo a grandes buques o realizar el amarre de supertanques a mono boyas, entre otras.

Su equipamiento principal lo forman el chigre de remolque y una grúa en cubierta, dispone también de equipos de contra incendios y lucha contra la contaminación.

La potencia de estos remolcadores oscila entre los 1.500 y 5.000 CV, una potencia de tiro fijo de 20 a 55 toneladas con una eslora entre 20 y 35 metros y un calado superior a 5 metros. [17]



Figura 6. Remolcador de altura [17]

Los remolcadores de altura deben cumplir los siguientes requisitos para garantizar la operatividad en cualquier condición de remolque, meteorológico y estado de la mar:

- Elevada autonomía ya que puede realizar trayectos largos.
- Manga elevada y francobordo relativamente reducido para que la maniobra de remolque no afecte negativamente a su estabilidad.

- Disposición de defensas de goma y cinturón en toda la traca de cinta y protección para operaciones de carnero.
- Equipados con sistemas de posicionamiento y ayudas a la navegación.
- Deben disponer de un taller a bordo con maquinaria y materia prima necesaria para autoabastecerse de piezas de recambio y reparaciones, si fuera necesario. [17]

2.2.5.3 Remolcador de altura y salvamento

Los remolcadores de salvamento son remolcadores de altura que exigen de unas características diferentes dependiendo del servicio que va a realizar ya que no es lo mismo auxiliar a una embarcación de recreo o un pesquero que a un buque mercante o un buque de pasaje en alta mar.

Estos buques dispondrán, por lo tanto, de un chigre de remolque, grúas en cubierta, equipo de lucha contra incendios y dispositivos de contención para evitar la contaminación marina.

Para la contención de la contaminación marina, se pueden encontrar buques que dispongan o no de tanques de almacenamiento y concentración de vertidos. Los que si disponen de tanques, pueden concentrar también los residuos mediante barreras flotantes y exportar el efluente producido por el *skimmer*. Los que no llevan tanques, disponen de medios de contención mediante barreras y líquidos dispersantes o detergentes. [21]



Figura 7. Remolcador de altura y salvamento [21]

Su potencia puede oscilar entre los 4.000 y 20.500 CV, una tracción a punto fijo de 55 a 230 toneladas con una eslora entre 35 a 80 metros y un calado no superior a los 8 metros. [17]

2.2.5.4 Remolcador *supply*

Los remolcadores del tipo *supply* son remolcadores de altura pero están diseñados para poder transportar y abastecer grandes cantidades de carga a las plataformas petrolíferas (agua potable, cemento, provisiones, etc.).



Figura 8. Supply [21]

Disponen, en la popa, de medios fijos como rodillos para pasar y trincar cables y facilitar el trabajo con cadenas, pines hidráulicos, etc. con una cubierta larga y ancha con capacidad de carga y para trabajar en ella. [20]

2.2.5.5 Remolcador de cabotaje

Este remolcador es más pesado que el de puerto, con mayor potencia, mayores dimensiones y capacidad de combustible utilizado para manejar los pesados y grandes cables de remolque.



Figura 9. Remolcador de cabotaje [21]

En caso necesario, disponen de bombas contra incendios y equipos de salvamento. [20]

2.2.5.6 Remolcador Inland o de transporte interior

Son remolcadores para el transporte de gabarras por ríos, canales y lagos. No necesitan de una cubierta despejada ya que se usa como superficie de carga. Se utilizan plataformas flotantes que se arrastran o empujan para transportar la carga.

Disponen de muy poco calado y navegan con casi todo el casco hundido. Tienen una gran potencia y mucha maniobrabilidad.



Figura 10. Remolcador Inland [21]

Este tipo de barco, tiene el puente alto y la cubierta de proa es mínima ya que en transportes por río de madera, esta carga puede alcanzar los 10 metros de altura imposibilitando la visión. [17]

2.2.6 Sistema de propulsión y gobierno

Los sistemas de propulsión del barco deberán estar bien dimensionados en función tanto del tamaño como de la resistencia del casco.

Son las Sociedades de Clasificación quienes se encargan de establecer las normas pertinentes para el cumplimiento de las normativas referente a los motores y sistemas de gobierno.

Los motores que impulsan los sistemas de propulsión de los remolcadores son Diesel y accionan hélices convencionales o especiales.

2.2.6.1 De propulsión convencional

Estos remolcadores disponen de una o más hélices convencionales accionadas por un eje rígido y situadas a popa, en el codaste.

Los remolcadores convencionales tienen carencias en maniobrabilidad, debido a:

- Ángulo de paro limitado.
 - No tienen la capacidad de cambiar el sentido de la marcha durante las maniobras de forma rápida.
- [17]

Las principales ventajas e inconvenientes son las siguientes:

- Adecuado como remolcador de proa siendo maniobrable a muchas velocidades.
- Como contrapartida, inadecuado como remolcador de popa al carecer de maniobrabilidad en marcha atrás.

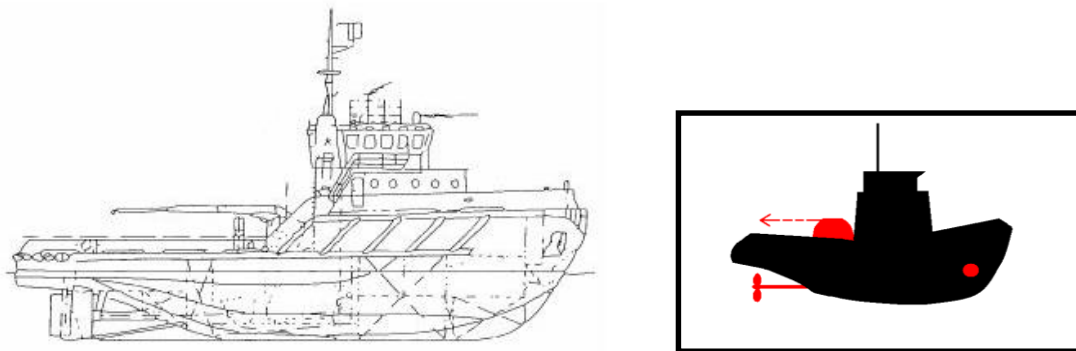


Figura 11. Remolcador convencional [17]

Un remolcador convencional puede estar propulsado por una, dos o hasta tres hélices siendo la maniobrabilidad de dos o tres hélices mejor que la de solo una. Las hélices se sitúan dentro de toberas.

La utilización de toberas se debe a que evita las turbulencias provocadas alrededor de la hélice aprovechando más el empuje ya que una hélice libre dando avance, puede aprovechar un 60% de su máximo empuje y dentro de la tobera, ésta misma hélice puede aprovechar de un 75 al 85% del empuje y consecuentemente, aumentando la potencia de tiro fijo. [17]



Figura 12. Tobera [17]

2.2.6.2 Con sistema azimutal en proa (tipo Schottel)

Generalmente, montan dos hélices en tobera pudiendo girar 360° sobre sí mismas.

Debido a su configuración, es adecuado para remolcador de proa y de popa e incluso, en desplazamiento lateral, tienen gran maniobrabilidad. Asimismo, se puede usar para operaciones de empuje y de tiro ya que dispone de una gran tracción en todas direcciones. [17]

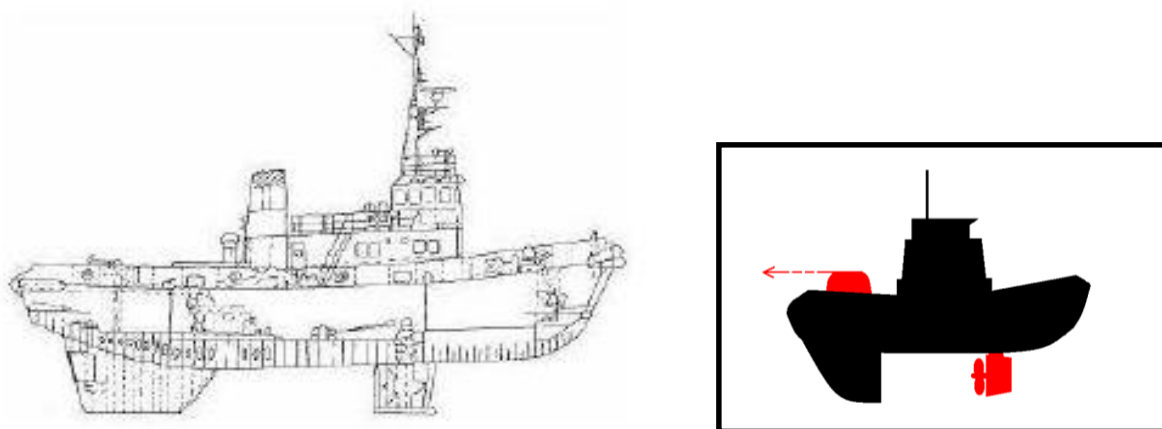


Figura 13. Remolcador con sistema azimuthal en proa [17]

2.2.6.2 Con sistema azimuthal en proa (tipo Schottel)

Dispone de dos hélices pudiendo ser orientada cada una de forma independiente, aumentando la maniobrabilidad haciendo virar al buque sobre sí mismo.

Generalmente, dispone de dos chigres de remolque tanto en proa como en popa. Debido a la disposición de los azimuts en la popa, está dotado de una gran velocidad en avance y atrás siendo adecuado para operaciones de tiro o empuje disponiendo de una gran fuerza de tracción en todas las direcciones. [17]

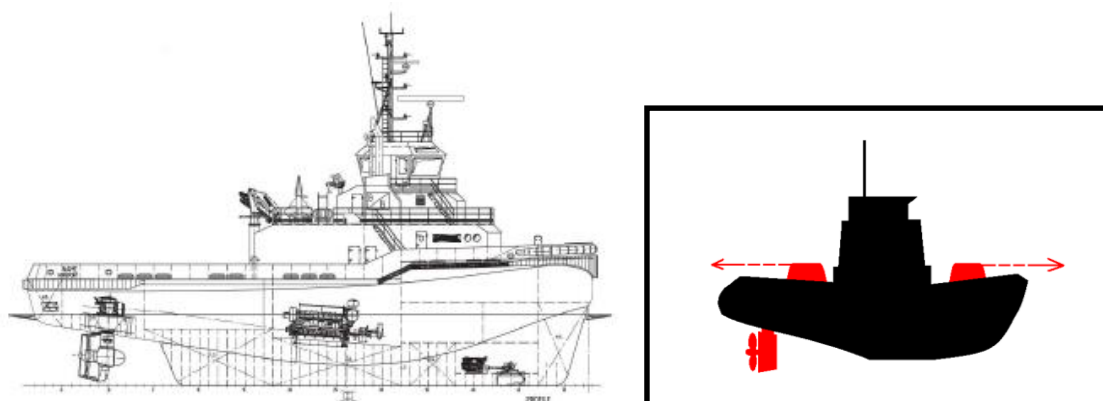


Figura 14. Remolcador con sistema azimuthal en popa [17]

2.2.6.3 Con sistema cicloidal (tipo Void-Scheider)

Esta propulsión consta de unas palas verticales que giran sobre un eje vertical permitiendo el desplazamiento del buque en todas las direcciones. Permite regular el ángulo de ataque de las palas durante el funcionamiento comportándose, por lo tanto, como hélices de paso variable, se puede variar también, la dirección del empuje y así funciona también como elemento de gobierno eliminando el timón.

Es decir, al modificarse el paso de la pala y su excentricidad se consigue que la fuerza de empuje actúe en cualquier dirección logrando cambios de marcha de adelante a atrás de forma muy rápida.

Debido a la gran versatilidad y maniobrabilidad, el buque puede navegar en cualquier condición y rumbo, utilizados generalmente en canales y puertos. [17]

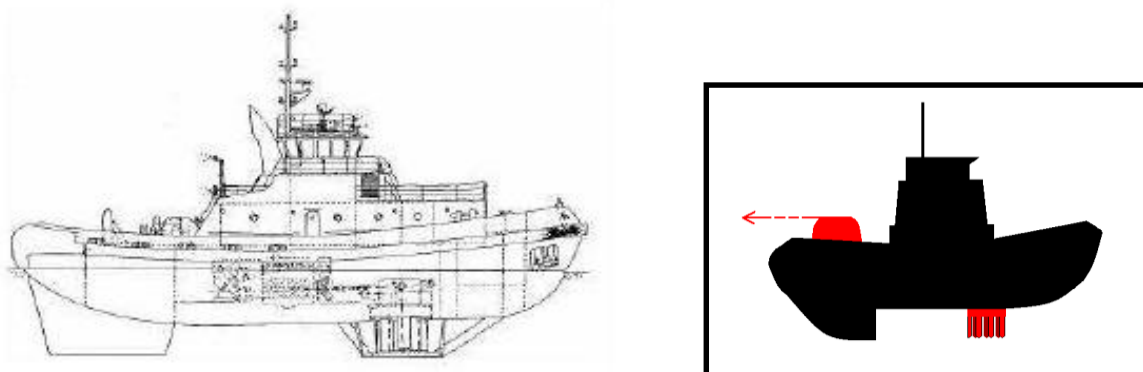


Figura 15. Remolcador tipo Void-Scheider [17]

2.2.7 Elementos de remolque

Una vez descritas las características y funciones de los barcos remolcadores, se debe conocer como las llevan a cabo y mediante qué elementos y equipos serán necesarios para la operativa de remolque. Dichos equipos deben ir en la cubierta como pueden ser el chigre de remolque, el gancho de remolque, las bitas, grilletes, etc.

Por lo tanto, cada remolcador dispondrá de unos elementos u otros en función de la operativa a realizar. [15]

A continuación, se detallarán una serie de equipos y/o elementos destinados a su uso para el remolcaje.

2.2.7.1 Chigre de remolque

Consiste en una máquina hidráulica con uno o más tambores donde se enrolla el cable de remolque. El sistema automático de tensión o de longitud mantiene constante, en todo momento, la longitud y la tensión previamente programada de manera que recoge el cable cuando queda en banda y vira cuando se tensiona demasiado. También puede estar el sistema manual.

El chigre de remolque se debe situar tan abajo como sea posible para que la estabilidad del buque no se vea afectada. [15]



Figura 16. Chigre de remolque [15]

2.2.7.2 Gancho de remolque

Gancho previsto con un mecanismo de cierre donde se le fija el cabo de remolque del buque remolcado. El mecanismo de obertura puede ser automático o manual.



Figura 17. Gancho de remolque [15]

2.2.7.3 Cable de remolque

Es el cable o cabo empleado para las labores de remolcado. El cable se suele emplear para remolques largos, costeros y oceánicos donde se necesita mucha longitud y gran resistencia. Éste cable puede llegar a ser de 6 cm de diámetro.



Figura 18. Cable de remolque [15]

2.2.7.4 Bitas

Colocadas en cubierta. Son piezas robustas usadas para hacer firmes las estachas de amarre que se largan al muelle y también para hacer de guía a los cabos de remolque permitiendo que el tiro del remolque siempre sea en la misma dirección haciendo que los buques remolcado y remolcador no varíen el rumbo de manera imprevista por acción del viento o de las corrientes. [17]



Figura 19. Bita [17]

2.2.7.5 Pie de gallo

Es el conjunto de elementos que unen las estachas o cables fijados al buque remolcador con cable de remolque. En el buque remolcador se colocan dos estachas (una a cada banda) fijadas a un grillete donde se fija el cable de remolque para dividir la resistencia del cable y tener más ángulo de tiro. [1]

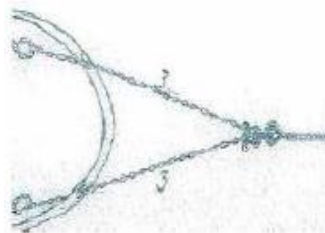


Figura 20. Pie de gallo [17]

2.2.7.6 Rodillos horizontales

Son elementos de seguridad usados para minimizar el desgaste del cable durante su arriado y/o virado. El rodillo se mueve con el cable evitando así que roce siempre en el mismo sitio haciendo que no roce tampoco en operaciones de remolque con movimientos laterales de babor a estribor. [18]

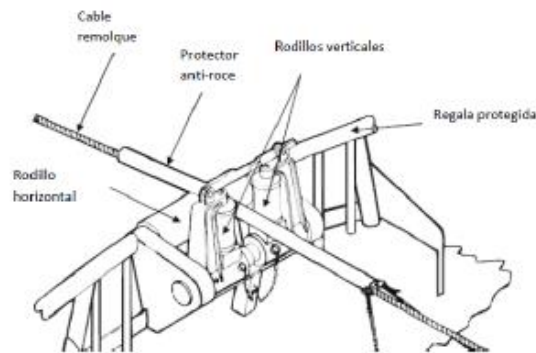


Figura 21. Rodillos horizontales [19]

2.2.7.7 Pines Norman

Son otro elemento de seguridad siendo la función principal la de limitar el arco de barrido sobre la cubierta.

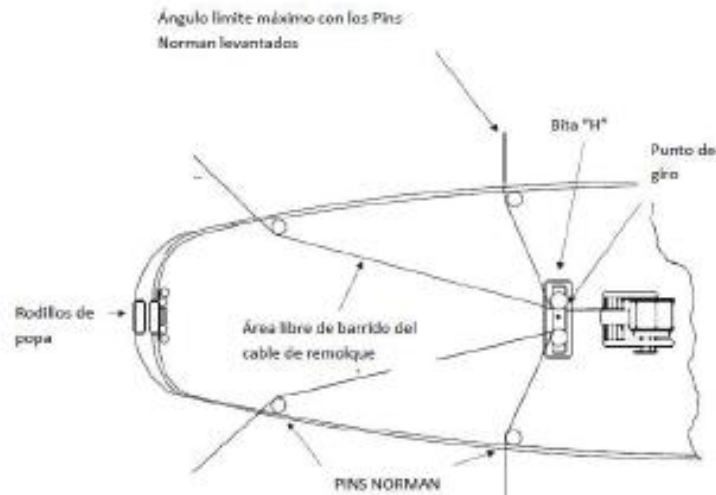


Figura 22. Pines Norman [19]

2.2.8 Operaciones de remolque

En este apartado se hablará desde el remolque más sencillo que es un barco remolcador y un barco remolcado hasta el caso de un remolcador para dos o más remolcados.

El remolque de buques se debe dar a través de un contrato comercial o el que se da sin una previa preparación realizado de urgencia y emergencia para salvaguardar la vida y/o embarcaciones. [9]

2.2.8.1 Dos a más remolcadores para un solo remolque

Utilizado cuando es necesario dar remolque a grandes buques o elementos que requieran de grandes potencias y un solo barco no es capaz de darlo.

Hay dos posibles configuraciones de uso:

- Un remolcador se une a otro mediante su propio cable de remolque y este segundo conectado al buque a remolcar.
Es una maniobra un tanto peligrosa debido a que el segundo remolcador tiene una escasa maniobrabilidad aunque, como ventaja principal, se puede destacar que el primer remolcador se ocupa únicamente de dar movimiento al segundo y éste usa toda su potencia en remolcar el buque.
- Ambos remolcadores se encuentran conectados al buque.
Es un método más cómodo pero más peligroso debido a que si uno de los dos remolcadores se queda sin gobierno tiene la posibilidad de que sea abordado. [1]

2.2.8.2 Un remolcador para dos o más remolcados

Por excelencia, este tipo de operación se usa en el remolque de gabarras² aunque en ocasiones muy puntuales puede darse en el transporte de embarcaciones en aguas muy tranquilas.

Podemos encontrar:

- *Honolulu Tree*: Donde cada remolque está conectado mediante un *pennant* a la línea. Servirá únicamente en navegación por aguas tranquilas.

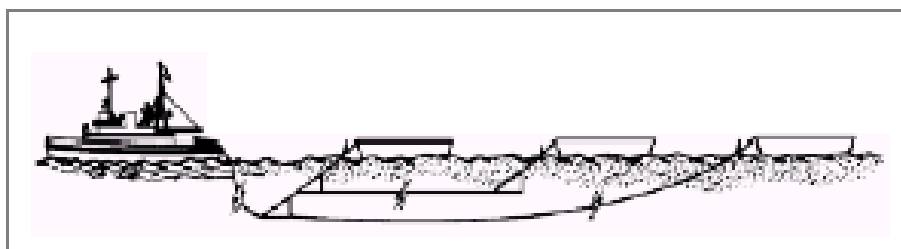


Figura 23. Honolulu Tree [1]

- *Tándem*: El cable de remolque está conectado al primer remolque y en él irá conectado, por popa, el segundo remolque y así de forma sucesiva hasta completar con todos los remolques. Usado generalmente para el transporte de cabotaje o fluvial de gabarras. [1]

² Una gabarra es una embarcación muy básica sin formas hidrodinámicas y generalmente sin sistema de gobierno ni lastrado.

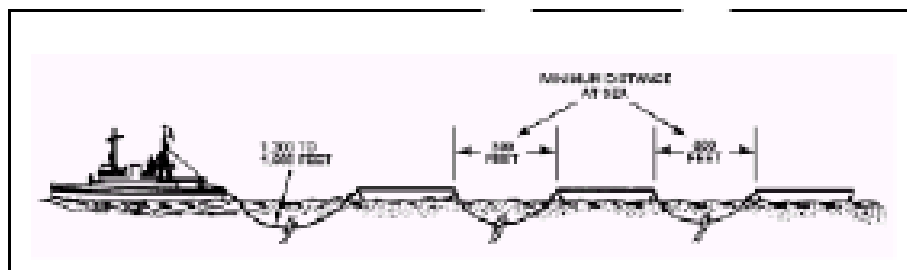


Figura 24. Tándem [1]

- *Christmas Tree*: Consiste en unir en una línea recta mediante *pennants* unidos por triángulos dejando libres un vértice donde se amarran las gabarras. Entre triángulo y triángulo se incorporan cadenas para dar un poco de flexibilidad al sistema y para evitar que en alguna circunstancia, se levante la línea de unión. Ocupa menos espacio por lo que es un sistema muy utilizado en el transporte fluvial. [1]

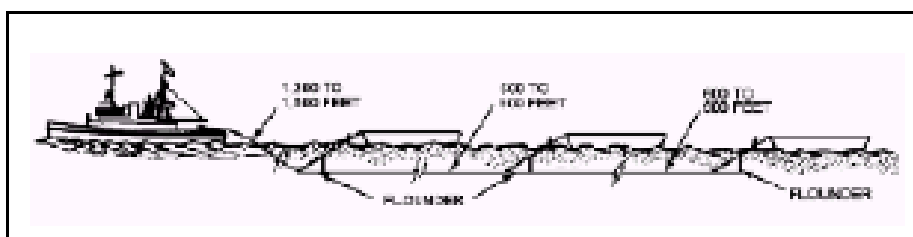


Figura 25. Christmas Tree [1]

2.2.8.3 Remolque de un buque sin timón

Para remolcar un buque que se ha quedado sin timón se deberá tener en cuenta su velocidad de crucero ya que si ésta es menor a la del remolcador, éste dará remolque por popa. Si es mayor o se debe navegar por zonas de mucho tráfico, se remolcará usando el cable de remolque tirando de él a una determinada velocidad aunque, como el buque remolcado podrá dar máquina adelante, la resistencia del remolque será muy pequeña por lo que sólo servirá de timón haciéndolo virar. [1]

2.2.8.4 Remolcador trabajando en flecha

El remolcador tira del buque remolcado mediante un cabo. Así se evita el contacto directo entre ambas embarcaciones y se asegura que toda la potencia del remolcador se ejerce en la dirección del cabo.

El principal inconveniente es que el espacio para la maniobra es mayor por lo que no podrá usarse si hay limitaciones de espacio. [17]



Figura 26. Remolcador en flecha [17]

2.2.8.5 Remolcador apoyado en proa

El remolcador apoya su proa en el costado del buque al que auxilia y lo empuja perpendicular a la crujía trabajando a cabeza de carnero.

Se puede fijar con cabos de amarre el remolcador al buque para evitar el deslizamiento relativo entre ambas embarcaciones durante la maniobra. [17]



Figura 27. Remolcador a cabeza de carnero [17]

2.2.8.6 Remolcador abarloado

El remolcador se sitúa paralelamente al costado del buque quedando amarrado mediante cabos asegurando la maniobra.

Es un procedimiento que se usa para buques que no tienen suficiente propulsión, en lugares de poco espacio o en aguas muy tranquilas. [17]

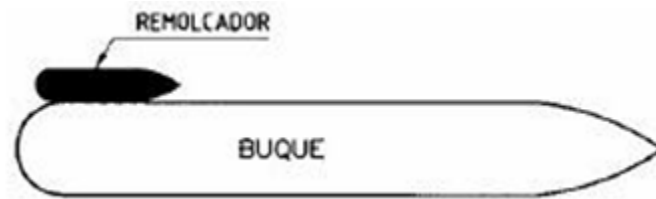


Figura 28. Remolcador abarloado [17]

2.2.8.7 Navegar con remolque

La velocidad del buque remolcador debe ser la mínima al principio hasta ir tensando el cabo de remolque y mover el buque auxiliado tirando siempre de la línea proa-popa haciendo los cambios con metidas de timón de 10° . Con cambios grandes de rumbos, el buque debe meter el timón a la banda contraria. [6]

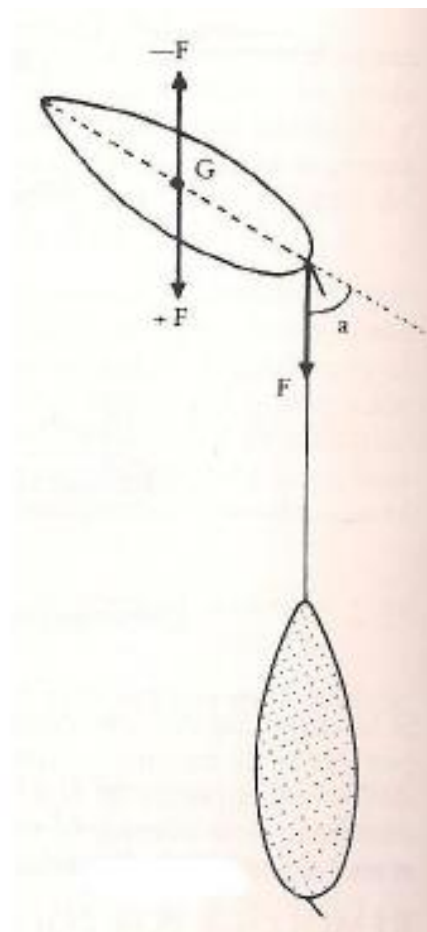


Figura 29. Distribución fuerzas en remolque [6]

Cuando el remolcador hace un cambio de rumbo, se forma un ángulo entre la línea de proa-popa y el cable del remolcador (α), apareciendo un par de fuerzas, $+F$ y $-F$. Si el remolcado pusiese también el timón a babor, al caer la proa actuaría en contra del par del remolcador, con peligro de hacerle zozobrar. Para evitarlo se pondrá el timón del remolcado unos grados a la banda contraria a fin de disminuir el ángulo α , y cuando la proa del remolcado esté en línea con proa-popa del remolcador, empezará a poner el timón a babor.

Si el remolque no fuese tripulado, cuando el remolcador deba hacer un cambio grande de rumbo, hará firme la retenida de remolque o colocará la clavija Norman para evitar que el cable de remolque llegue de través. [1]

Uno de los grandes peligros en el remolcador es que el cable de remolque le llegue de través, ya que al formarse un par de fuerzas, el brazo será la distancia vertical que separa el punto de afirmado del remolque y el gancho o chigre de remolque del remolcador, al vencer el momento del par de estabilidad transversal del remolcador, se producirá una zozobra rápidamente.

Cuando el cable quede de través, inmediatamente se pondrá el timón a la banda para obligar a la popa del remolcador ponerse en dirección del cable de remolque y estar preparados para largar el remolque en caso de inminente peligro. [6]

Tumbada o guirding

Se dice que un remolcador puede tumbar cuando remolca de costado ocasionando una fuerza opuesta a la línea de remolque.

Cuando la situación de una tumbada es inminente, se debe largar el cabo de remolque para evitar peligros mayores. [19]

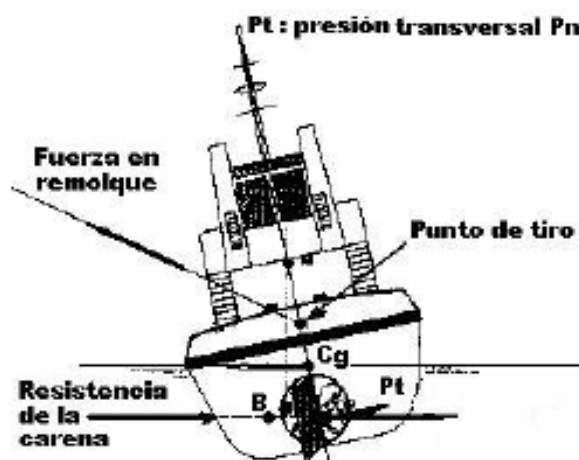


Figura 30. Tumbada [19]

Cuanto más corto sea el remolque, más rápido llegará al tumbado o guirding además de que a mayor altura sobre el centro de flotación esté el gancho, más facilidad de tumbar también.

Para evitar estas situaciones, el remolcador debe poner la popa debajo de la línea del remolque y evitando, en cuanto sea posible, las guiñadas. [19]

2.3 Marco normativo

Según el Derecho Marítimo, la Asistencia en la mar engloba tanto el auxilio como el salvamento.

Auxilio se refiere a evitar un posible siniestro mientras que salvamento se refiere a evitar las consecuencias de un siniestro ya producido pero no existe ninguna diferencia al ser ambos equiparados por el Convenio de Bruselas del 23 de Septiembre de 1910 como por la Ley 60/62 del 24 de Diciembre (BOE núm. 310), Auxilios, Salvamentos, Remolques y Extracciones Marítimas y su Reglamento aprobado por el Decreto 984/67 del 20 de Abril (BOE núm. 117).

Se trata de una actividad dirigida a socorrer y/o ayudar a un buque, personas o cosas en una situación de peligro en la mar. De carácter obligatorio cuando la prestación de ayuda viene ordenada por la ley.

La Ley 60/62 otorga la Autoridad de Marina que siempre deberá cumplir con el salvamento de vidas humanas, empleando para ello todos los medios de que disponga, pudiendo con este objeto utilizar toda clase de embarcaciones y ordenar a sus dotaciones la prestación de auxilio.

A su vez, el art. 116.2.k de esta misma Ley, clasifica como infracción administrativa muy grave la no prestación o denegación de auxilio a las personas o buques cuando dicho auxilio ha sido solicitado o sea necesario. La omisión de socorro y/o denegación de la ayuda está comprendida en los arts. 371 y 489 del Código Penal y es en el art. 119 donde dice que se dará cuenta al Ministerio Fiscal.

Tanto el convenio de Bruselas como la legislación española señalan que todo auxilio y salvamento que haya producido un resultado útil dará lugar a una remuneración a no ser que se preste contra la prohibición expresa y de forma razonada del buque socorrido o en los casos de salvamento de personas únicamente. Fuera de estas excepciones, la remuneración correrá a cargo del armador pero en ningún caso podrá superar el valor del buque salvado.

Cabe destacar, también, que a pesar de que la asistencia a una embarcación que se encuentra en una situación extraordinaria la puede y debe prestar cualquier buque, las labores de salvamento están adjudicadas de manera oficial a la Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima (SASEMAR).

SASEMAR es una entidad pública adscrita al Ministerio de Fomento a través de la Dirección General de la Marina Mercante creada en el año 1992 por la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante entrando en funcionamiento en el 1993. [1][12][9]

Capítulo 3. Materiales compuestos

3.1 Definición

Un material compuesto es una combinación de materiales constituido a partir de la unión de dos o más componentes dando lugar a uno nuevo con unas propiedades características específicas, las cuales no serán ninguna de los materiales por separado siendo éstas dependientes del tipo de interface y de las características de los componentes.

En un material compuesto se pueden identificar de forma evidente dos fases, la que forma la matriz (de forma continua) y la de refuerzo (de forma discontinua).[2]

3.2 Tipos de materiales compuestos

Se pueden clasificar los materiales compuestos en función de su matriz, siendo:

- Materiales compuestos de matriz metálica
- Materiales compuestos de matriz polimérica
- Materiales compuestos de matriz cerámica

Los materiales compuestos de matriz metálica se usan principalmente para componentes aeroespaciales y de motores de automoción ya que poseen alta resistencia y muy bajo peso. Como pueden ser las aleaciones de aluminio con refuerzos de fibras de boro, etc

Los materiales compuestos de matriz cerámica mejoran las propiedades mecánicas como pueden ser la resistencia y la tenacidad de los materiales cerámicos tradicionales pero en bajas temperaturas. Siendo, por ejemplo, los carburos de silicio y los óxidos de aluminio.

Los materiales de matriz polimérica son materiales con buenas propiedades mecánicas, resistentes a la corrosión y a los agentes químicos y, además, pueden ser moldeados con libertad de formas. Como pueden ser, como matrices, las resinas de poliéster, epoxi, viniléster, etc y como material de refuerzo, las fibras de vidrio, aramídicas (kevlar) y las de carbono. Estos materiales son los más comunes en la construcción de embarcaciones.

Las fibras de refuerzo ya son por si solas un elemento resistente pero su eficiencia no es la óptima siendo necesario combinarlas con una matriz que las proteja de factores externos.

La orientación de las fibras es un factor determinante ya que si se analizara una probeta construida por refuerzos unidireccionales y sometida a tracción en el sentido de las fibras de refuerzo, se puede observar como la resistencia a la tracción adquiere valores más elevados que de forma aislada. [2][3]

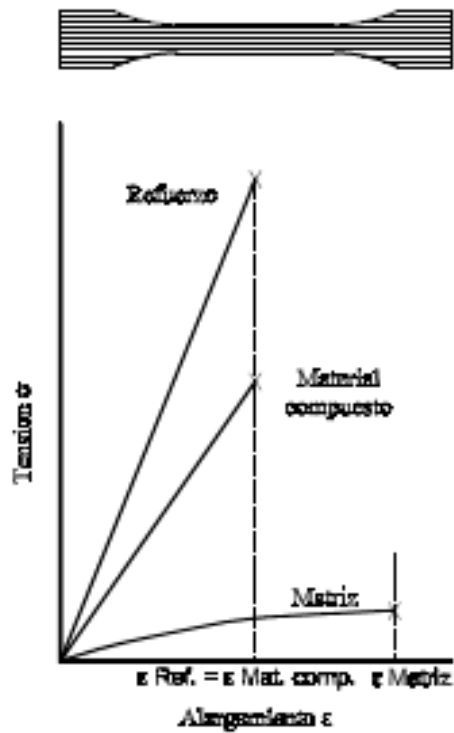


Figura 31. Esfuerzo longitudinal [2]

En el caso contrario, si se analiza una probeta cambiando el sentido de la orientación de las fibras estando éstas de forma transversal al esfuerzo, se observaría que los valores de resistencia son inferiores a cada uno de sus componentes por separado. [2]

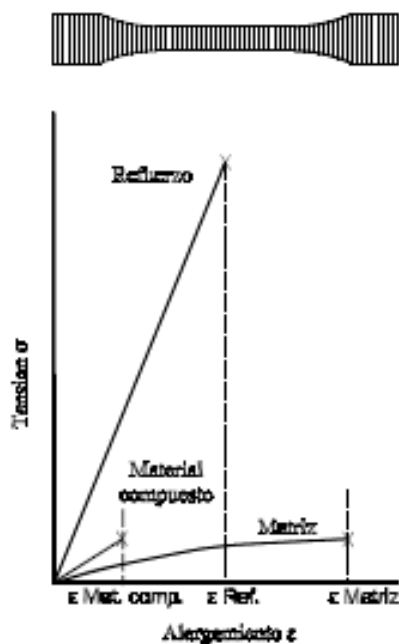


Figura 32. Esfuerzo transversal [2]

De esta forma, se puede decir que los materiales compuestos pueden mejorar las propiedades de los componentes que los forman pero siempre y cuando se utilicen de la forma adecuada y conociendo previamente los esfuerzos a los que estarán sometidos. [2]

3.3 Matrices

Polímero viene del griego y significa muchas partes. Es decir, está formando por grandes moléculas que se forman por una secuencia de moléculas pequeñas enlazadas unas a otras por enlaces covalentes simples.

Los matrices compuestos de matriz polimérica son las más utilizadas en la industria naval. [5]

3.3.1 Funciones de la matriz

Juntamente con los elementos de refuerzo, constituyen los elementos básicos e indispensables en un material compuesto. Las funciones principales de las matrices son:

- Transmitir los esfuerzos a las fibras de refuerzo.
- Proteger a las fibras de esfuerzos de compresión.
- Unir las fibras de refuerzo.

Protegen a las fibras de ataques externos como la humedad, ataques químicos, etc.

Asimismo, los materiales compuestos de matriz metálica se basan en la adición de refuerzos con fibras y/o partículas, donde la fabricación de estos compuestos se hace por presión y temperatura o bien mediante procesos metalúrgicos. Por coste, su utilidad es para uso aeroespacial. [2]

Los materiales de matriz polimérica sí que tienen uso en el sector naval, siendo utilizadas las matrices termoplásticas y las termoestables.

Los termoplásticos se utilizan generalmente para la construcción de piezas de tamaño reducido ya que necesitan de calor y alta presión para poder moldearse, en cambio, los termoestables no necesitan control de la presión ni temperatura haciendo la fabricación de piezas más sencilla y barata necesitando únicamente moldes fabricados, principalmente, con maderas o la misma fibra. [5]

3.3.2 Tipos de polímeros

Existen diversas formas de clasificar los tipos de polímeros existentes.

Se empezará con una clasificación en función de su procedencia, siendo:

- Polímeros naturales: Como pueden ser la lana, seda, algodón, caucho natural, etc
- Polímeros sintéticos: Siendo los plásticos, caucho sintético, pinturas, etc.

Otra clasificación que se puede hacer es por el comportamiento térmico que poseen los polímeros, quedando:

– Termoplásticos:

Son polímeros que cuando se calientan se convierten en fluidos.

Como por ejemplo, los polietilenos, polipropilenos, policloruro de vinilo, etc

– Elastómeros:

Polímeros que poseen cadenas con mucha libertad de movimiento con gran flexibilidad. Son infusibles e insolubles.

Como ejemplos, caucho natural, poliutadieno, etc

– Termoestables:

Son polímeros que no funden con la temperatura para ser moldeados. Suelen ser resinas de gran rigidez que sometidas a alta temperatura se descompone el polímero pero a temperatura ambiente son duros y frágiles.

Como ejemplos se pueden encontrar las resinas de poliéster, viniléster, epoxi, etc.

Para poder mejorar las características mecánicas se suelen mezclar con diferentes materiales de refuerzo como fibras de vidrio. [3]

3.3.3 Matrices termoestables

Debido a la gran utilidad en el sector naval, como ya se ha comentado con posterioridad, en este apartado se hablará más de este tipo de matriz profundizando más concretamente sobre la resina de poliéster y la de epoxi, a pesar de que existan muchas otras, estas son las dos más usadas en el sector naval.

Siendo el estado inicial un líquido viscoso, que mediante una reacción de endurecimiento pasa por un estado de gel y se transforma en un sólido. Principales ventajas del uso de los termoestables:

- Alta rigidez
- Bajo peso
- Alta estabilidad dimensional y térmica
- Resistencia a la deformación bajo carga.
- Buenas propiedades como aislante térmico y eléctrico

Denominaremos curado al proceso por el cual la resina pasa del estado líquido al estado sólido y para que esto se produzca, es necesario añadirle a la resina un catalizador y un acelerador. Desde que se produce la mezcla se inicia el proceso de endurecimiento. [3][5]

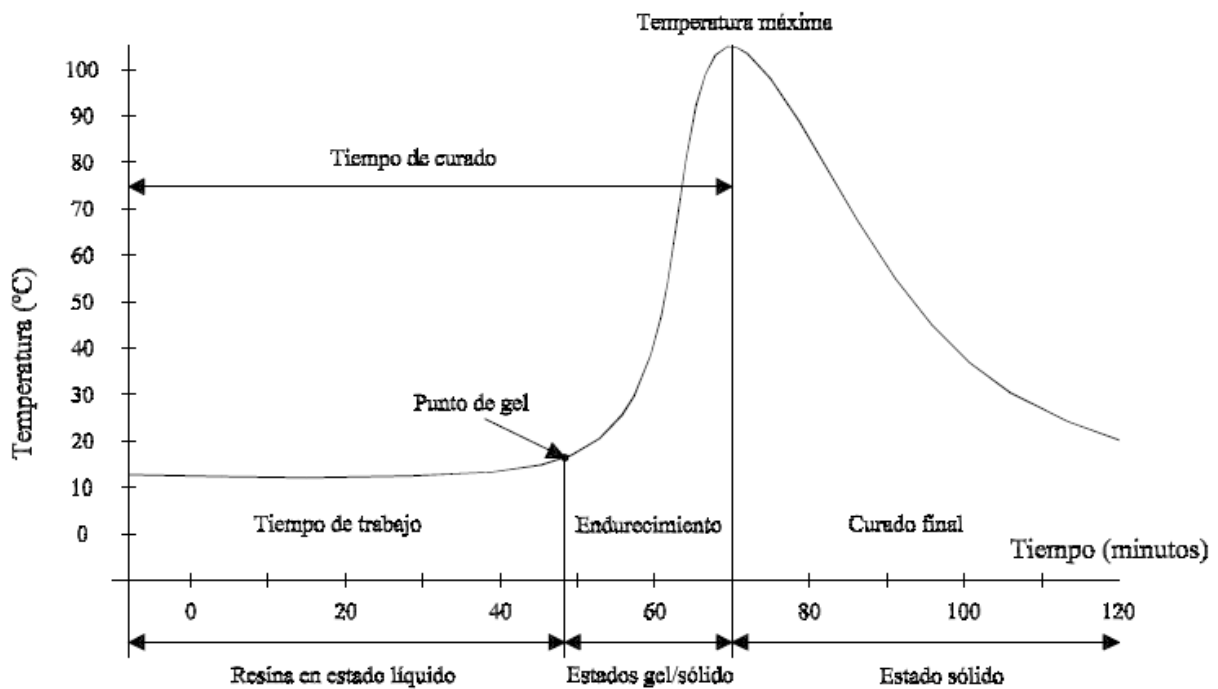


Figura 33. Curva exotérmica [2]

Se puede observar como en la primera parte de la gráfica no existe un incremento de la temperatura de la mezcla, aunque comienza a aumentar su viscosidad, hasta el punto que se transforma en un gel que hace imposible seguir impregnando la fibra: este es el punto que se conoce como punto de gel y determina los límites de tiempo de trabajo.

A partir del punto de gel, comienza la fase de endurecimiento de la resina generando calor de forma exotérmica, se produce un aumento de la temperatura de la mezcla. El tiempo que dura esta etapa y la temperatura máxima que se alcanza depende de la cantidad de catalizador, activador, de la temperatura ambiente y del espesor del laminado.[2]

Cuando se alcanza la temperatura máxima, comienza a descender lentamente hasta que se alcanza de nuevo la temperatura ambiente. Esta última etapa se conoce como curado final quedando la resina sólida.

Una resina de poliéster necesita unas 24-48h a 20°C para que se alcance un grado de curado del 90%.

Sin embargo, el total del curado no se producirá hasta pasar varias semanas o meses.

Siempre es conveniente laminar espesores reducidos ya que así se eliminan picos de alta temperatura. La mala conductividad térmica de las resinas no ayuda a disipar el calor generado y pueden perjudicar gravemente la pieza y los moldes.[4]

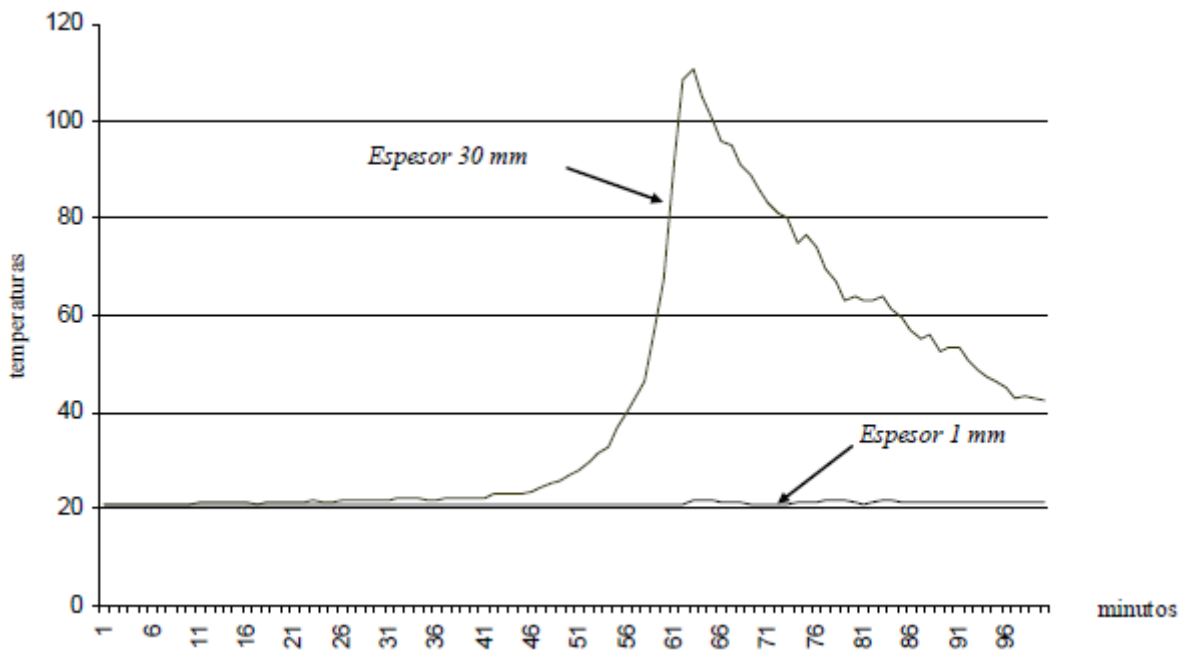


Figura 34. Comparativa espesores laminados [2]

Es preferible realizar laminados en varias etapas para permitir que la superficie disipe calor evitando grietas y manchas. [2]

Los factores a tener en cuenta durante el curado son:

- i. El tipo de resina utilizada
- ii. Temperatura de trabajo
- iii. Cantidad de catalizador y acelerador
- iv. Espesor a laminar
- v. Humedad del ambiente

Si se habla de resistencia, el factor más influyente es la proporción empleada fibra de vidrio/resina. Los refuerzos tipo roving, la resistencia será muy grande en una dirección pero en las demás, será menor. Usando refuerzos tipo mat, la resistencia es más homogénea en todas las direcciones ya que las fibras no tienen una ordenación determinada. [3]

Tabla 1. Comparativa entre materiales (Fuente: NAFEMS Benchmark Composite Test)

Material	Vidrio (%)	Peso específico Kg/dm ³	Resistencia a la tensión Kg/cm ³	Módulo de elasticidad	Resistencia específica o relación resistencia/peso
Poliéster/ Mechas de vidrio (roving)	70	1,9	8.456	4 x 10 ⁴	63
Poliéster/ Tejido	55	1,7	3.171	2 x 10 ⁴	26
Poliéster/ "mat" de vidrio	30	1,4	1.057	1 x 10 ⁴	11
Duraluminio 2B	-	2,8	4.862	10 x 10 ⁴	23
Acero suave	-	7,8	4.511	30 x 10 ⁴	8
Pino de Oregón (Douglas Fir)	-	0,5	704	1,4 x 10 ⁴	20
Nogal americano (Hickory)	-	0,8	1.408	2,3 x 10 ⁴	25
Tablero de abedul	-	-	-	-	-
Tablero de caoba	-	-	-	-	-

En la tabla 1 se pueden ver valores de resistencias, por ejemplo, se observa que los materiales fabricados con poliéster y reforzados con *roving* son más resistentes que el acero en cuanto a resistencia a la tracción pero los reforzados con *mat*, no lo son. Una fabricación con *mat* deberá tener una sección cuatro veces mayor que el acero para tener la misma resistencia. [16]

Además, para una misma resistencia, comparado con el acero, una pieza fabricada con resina de poliéster y reforzada con un *mat*, pesa menos que el acero, ya que su densidad es inferior. Es decir, se pueden llegar a obtener piezas más resistentes que el acero pero con menos peso sin que éstas se oxiden.

3.3.3.1 Resinas de poliéster

Estas resinas son las más utilizadas a nivel industrial y naval, siendo su coste reducido.

Las resinas de poliéster cuando se usan solas, tienen una gran resistencia a la compresión y a temperaturas elevadas pero son frágiles y con poca resistencia a la tracción y a la flexión.

Por si solas, las resinas de poliéster tienen tendencia a polimerizarse y gelificarse, para evitarlo, se estabilizan con inhibidores.

Estas resinas presentan una resistencia y rigidez no muy elevadas. Durante la fase de endurecimiento tienden a contraerse.[2]

El cambio de estado entre líquido y sólido, como ya hemos dicho, se llama curado y este cambio de estado no se produce de manera aleatoria sino que, para facilitar la reacción de polimerización, es necesario añadir catalizadores y activadores (acelerador) en los porcentajes determinados.

El catalizador provoca el inicio de la reacción basado en peróxidos orgánicos, que se añaden a las resinas en forma de líquidos en porcentajes.

El acelerador utilizado donde del catalizador. Los porcentajes de acelerador necesarios son mínimos (sobre el 0,1 y el 0,3%) y se encuentran ya dentro de la resina, siendo ésta una resina pre acelerada. Así se evitan accidentes ocasionados por la mezcla directa del catalizador y el acelerador.

La tabla que sigue, muestra los diferentes tipos de catalizadores en función del acelerador utilizado. [2]

Tabla 2. Catalizador y acelerador (Fuente: NAFEMS Benchmark Composite Test)

<i>Catalizador</i>	<i>Acelerador</i>	<i>Tiempo de gel</i>	<i>Tiempo de endurecimiento</i>
Peróxido de benzoilo	Dimetil-Anilina	Largo	De medio a rápido
Peróxido de benzoilo	Dietil-Anilina	Largo	Largo
Peróxido de benzoilo	Dimetil-p.toluidina	Largo	Muy largo
Peróxido de metiletilcetona	Naftalato de cobalto	Corto	Lento
Peróxido de acetilacetona	Naftalato de cobalto	Medio	Rápido
Peróxido de ciclohexanona	Naftalato de cobalto	Medio	Progresivo

La temperatura de trabajo ideal se sitúa entre 17 y 22°C y nunca debe laminarse por debajo de 10°C ni por encima de 30°C.

Además del motivo anteriormente mencionado, se ponen inhibidores a las resinas para:

- Conservar la resina
- Controlar la reacción exotérmica

Como medio de conservación, las resinas deben conservarse en su recipiente original, cerradas y en sitios oscuros para evitar la acción de la luz y temperatura. [2]

Proporciones de catalizador

Las proporciones recomendadas son, generalmente, entre el 1 y el 4%. La carencia de catalizador en la mezcla puede producir que la curación sea incompleta.

Dado que el catalizador se encuentra en estado líquido o en pasta hay que realizar las correspondientes equiparaciones en peso o el líquido.

Por ejemplo, si se tienen 60 gramos de resina se pondrá un 3% de catalizador, sabiendo que un 3% de catalizador equivale a 15 gotas cada 30 gramos de resina, para 60 gramos de resina se deberán utilizar 30 gotas de endurecedor. [3]

3.3.3.2 Resinas epoxi

Son las resinas utilizadas en los materiales compuestos de alta calidad ya que tienen mejores propiedades físicas y mecánicas que las resinas de poliéster.

La reacción se controla mediante el uso de catalizadores y aceleradores. Las resinas epoxi son una mezcla de resinas, agentes de curado, aceleradores, catalizadores y otros aditivos.

El proceso de curado es similar al de las resinas de poliéster. El fabricante nos indica cuánto endurecedor se debe añadir siendo un porcentaje fijo, a diferencia de las resinas de poliéster, en las cuales había un margen de maniobra. Una falta de endurecedor producirá una reacción incompleta y un exceso provocará una reacción diferente con unas propiedades finales inferiores.

Las resinas epoxi curan con la aportación de calor externo.

Poseen las mejores propiedades mecánicas, una mayor resistencia térmica y una buena resistencia a la abrasión, baja contracción durante el proceso de curado, buenas propiedades térmicas y buena resistencia al ataque de agentes químicos.

Las resinas epoxi son muy viscosas, se pueden utilizar diluyente para tal uso y disminuirla.

Se utiliza en estructuras que requieren máxima resistencia con el mínimo de peso, en aplicaciones aeroespaciales, eléctricas, electrónicas, depósitos y tanques de almacenamiento, etc. [3]

3.3.4 Recubrimientos

Se explicarán dos tipos de recubrimientos que se pueden utilizar, siendo el gelcoat y el topcoat.

2.3.4.1 Gelcoat

Es la primera capa de resina que protege al lamiado del ataque químico y medioambiental. Es la primera capa que se aplica sobre el molde y constituye la superficie que estará en contacto con el exterior.

A continuación, se enumerarán unos tipos de gelcoats en función de su finalidad, siendo:

- i. Para moldes: Poseen baja contracción y elevada flexibilidad. Son resistentes a la abrasión y al rayado superficial.
- ii. Industriales: Poseen buenas propiedades mecánicas pero no son adecuados en aplicaciones que requieran protección química o medioambiental.
- iii. Para usos alimenticios: Aptos para estar en contacto con alimentos líquidos.
- iv. Sanitarios: Tienen elevada resistencia al agua caliente. [3]

3.3.4.2 Topcoat

Después de finalizar el laminado, la última capa de resina no tendrá un curado completo ya que se encuentra su superficie en contacto con la humedad del aire. Para evitarlo, se debe aplicar un recubrimiento que la mantenga alejada de la humedad y asegure un curado completo.

El topcoat es parecido al gelcoat conteniendo una pequeña cantidad de parafina, donde en el proceso de curado, la parafina sale al exterior creando una capa fina impidiendo el contacto de la resina con la humedad presente en el ambiente. [5]

3.4 Fibras

Las fibras, dentro de un material compuesto, son las que aportan la resistencia y comportamiento mecánico.

Las fibras de refuerzo más utilizadas son las fibras de vidrio, aramídicas y las de carbono, explicadas con más detalle a continuación. [5]

3.4.1 Fibra de vidrio

Las fibras de vidrio son las más usadas en la construcción de embarcaciones.

Estas fibras están formadas, principalmente, por sílice combinado con diferentes óxidos como son la alúmina y alcalinos.

Podemos encontrarlos varios tipos de fibras de vidrios, las cuales son:

- A (alcalino): Buena resistencia al ataque químico, mala resistencia al agua. En desuso por el vidrio E.
- B (boro): Buenas propiedades eléctricas y durabilidad.
- C (*chemical*): Elevada resistencia química, utilizada en estructuras con atmosferas agresivas.
- D (dieléctrico): Altas propiedades dieléctricas, utilizada para telecomunicaciones.
- E (eléctrico): Usado para aplicaciones eléctricas, coste reducido. Usado en la construcción de barcos.
- R o S (*resistance* o *strength*): Mayor resistencia. Se usa en el sector aeroespacial y militar. [3]

La fibra de vidrio tiene una serie de características, las cuales se pueden enumerar, siendo:

- i. Buena resistencia mecánica. Resistencia a la tracción
- ii. Resistencia a la humedad
- iii. Resistencia al ataque de agentes químicos
- iv. Buen aislante eléctrico
- v. Buen aislante térmico

- vi. Buena estabilidad dimensional
- vii. Buena adherencia a la matriz [5]

La tabla 3 nos muestra los valores de las propiedades mecánicas de las fibras de vidrio.

Tabla 3. Propiedades fibra de vidrio (Fuente: NAFEMS Benchmark Composite Test)

Tipo	Vidrio E	Vidrio R/S	Vidrio C
Resistencia a la tracción (GPa)	3,4 - 3,5	3,4 - 4,6	3,1
Módulo elástico (GPa)	72 - 73	85 - 87	71
Densidad (Kg/m ³)	2600	2500 - 2530	2450
Alargamiento a la rotura (%)	3,3 - 4,8	4,2 - 5,4	3,5
Resistencia específica (GPa * cm ³ /g)	1,3 - 1,35	1,7 - 1,85	1,3
Módulo E específico (GPa * cm ³ /g)	27,7 - 28,2	34 - 34,9	29
Chef. Transmisión térmica (10 ⁻⁶ /°K)	5	4 - 5,1	7,2
Diámetro del filamento (µm)	8 - 20	10	20

3.4.2 Fibra de carbono

Combinadas con matrices con base epoxi son materiales compuestos que tienen gran resistencia y un elevado módulo de elasticidad siendo un material muy ligero.

La fibra de carbono también dispone de varios tipos, pudiendo clasificarse en función de la temperatura del tratamiento, siendo:

- Fibras de alta tenacidad (HT): Resistencia y tenacidad superior a las fibras de vidrio con un coste moderado, siendo adecuadas en un campo de aplicación amplio.
- Fibras de alto módulo (HM): Alta rigidez de piezas para sector aeroespacial con un módulo de elasticidad muy alto. Coste elevado.
- Fibras de módulo intermedio (IM): Se encuentran entre las fibras HT y HM mejorando su resistencia y rigidez. [5]

Las fibras de carbono, además, poseen unas propiedades características, como:

- i. Elevada resistencia y rigidez
- ii. Resistencia elevada a las vibraciones
- iii. Resistencia a la fatiga
- iv. Buena conductividad química
- v. Buena conductividad eléctrica
- vi. Baja dilatación térmica

vii. Resistentes a altas temperaturas [5]

La desventaja principal de estas fibras es su elevado precio.

En la tabla 4, se pueden ver una comparativas de propiedades de los diferentes tipos de fibras de carbono que hay. [3]

Tabla 4. Propiedades fibras de carbono (Fuente: NAFEMS Benchmark Composite Test)

Tipo	Carbono HT	Carbono HM	Carbono IM
Resistencia a la tracción (GPa)	2,6- 5	2,0 - 3,2	3,4 - 5,9
Módulo elástico (GPa)	228 - 238	350 - 490	280 - 400
Densidad (Kg/m3)	1740 - 1830	1790 - 1910	19730 - 1800
Alargamiento a la rotura (%)	1,2 - 2	0,4 - 0,4	1,1 - 1,9
Resistencia específica (GPa * cm3/g)	1,5 - 2	1,1 - 1,7	2,0 - 3,1
Módulo E específico (GPa * cm3/g)	127 - 134	190 - 260	160 - 200
Chef. Transmisión térmica (10 ⁻⁶ /°K)	-0,1 a -0,7	-0,5 a -1,3	-
Diámetro del filamento (µm)	7 - 8	6,5 - 8	5 - 7

3.4.3 Fibras aramídicas

El kevlar está considerada como la fibra aramídica mas importante después del nylon. Su uso se emplea en campos donde se necesita alta resistencia a la tracción con peso reducido y una elevada resistencia al impacto, usado generalmente en la industria aeronáutica y la balística.

Igual que las otras fibras anteriormente descritas, las fibras aramídicas también tienen varios tipos, siendo,

- Kevlar 29: Posee alta resistencia y baja densidad. Fundamentalmente usado para protección balística.
- Kevlar 49: Alta resistencia, alto módulo y baja densidad. Es la fibra mas adecuada para la creación e materiales compuestos. [2]

Las propiedades de las fibras aramídicas son:

- i. Alta resistencia a la tracción
- ii. Alta resistencia al impacto. Gran capacidad de absorción de energía
- iii. Resistencia elevada a la corrosión
- iv. Buena resistencia a la fatiga
- v. Buenas propiedades dieléctricas
- vi. Resistencia a las llamas. Autoextinguible

- vii. Elevada resistencia térmica
- viii. Rotura de forma progresiva [2]

Como aspectos negativos significativos se pueden remarcar la reducida resistencia a la compresión y a la humedad, además de tener un precio considerablemente elevado.

En la tabla 5, se observan las propiedades de los dos tipos de fibras aramídicas.

Tabla 5. Propiedades de las fibras aramídicas (Fuente: NAFEMS Benchmark Composite Test)

Tipo	Normal (kevlar 29)	HM (kevlar 49)
Resistencia a la tracción (GPa)	2,8 - 3,0	2,8 - 3,4
Módulo elástico (GPa)	58 - 80	120 - 186
Densidad (Kg/m ³)	1390 - 1440	1450 - 1470
Alargamiento a la rotura (%)	3,3 - 4,4	1,9 - 2,4
Resistencia específica (GPa * cm ³ /g)	1,9 - 2,2	1,9 - 2,3
Módulo E específico (GPa * cm ³ /g)	40 - 56	83 - 127
Chef. Transmisión térmica (10 ⁻⁶ /°K)	-2,0 a -6,0	-2,0 a -6,0
Diámetro del filamento (µm)	12	12

3.4.4 Estructuras de los tejidos

Las estructuras textiles se consideran como los materiales intermedios presentados en las configuraciones:

- a. Fieltros
- b. Tejidos
- c. Ensamblados [4]

3.4.4.1 Fieltros

Son estructuras textiles de fibras de refuerzo sin orientación con una distribución aleatoria con resistencia y rigidez no muy elevadas. Para que sean unidas antes de impregnadas se debe aplicar algún tipo de ligante.

A la mayoría de fieltros se les denomina *mat*.

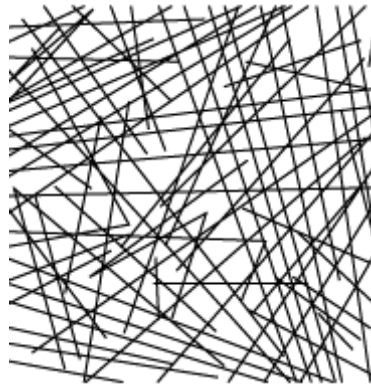


Figura 35. Mat ([2])

El velo de superficie es un fieltro de vidrio C con bajo gramaje que se coloca en contacto con el gelcoat para proporcionar una resistencia extra a la capa de gelcoat y proporcionar una barrera química. [4]

2.4.4.2 Tejidos

Estructuras textiles donde se cruzan diferentes fibras de forma perpendicular, siendo la trama y el urdimbre.

La urdimbre son los que van en el sentido longitudinal, mientras que los de trama, los que atraviesan de forma perpendicular dando puntos donde se cruzan llamados ligamentos. [14]

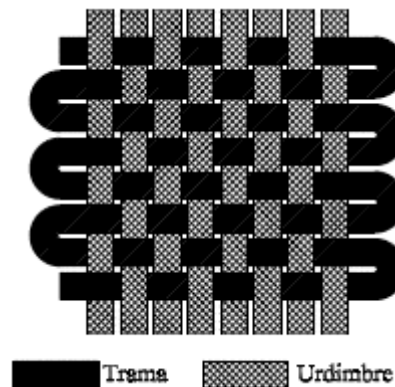


Figura 36. Tejido [14]

Orientadas a 0 y 90° nos encontramos con las direcciones más resistentes siendo tejidos usados para laminados manuales y muy utilizados en la construcción naval.

Diferentes tipos de tejidos:

- i. Tafetán: Unión más simple y más utilizada Cada hilo de urdimbre se entrecruza con una pasada de trama que alternativamente para una vez por encima y por debajo de la urdimbre.

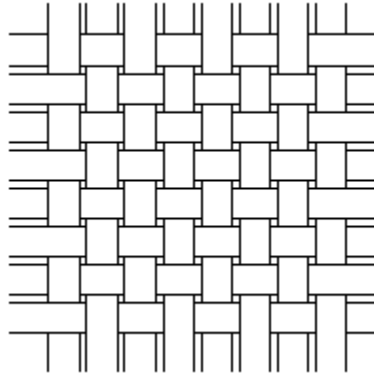


Figura 37. tafetán [13]

- ii. Sarga: Cada hilo de urdimbre hace una basta de dos o más hilos de trama. La sarga tiene orientación, es decir, derecho y revés.

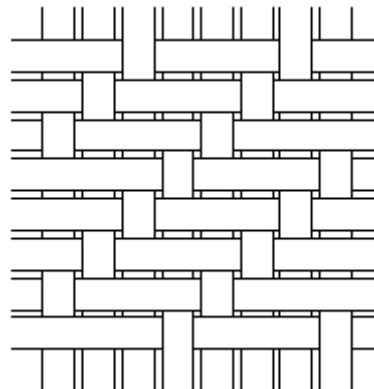


Figura 38. Sarga [13]

- iii. Satén: Cada hilo de urdimbre hace una basta sobre 4 pasadas de trama. [14]

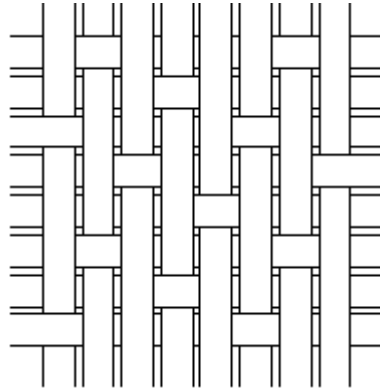


Figura 39. Satén [13]

Las sargas y satenes son más deformables que los tafetanes.

2.4.4.2 Ensamblados

Los hilos de trama y de urdimbre no se entrecruzan. Las fibras se encuentran superpuestas con diferentes orientaciones y para mantenerlas ligadas se encuentran cosidas a una fibra auxiliar ligera.

Los ensamblados presentan mejores propiedades que los fieltros ya que se encuentra el hilo trabajando alineado con el esfuerzo. [14][5]

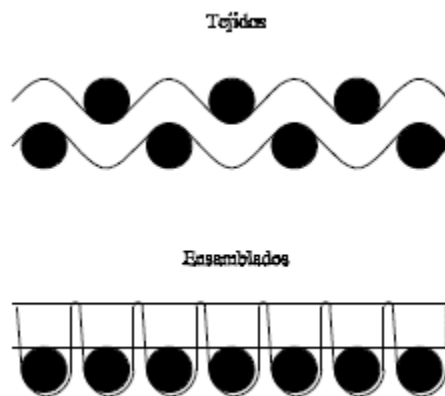


Figura 40. Ensamblados y tejidos [5]

Son los ensamblados la estructura textil más utilizado en piezas con requerimientos estructurales y en el sector naval. [2]

2.5 Técnicas de moldeo

En las técnicas de moldeo por contacto la mano del hombre es imprescindible para llevar a cabo la construcción de la pieza con el material compuesto. Debido a esto, las propiedades físicas y mecánicas del laminado dependerán del operario. Las técnicas de moldeo por contacto utilizan resinas que se curan a temperatura ambiente.

El laminado consiste en la aplicación de sucesivas capas de material de refuerzo sobre un molde para ser impregnadas con resina con la ayuda de un rodillo o una brocha.

Pasando el rodillo ayudamos a la impregnación de la resina a las fibras y, además, evitamos que se queden burbujas de aire atrapadas entre capas de laminado.

Las herramientas que se necesitan para llevar a cabo esta técnica son herramientas de corte y de laminado. [2]

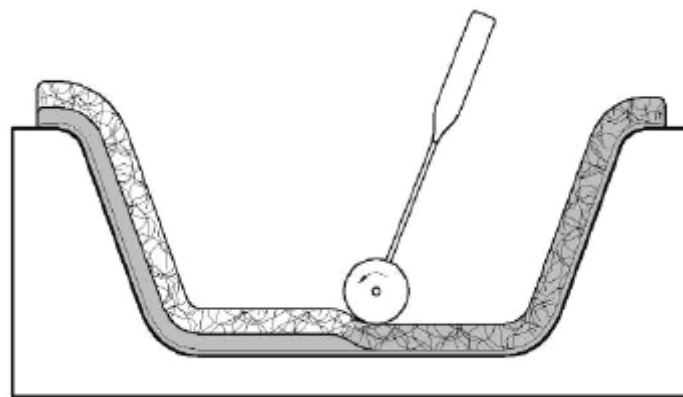


Figura 41. Laminado [2]

Las herramientas de laminado son las que permiten impregnar el material de refuerzo con la resina eliminando, además, las burbujas de aire, siendo rodillos, espátulas y brochas.

Para limpiar la herramienta una vez usada, se utilizarán disolventes como la acetona.

De igual manera, se requieren herramientas de corte para separar el material de refuerzo y para ello se usan tijeras y cúteres.

El lugar de trabajo debe cumplir con unas condiciones mínimas como, por ejemplo, la temperatura ambiente ya que es proporcional al grado de curado de la pieza. A bajas temperaturas, la viscosidad de la resina aumenta dificultando su impregnación cuando mayores concentraciones de resina en las piezas laminas. En cambio, una temperatura muy elevada hace que se evaporen algunos de los componentes de las resinas, lo que afecta a las características finales de la pieza. [2]

La humedad relativa en el aire es otro factor determinante ya que hará disminuir la capacidad de adhesión disminuyendo la calidad del estratificado, siendo este valor máximo de humedad del 75%. [3]

A continuación, se enumeran algunas de las ventajas que tiene el uso de este método de laminado, siendo:

- Equipos sencillos y baratos
- No necesita mano de obra muy cualificada
- No hay limitaciones de tamaño en las piezas a producir
- Se puede utilizar gran variedad de resinas y fibras

Como todo proceso, también tiene sus desventajas, siendo alguna de ellas,

- Laminados con calidades irregulares
- Productividad baja ya que es un trabajo artesanal
- Factores ambientales influyentes
- Gran cantidad de desperdicios
- Acabado superficial bueno solo la parte en contacto en el molde

Este tipo de laminado, es el más utilizado en el sector naval ya que es de bajo coste en equipos y materiales y es relativamente sencillo. [2][4][3]

3.5 Desmoldeantes

La resina de poliéster tiene una capacidad adhesiva muy grande haciendo que se pegue en el molde, lo que dificulta su desmoldado.

Para evitar que la pieza se pegue es necesario preparar previamente la superficie del molde para hacer que la resina no se adhiera al molde.

La elección del desmoldeante depende del tipo de molde y de su forma así como la superficie de acabado. Los demoldeantes más utilizados son:

- Cera brillante: La cera de carnauba es un desmoldeante muy efectivo para moldes grandes y acabado muy liso. Como precaución, puede utilizarse una cera seguida por una capa final de otro segundo desmoldeante como por ejemplo, el alcohol de polivinilo.
- Emulsión de cera.
- Alcohol de polivinilo: Puede encontrarse diluido en agua o concentrado. El principal problema es que tiene muy poca viscosidad y escurre por las superficies verticales. Se puede utilizar en moldes pequeños pero no porosos.
- Acetato de celulosa: Disuelto en acetona es la celulosa laca.

Tan importante es la elección de un desmoldeante como la buena aplicación del mismo. Antes de proceder a la aplicación sobre el molde, se deberá limpiar e inspeccionar bien la superficie del molde ya que, la resina se ajusta perfectamente a cualquier irregularidad que haya.

Una vez dada la capa o capas de desmoldeante, éste debe estar bien seco para poder empezar a laminar la pieza. [3]

La tabla 6 muestra un cuadro resumen de las diferentes aplicaciones con los tipos de desmoldeantes que hay.

Tabla 6. Comparativa desmoldeantes (Fuente: Tecnología mecánica naval)

Tipo	Método de aplicación	Moldes adecuados	Desmoldeo	Observaciones
Ceras duras (ceras para abrillantar)	Aplicar abundantemente y luego pulir	VRP, plástico, tablero, madera, etc.	Frotar con xileno u otro tipo de disolvente activo	Deben extraerse antes las ceras a base de silicona. Se puede mejorar con una capa de PVA
Emulsiones de cera	Untar, dejar ceras y luego pulir	Yeso, VRP, lámina de plástico, madera, etc.	Frotar con xileno u otro tipo de disolvente activo	Adecuado para tratamiento de una sola capa en toda clase de moldes
Cera virgen (a la cera perdida)	Extender	Moldes pequeños	Calentar hasta derretir	Difícil de aplicar por igual
Alcohol de polivinilo (PVA)	Rociar (a pistola preferiblemente) o aplicar a esponja (más fácil)	VRP y todo tipo de moldes con superficies lisas	Lavar con agua caliente o si es posible arrancar	
Acetato de celulosa	Preferiblemente pulverizar a pistola	VRP, plástico, tablero, madera, etc.	Disolvente de la celulosa	Se recomienda un pulido final con cera

Capítulo 4. Sistemas de control y motorización

Un sistema de control se puede definir como el conjunto de dispositivos encargados de administrar, dirigir, o regular el comportamiento de otro sistema para obtener unos resultados deseados conforme a unas necesidades. Es decir, los sistemas de control son aquellos dedicados a obtener una salida en función de unas entradas dadas.

4.1 Arduino

Arduino es una plataforma de código abierto basada en hardware y software libre. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa dándoles diferentes usos.

El hardware libre son los dispositivos cuyas especificaciones y diagramas son de acceso público, de forma que cualquier usuario puede copiarlos haciendo que cualquier persona pueda crear sus propias placas con absoluta libertad.

El software libre son los programas cuyo código es accesible por cualquier usuario para su uso o modificación. Arduino usa la IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) siendo el entorno de programación para crear las placas dándole la utilidad deseada.

Arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMELE. Los microcontroladores son circuitos integrados donde se pueden grabar instrucciones mediante un lenguaje de programación usando Arduino IDE.

Dispone de interfaces de entrada que son conexiones donde se puede conectar varios periféricos a la placa y de interfaces de salida que transfieren la información que ha procesado Arduino hacia los periféricos siendo pantallas, servos, motores, etc. [18]

4.2 Sistema de radio control

Un sistema de radio control es un dispositivo electrónico a través del que se gobiernan objetos a distancia, tanto sea terrestre, aéreo o acuático.

Consta de un transmisor, de un receptor y de unos servos o motores los cuales han de funcionar.

4.2.1 Emisor o transmisor

Es el propio mando a distancia, por lo que es el elemento que se encarga de hacer de interface entre el usuario y los mandos de control del vehículo a controlar.

La función es la de interpretar los movimientos que hace el usuario sobre los joysticks, pulsadores o interruptores y convertirlos en una señal de radio que deberá ser emitida hacia el receptor instalado en el propio vehículo.

La emisora se comunica mediante una antena con el receptor. [18]

4.2.2 Receptor

Contiene los elementos electrónicos necesarios para recibir la señal del emisor y comunicarlos con los servos y/o motores o elementos de control.

Es decir, se encarga de descodificar las señales que recibe el radio control y convertirla en impulsos eléctricos ya sea en el modulación en PPM o PWM.

4.3 Modulación de pulsos

En la modulación de pulsos, se varía o bien su amplitud, duración o posición. Se distinguen dos grandes clases o tipos, siendo:

- Modulación analógica de pulsos: La información se transmite en forma analógica pero la transmisión tiene lugar a intervalos discretos de tiempo. En este tipo de modulación, la señal no necesita de dos niveles sino que el nivel de la señal puede tener cualquier valor real, en el sentido de que se presenta a intervalos definidos de tiempo, con amplitudes, frecuencia o anchos de pulso variables.
- Modulación digital de pulsos: La información es discreta, tanto en amplitud como en tiempo, permitiendo la transmisión digital como una secuencia de pulsos codificados, todos a la misma amplitud. En esta modulación, la información es un flujo binario compuesto por señales binarias.

La modulación por pulsos incluye muchos métodos para convertir la información a forma de pulso para luego transferirla a una fuente de destino. Aquí, se verán con más detalle las modulación por ancho de pulso (PWM) y la modulación por posición de pulso (PPM).

Cabe destacar que mediante el muestreo, una señal analógica continua en el tiempo se convierte en una secuencia de muestras discretas de la señal, a unos intervalos regulares.

El teorema de muestreo dice que *una señal continua, de energía finita y limitada en banda, sin componentes espectrales por encima de una frecuencia $f_{m\acute{a}x}$, queda descrita completamente especificando los valores de la señal a intervalos de $1/2 f_{m\acute{a}x}$ segundos*. Y así, la señal muestreada puede recuperarse mediante un filtro pasa bajos. Se denomina frecuencia de Nyquist a la frecuencia $2f_{m\acute{a}x}$. [18]

Así mismo, para que el proceso de muestreo sea útil, se debe poder recuperar la señal de la muestra, es decir, recuperar $x(t)$ de la muestra $x_s(t)$. [18]

Sabiendo que $x(t)$ muestreada es $x_s(t)$ y definida por:

$$x_s(t) = x(t)p(t) \quad (3)$$

$p(t)$ es la función de muestreo. Se considera como un tren de pulsos periódicos. Dado esto, la función se puede ver como una serie de Fourier quedando:

$$p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{j2\pi n f_s t} \quad (4)$$

Donde,

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} p(t) e^{-j2\pi n f_s t} dt \quad (5)$$

Durante el proceso de muestreo de una señal de energía finita en un tiempo continuo, produce un espectro periódico con un período igual a la frecuencia de muestreo.

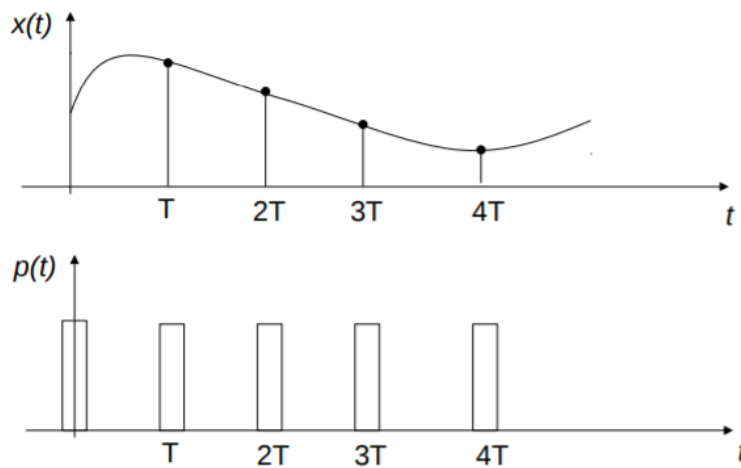


Figura 42. Muestreo de señal [18]

La señal muestreada resulta, juntando las ecuaciones (4) y (5), como

$$x_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n x(t) e^{j2\pi n f_s t} \quad (6)$$

Aplicando la transformada de Fourier sobre $x_s(t)$,

$$X_s(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x_s(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (7)$$

Añadiéndole la ecuación (6) **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**,

$$X_s(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n x(t) e^{j2\pi n f_s t} e^{-j2\pi f t} dt \quad (8)$$

Agrupando,

$$X_s(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi t(f - n f_s)} dt \quad (9)$$

$$X_s(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n X(f - n f_s) \quad (10)$$

El pulso modulado varía en proporción directa a los valores de la muestra.

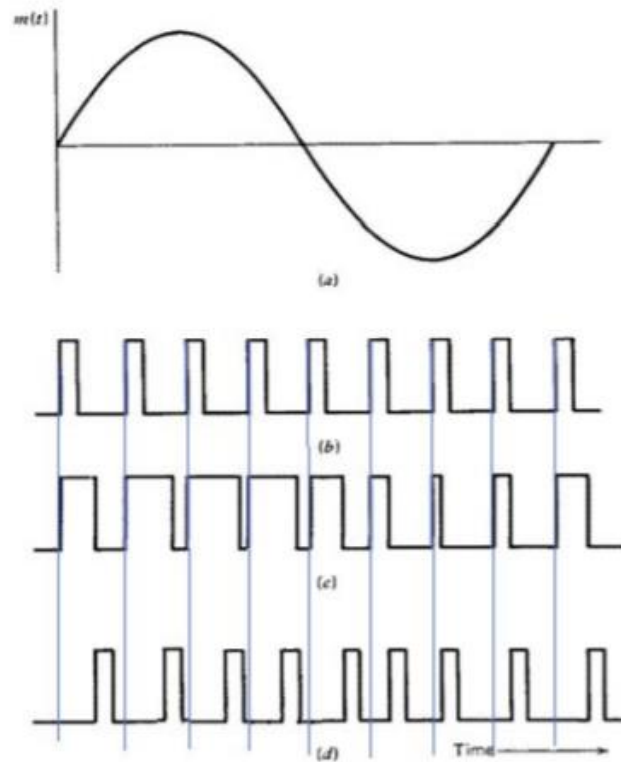


Figura 43. Modulación señal [18]

La onda a de la Figura 43. Modulación señal corresponde a la onda sin modular, $f(t)$, la onda b corresponde a la señal de reloj, la onda c corresponde a la modulación en PWM y la onda d corresponde a la modulación PPM. [18]

4.3.1 Modulación PWM

La modulación PWM es la modulación por ancho de pulso (Pulse Width Modulation), los pulsos son de amplitud constante pero lo que varía es su duración y es proporcional a los valores de la función $f(t)$ en cada instante de muestreo.

La modulación de ancho de pulso PWM se denomina también como modulación de duración de pulso, PDM.

La señal se muestra en forma periódica a una tasa muy alta para poder cumplir los requisitos del teorema de muestreo. En cada instante de muestreo se genera un pulso de amplitud fija y ancho proporcional a los valores muestreados de la función $f(t)$ pero con un ancho mínimo, τ_0 , el cual será el valor mínimo de la entrada. [14]

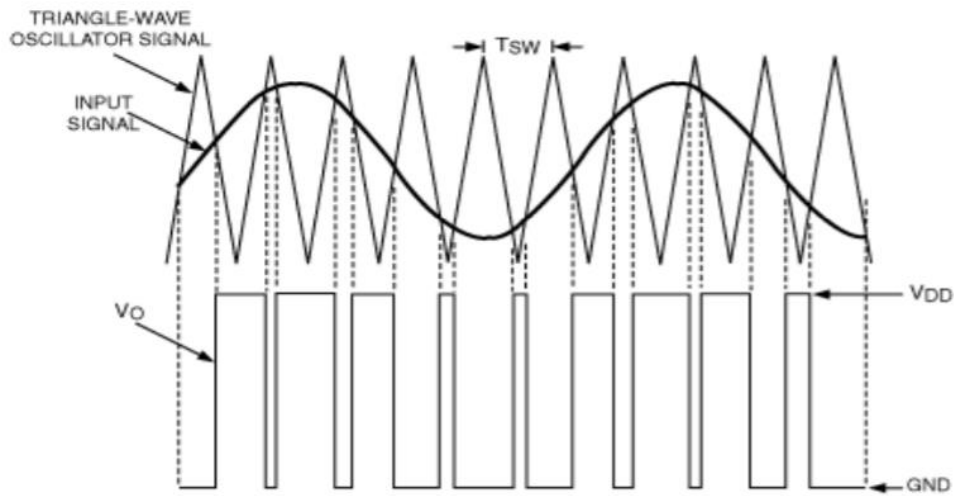


Figura 44. Modulación PWM [16]

Se puede ver que cuando el valor de la suma entre la señal de entrada y la del generador de rampa bajan por debajo del valor V_{ref} , la señal del comparador se vuelve 0. [16]

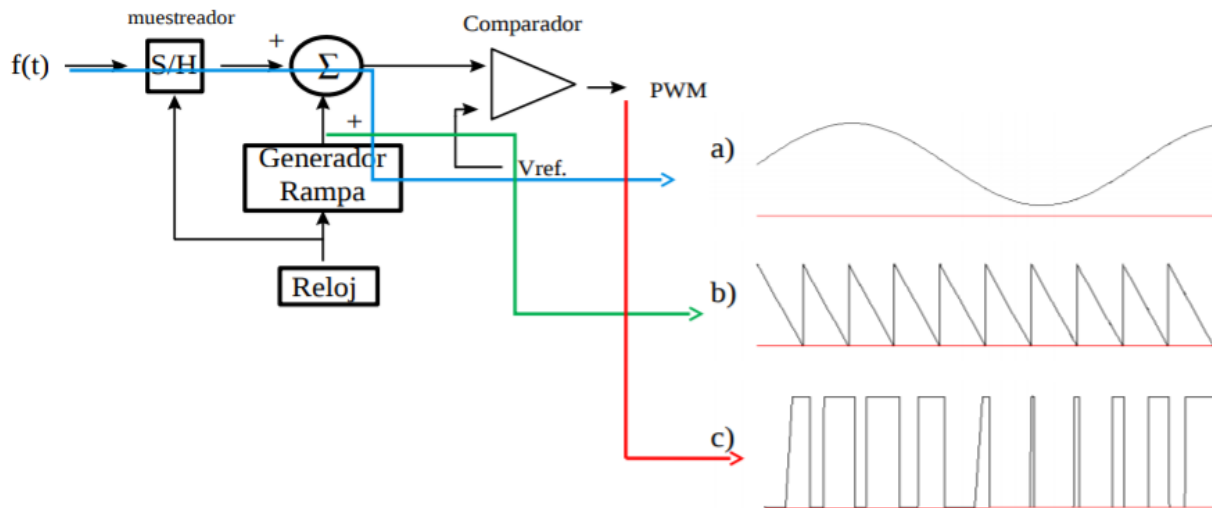


Figura 45. Modulación PWM II [18]

La señal $f(t)$ se muestra por medio del S/H, siendo esta la etapa de muestreo, el cual está sincronizado con el generador de rampa por medio de una señal de reloj.

Las señales de salida de la etapa de muestreo y del generador de rampa se suman de forma algebraica.

Finalmente, pasa a través de un comparador que tiene un voltaje de referencia permitiendo variar su ancho de los pulsos de la modulación PWM a un valor adecuado.[16][18]

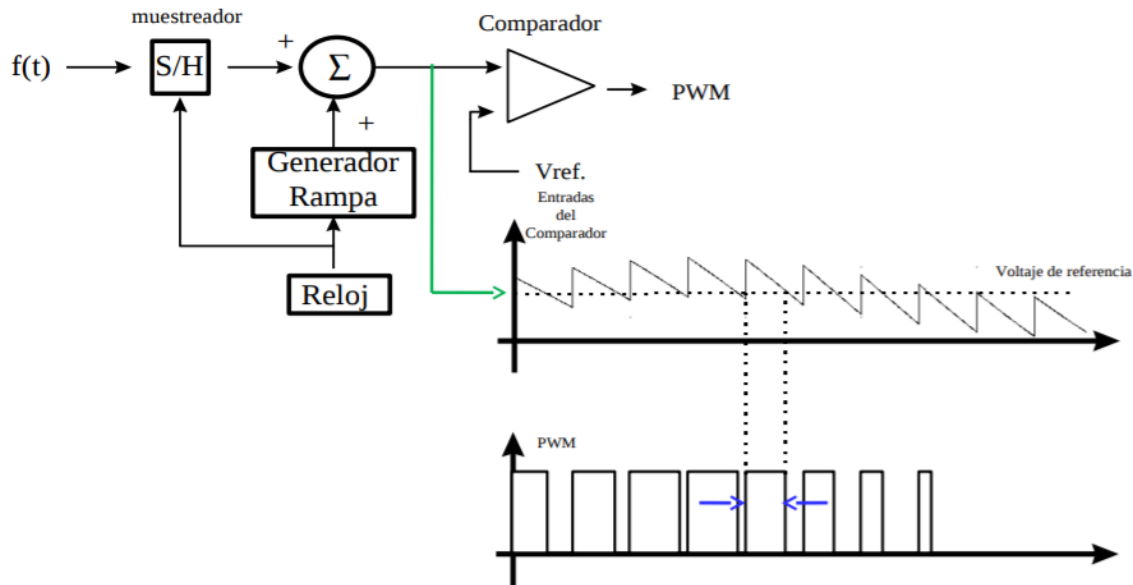


Figura 46. Modulación PWM III [18]

4.3.2 Modulación PPM

La modulación PPM o modulación de posición de pulso consiste en desplazar los pulsos desde una posición de referencia hasta otra, en función del valor de la señal $f(t)$.

El desplazamiento mínimo de pulso se usa para poder designar el valor mínimo de $f(t)$ y el cambio de posición es proporcional a la señal moduladora.

Una forma de generar PPM es usando la señal PWM y, accionar un generador de pulsos de ancho constante en los flancos de bajada de la señal PWM.

El generador de pulsos puede ser considerado como si fuera un monoestable el cual se dispara con el flanco de caída de la señal de PWM. El ancho del pulso generado se determina por el monoestable.[16]

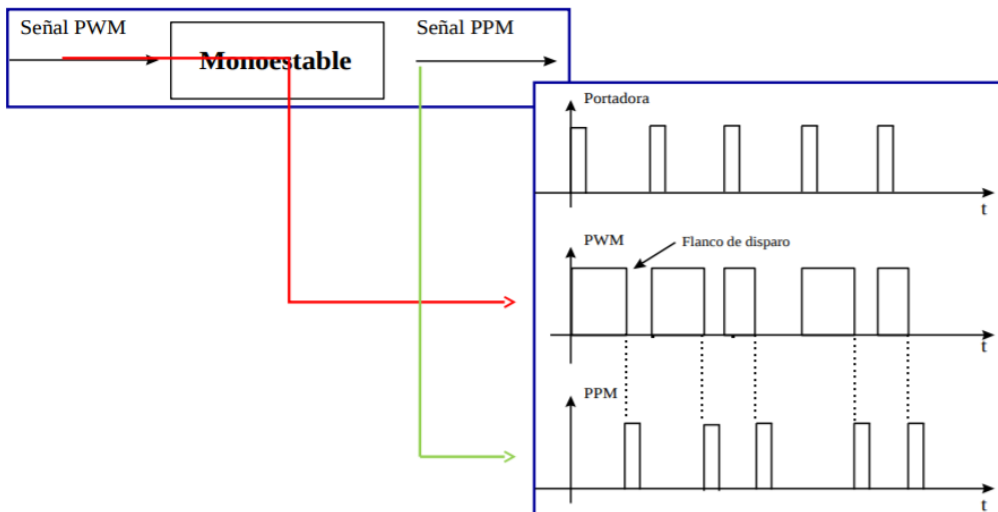


Figura 47. Modulación PPM [18]

4.4 Motores Brushless

Los motores brushless son motores eléctricos formados por una serie de imanes permanentes y un estator bobinado.

Los imanes permanentes se encuentran en el rotor y ésta es la característica principal de este tipo de motores, debido a esta distribución se le llama sin escobillas o en inglés, brushless. Al tener un campo magnético constante creado por los imanes, no requiere de un bobinado y escobillas para transmitir la corriente al rotor.

El estator es la pieza que permanece estática y se encuentra en el interior mientras que el rotor es la carcasa unida al eje y es móvil. El estator tiene 3 bobinados independientes los cuales forman las 3 fases del motor. [20]

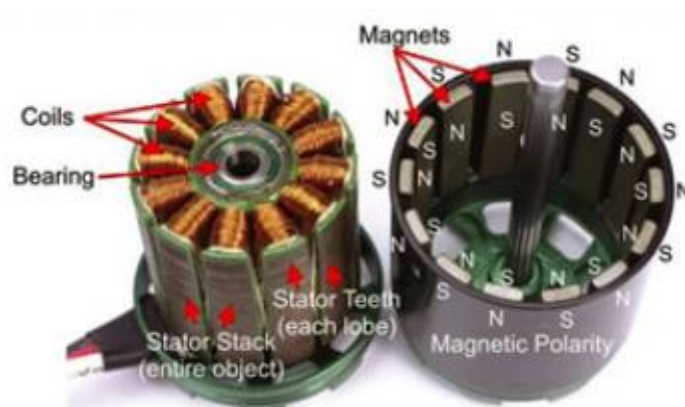


Figura 48. Motor brushless [20]

Los motores brushless funcionan de forma similar al de motores eléctricos de imanes permanentes. Al energizar la bobina se crea un campo magnético en ella. El rotor tiene un campo magnético constante, detecta la variación y tiende a alinear el campo creado por el estator y el propio haciendo girar el rotor ya que es la parte móvil.

Para lograr que el rotor siga girando, antes de que se alinee por completo la bobina energizada con el rotor, se energiza la bobina siguiente y se deja de alimentar a la anterior. Esto provoca que el campo magnético del rotor siga al campo magnético del estator haciendo que el rotor gire. [20]

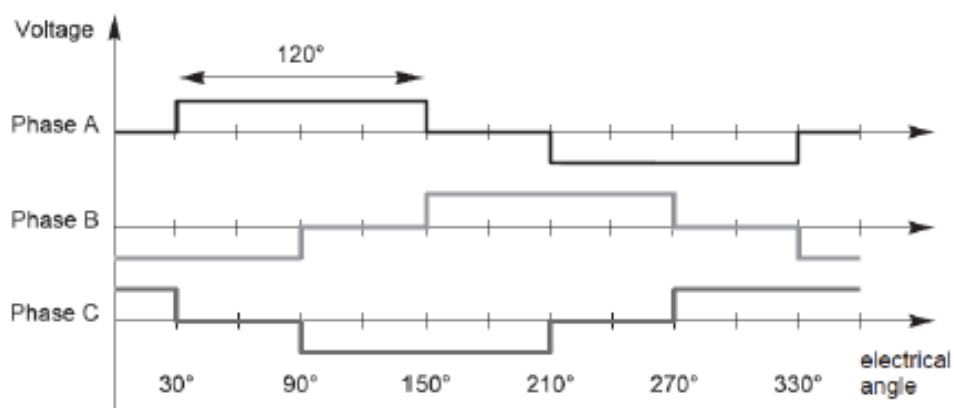


Figura 49. Secuencia cambio fases motor [22]

En el arranque, se debe ir incrementando gradualmente la frecuencia de pulsos que alimentan al estator para no perder el sincronismo. La corriente en el arranque es muy alta debido a la baja impedancia de los bobinados y debe controlarse para evitar daños en el motor evitando que se queme.

Con el motor ya en movimiento, los imanes permanentes del rotor generan una corriente en los bobinados que no se encuentran energizados debido a la variación de flujo magnético.

Según la ley de Faraday-Lenz, *la corriente en el bobinado generada crea una tensión directamente proporcional a la velocidad del motor mediante un coeficiente K_v* . [22]

Donde, aplicando esta ley, se obtiene,

$$\text{Velocidad [rpm]} = K_v \cdot \text{Tensión [V]} \quad (11)$$

El coeficiente K_v es característico de cada motor e indica las unidades de revoluciones por minuto en por cada voltio.

4.5 Variadores de velocidad ESC

Un variador de velocidad está compuesto por un circuito electrónico con el propósito de variar la velocidad y su sentido de giro. [22]

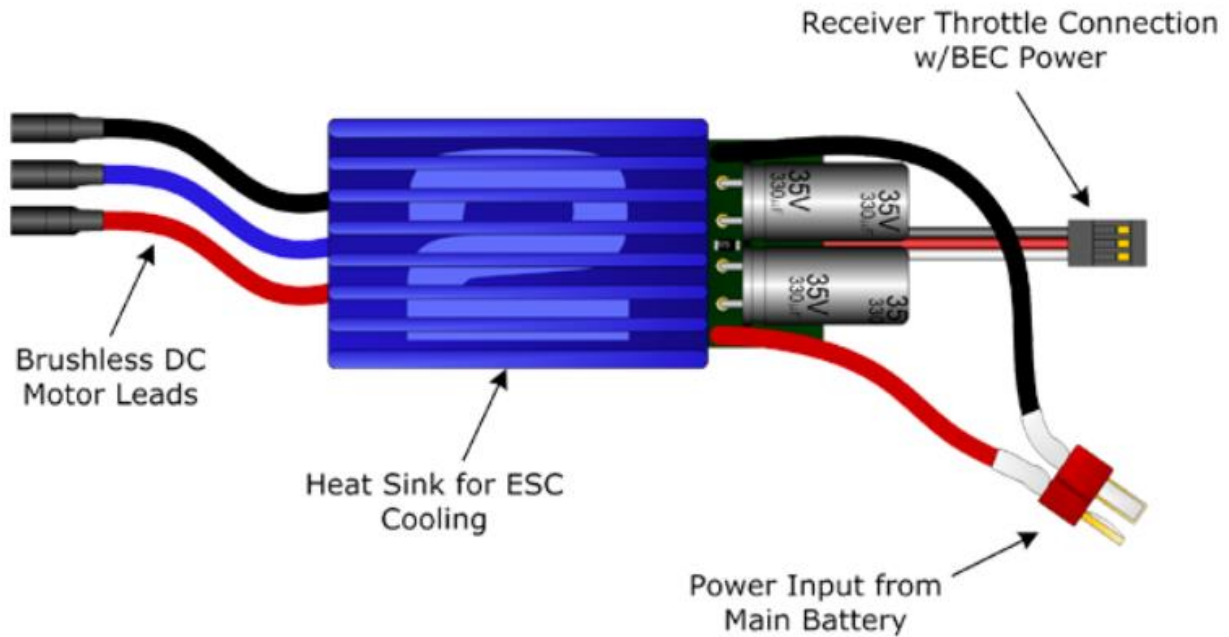


Figura 50. ESC [14]

Los variadores son controladores de modulación por ancho de pulso (PWM) usados para controlar motores eléctricos.

Los variadores para motores brushless crean una corriente alterna trifásica a partir de corriente continua de la batería. Uno de los polos genera un pequeño voltaje como fuerza electromotriz y sirve para que el ESC determine como de rápido y en qué dirección gira el motor en cualquier momento.[20][22]

Capítulo 5. Construcción de la maqueta

Para llevar a cabo la construcción final del barco se han llevado a cabo una serie de pasos, siendo:

- i. Realización del diseño de la embarcación en 3D a partir de las líneas de agua
- ii. Realización de un modelo a la escala elegida.
- iii. Construcción del molde
- iv. Laminado en fibra de vidrio y resina de poliéster
- v. Acondicionamiento del casco
- vi. Elaboración y montaje de los sistemas o partes auxiliares al casco
- vii. Implementación de la planta y sistemas de control así como motores y servos

Estos procesos se describirán con más detalle en los puntos que siguen pero cabe destacar que, como resumen, en cualquier proceso básico de fabricación se debe seguir 4 pasos bien diferenciados, siendo

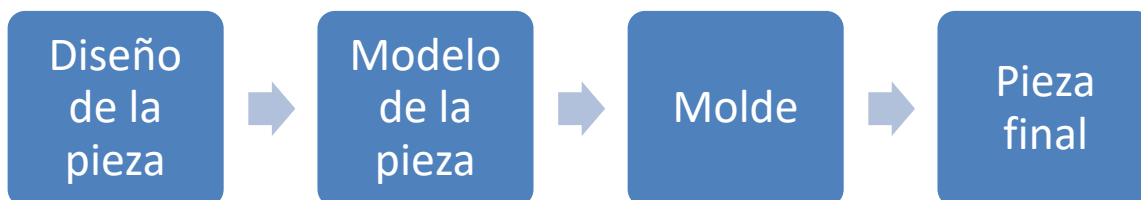


Figura 51. Fases de la construcción. (Fuente: Propia)

5.1 Realización del diseño en 3D

A partir de los planos y líneas de agua del remolcador del puerto de Bilbao y usando el programa de diseño en 3D Rhinoceros, se ha procedido a su diseño.

Dado que este trabajo no pretende ser un manual de usuario de Rhinoceros, sólo se explicará lo que se ha ido realizando pero no el cómo se ha hecho.

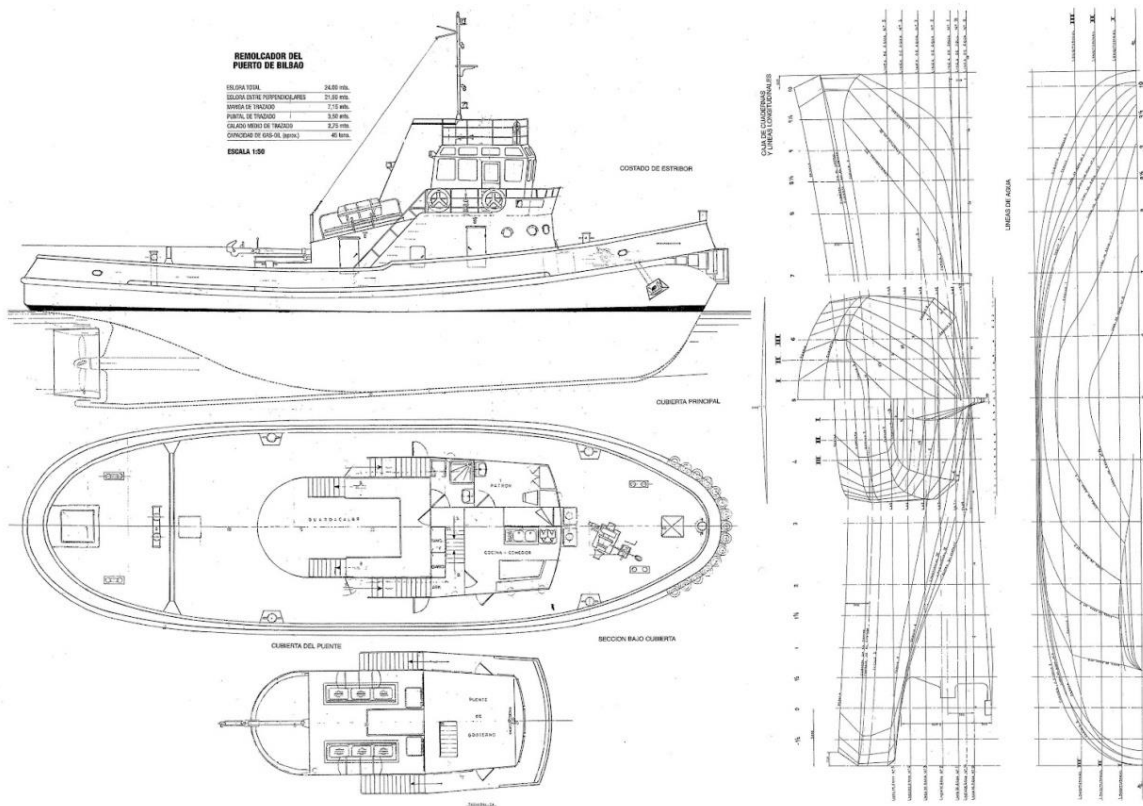


Figura 52. Líneas de agua (Fuente: Propia)

Una vez puestas cada una de las vistas como plantilla, se procede a repasar las líneas de agua de las diferentes vistas para poder hacer las proyecciones del barco.

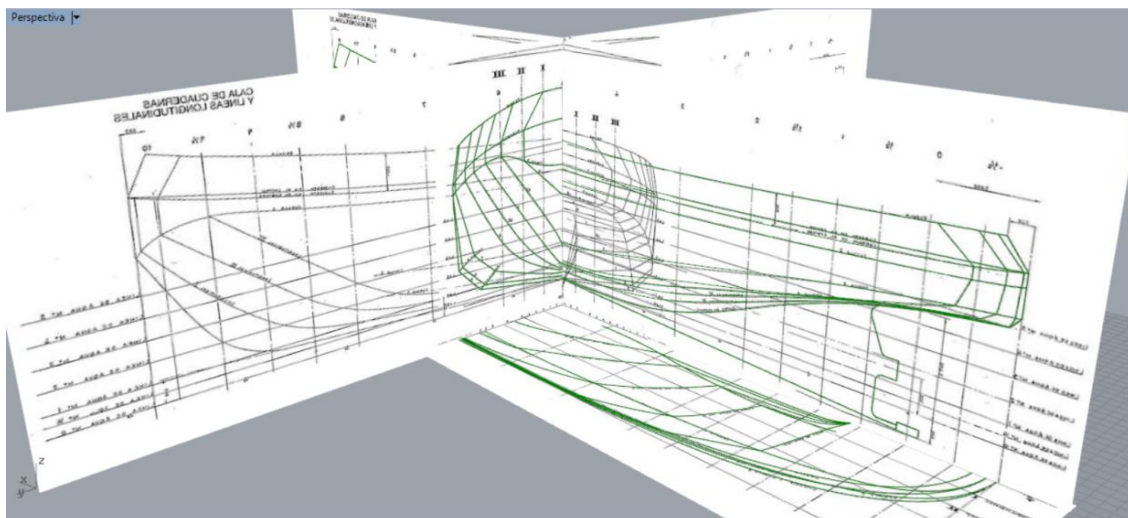


Figura 53. Intersección vistas (Fuente: Propia)

Las líneas de color verde corresponden a las curvas hechas a partir de las líneas de agua y las rojas a partir de las proyecciones de las mismas entre vistas.

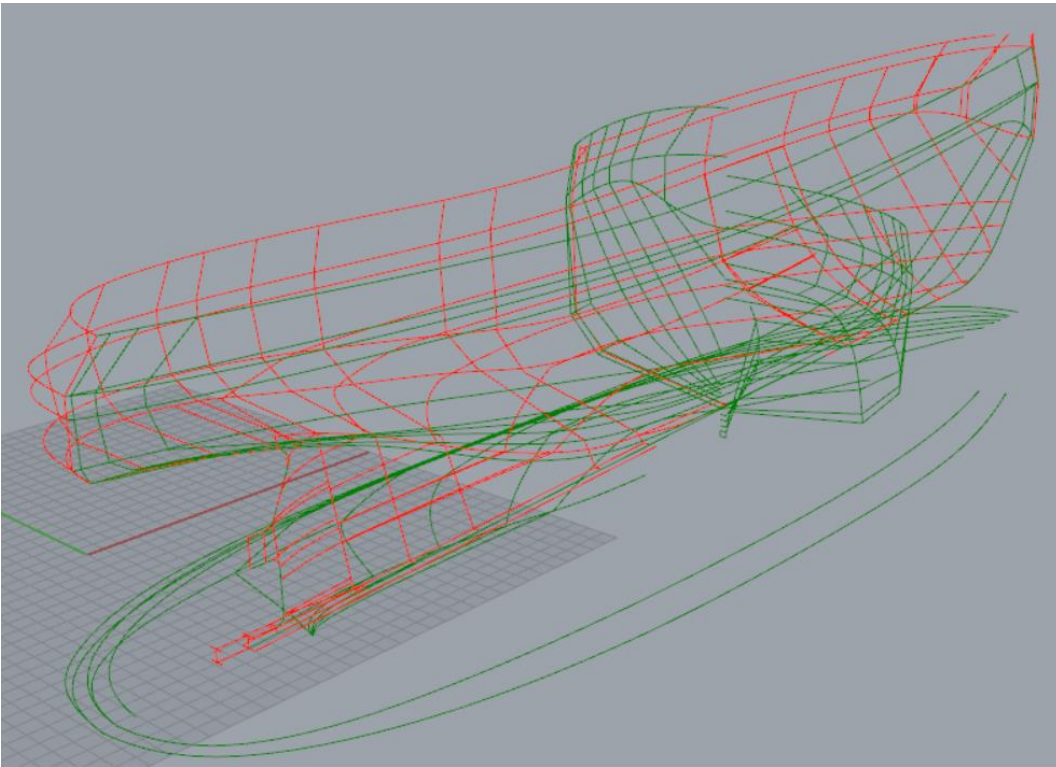


Figura 54. Proyección vistas (Fuente: Propia)

Una vez hecho esto, se harán las superficies que formarán el casco.

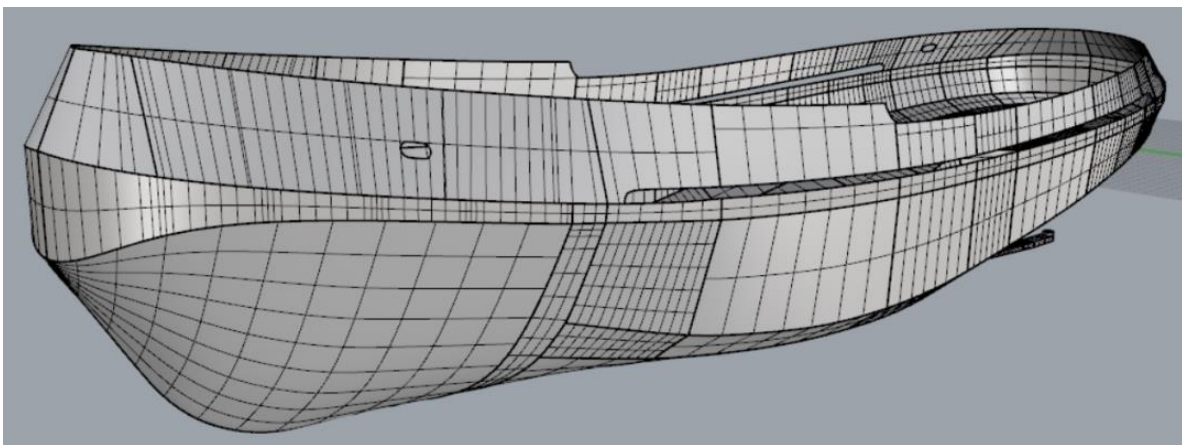


Figura 55. Casco (Fuente: Propia)

Después de hacer el casco, se debe hacer el timón, el conducto de la hélice y el eje.

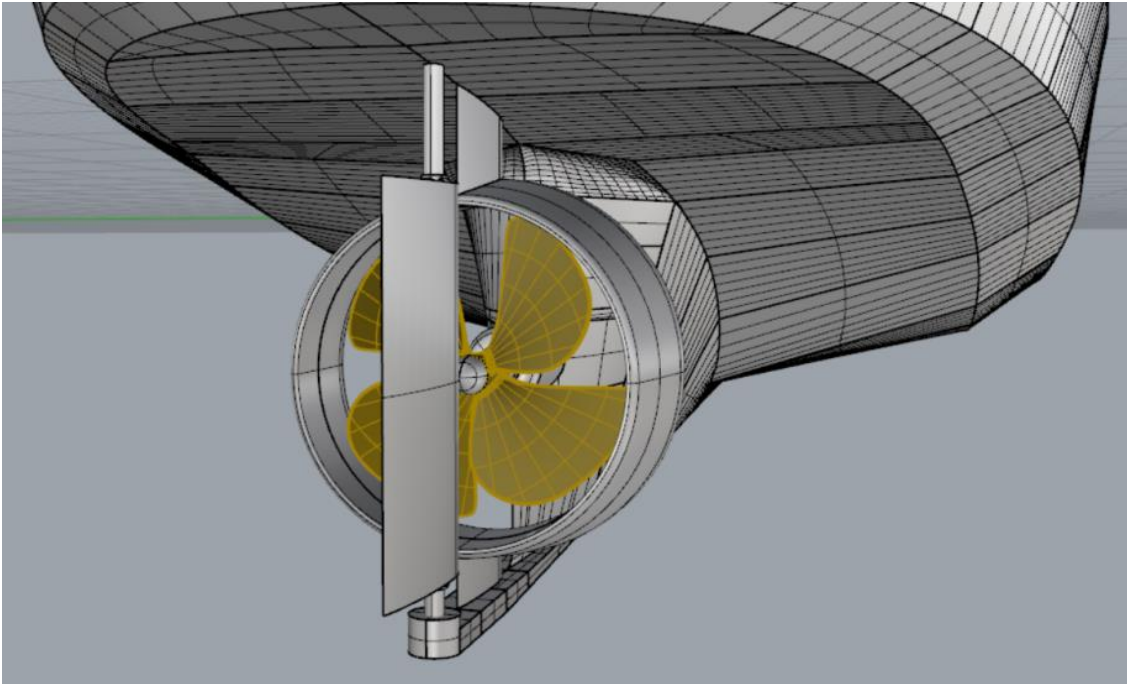


Figura 56. Timón y hélice (Fuente: Propia)

Se puede ver con más detalle, el eje de la hélice y todo el conjunto desde otra perspectiva.

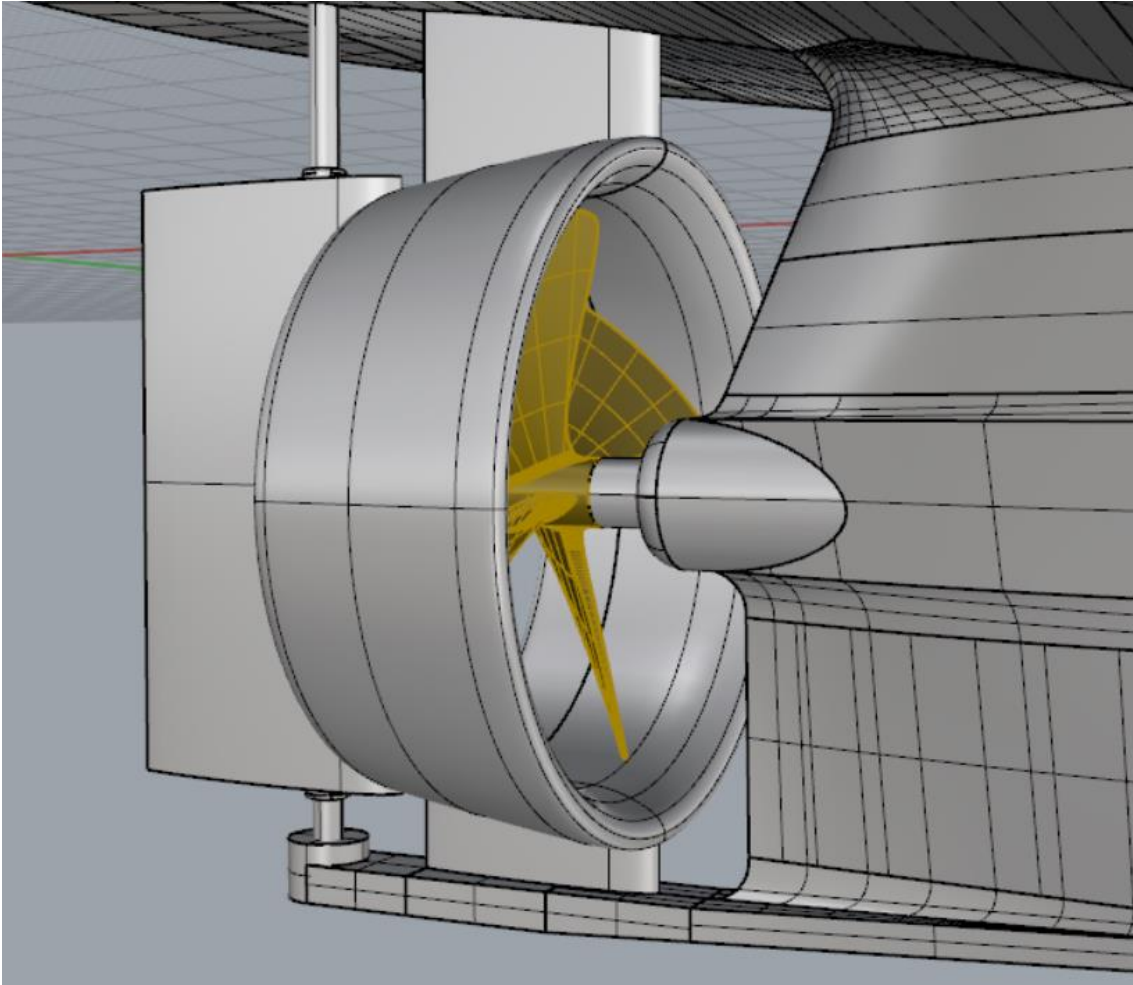


Figura 57. Timón y hélice II (Fuente: Propia)

A partir de aquí, se procederá a la realización de la cubierta y el puente, así como elementos auxiliares.

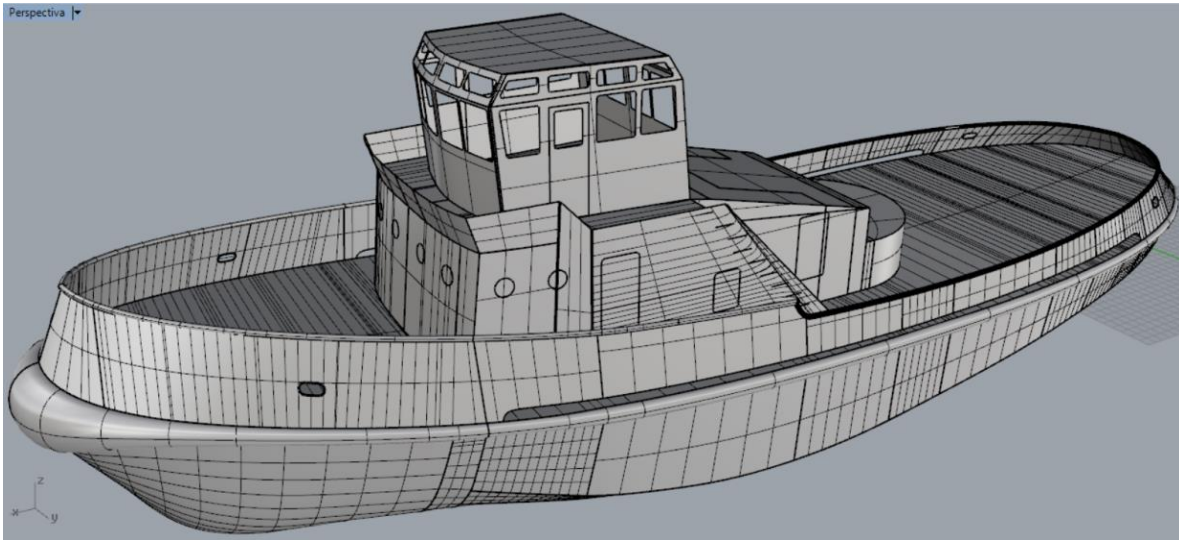


Figura 58. Casco y cubierta (Fuente: Propia)

Solo faltan elementos auxiliares de cubierta como antenas, balsas, aros salvavidas, barandillas, máquina remolque, gancho, etc

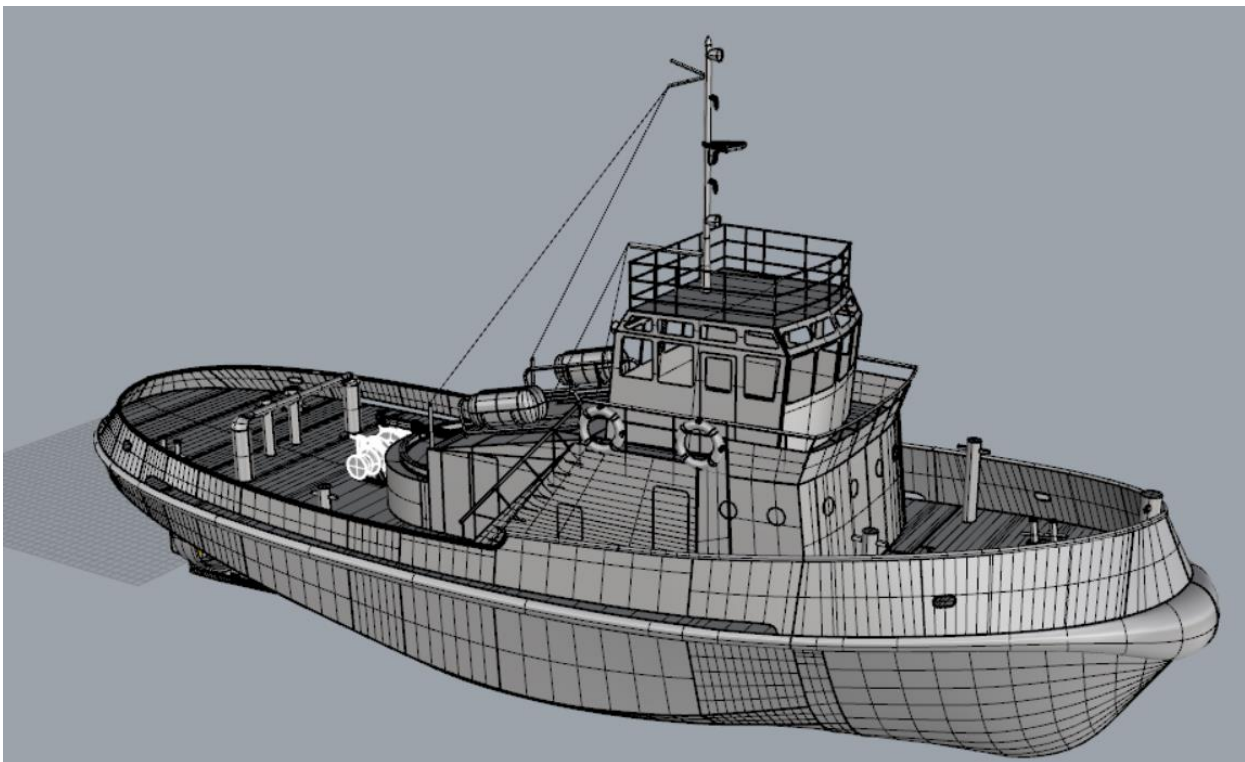


Figura 59. Barco final (Fuente: Propia)

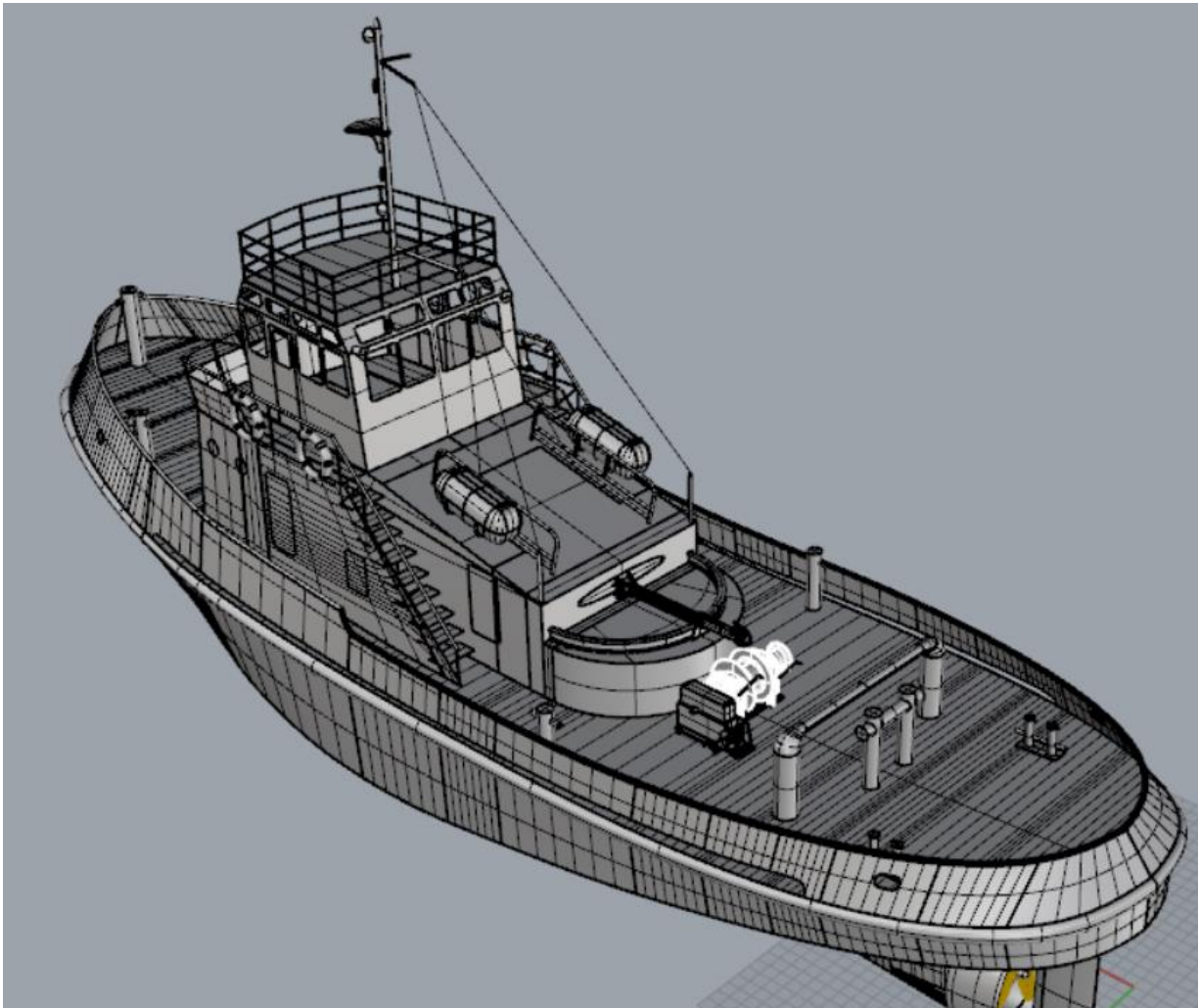


Figura 60. Barco final II (Fuente: Propia)

Y con esto, se tiene el diseño de la embarcación finalizada.

5.2 Realización del modelo

Antes de comenzar con la construcción del modelo del barco, lo escalaremos para que el modelo tenga las siguientes medidas de casco:

Eslora: 110 cm

Manga: 32,7 cm

Puntal: 27,7 cm

Una vez escalado a estas medidas, que corresponden a la escala de 1:20, se deberán imprimir los planos de la maqueta a tamaño 1:1, es decir, se imprimirán los planos de la maqueta en su tamaño real.

Antes de imprimirlos, se harán cortes transversales de 4 centímetros en todo el casco para, así, poder construirlo de manera más sencilla.

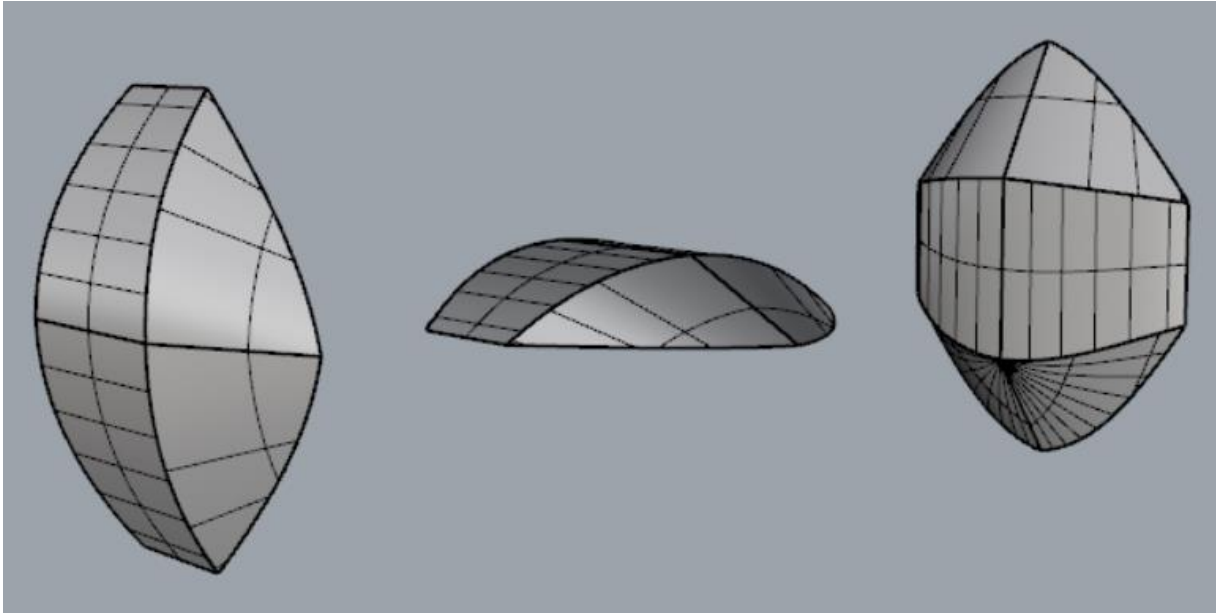


Figura 61. Corte transversal (Fuente: Propia)

El corte que se ve en la figura 50 es la sección de proa pero de manera análoga, se hará lo mismo para todo el barco.

Estos cortes obtenidos se importan a AutoCad para poder escalados y pasados a pdf para poder imprimirlos en el tamaño correspondiente.

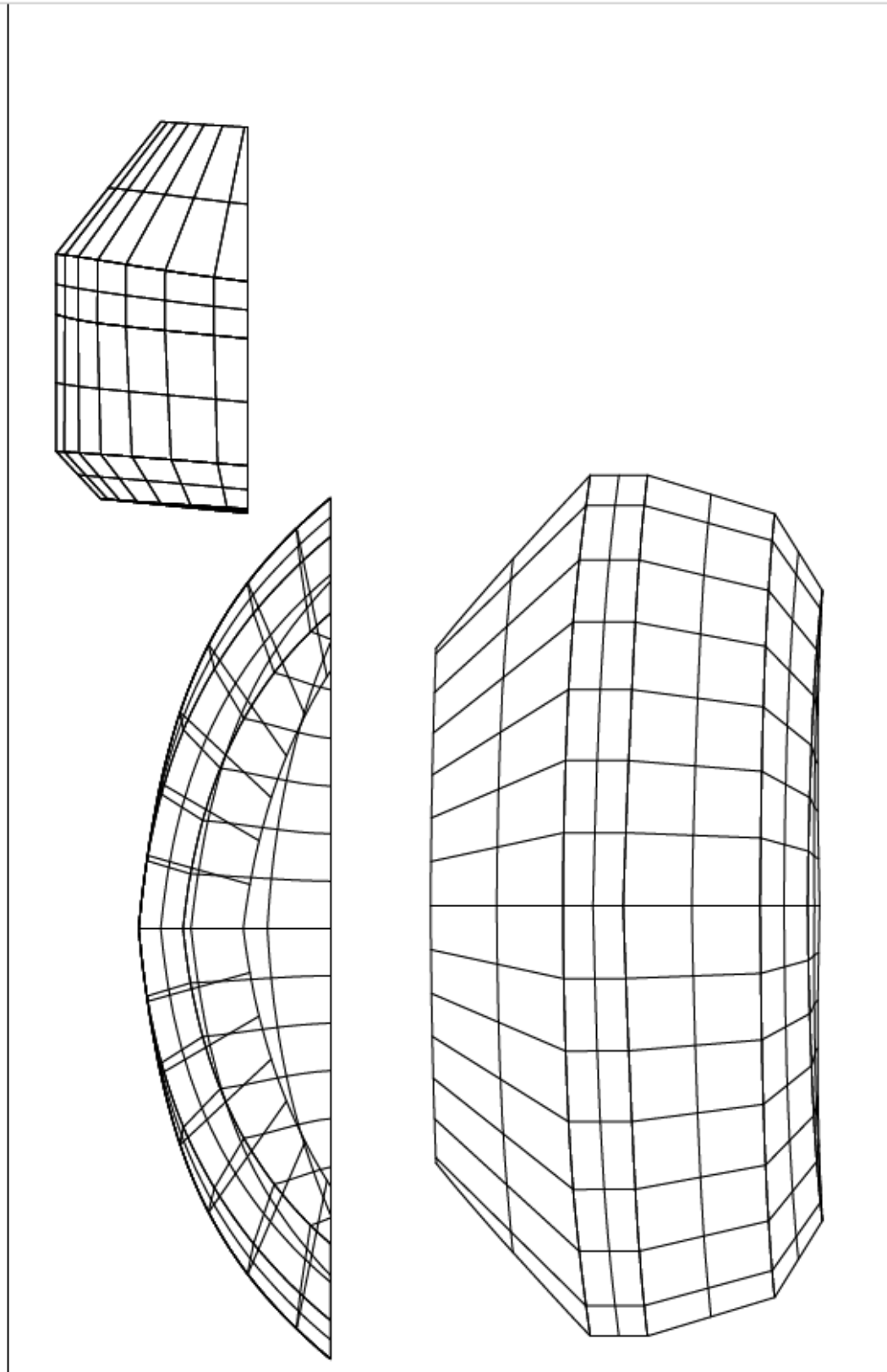


Figura 62. Sección en AutoCad (Fuente: Propia)

Como se puede ver, es la misma sección obtenida en Rhinoceros pero en pdf después de escalarla en AutoCad.

Para la construcción del modelo se usará espuma de alta densidad pegando las vistas de los planos previamente recortados.



Figura 63. Secciones con vistas (Fuente: Propia)



Figura 64. Secciones con vistas II (Fuente: Propia)

Una vez pegado y secado el plano a la espuma, se recortará dándole una pre-forma sin ser esta la definitiva. Repitiendo el proceso con las 27 piezas que componen el modelo.



Figura 65. Pre-forma piques (Fuente: Propia)

Para el codaste de popa se hará de forma igual, teniendo en cuenta la forma y curvatura.



Figura 66. Pre-forma codaste (Fuente: Propia)

Una vez se tienen todas las pre-formas hechas, se empezará a montar por secciones, ya que dado el tamaño del barco, será más fácil juntarlas que ir una por una.

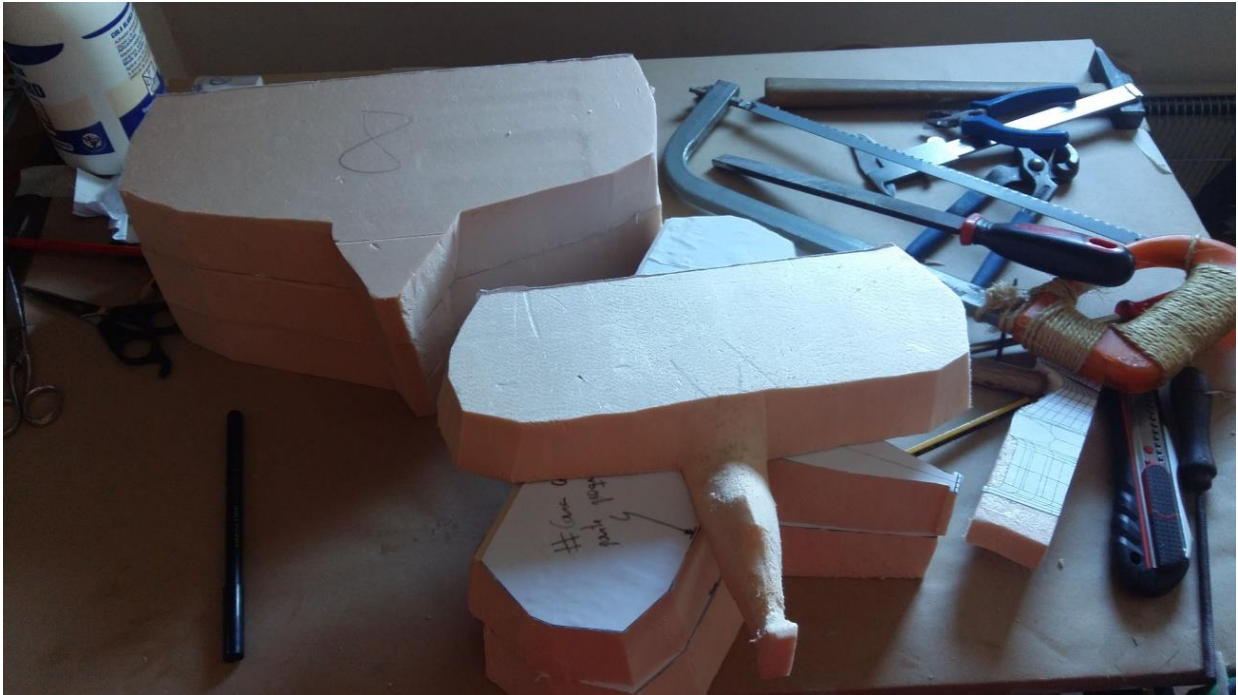


Figura 67. Pre-formas unidas (Fuente: Propia)



Figura 68. Pre-formas unidas II (Fuente: Propia)



Figura 69. Pre-formas unidas III (Fuente: Propia)

Con todas las piezas pegadas, la pre-forma del barco ya montada queda como se muestra en la figura siguiente.



Figura 70. Pre-forma barco (Fuente: Propia)

Después de tener la pre-forma montada, se debe pulir hasta llegar a conseguir el modelo empezando por la proa y continuando por la popa dejando la sección 20 sin pulir ya que es en esta sección donde cambia la curvatura del casco.



Figura 71. Pre-forma barco II (Fuente: Propia)

De esta manera, la sección 20, se hace en función de las adyacentes para que se adecue a éstas de la mejor forma posible.

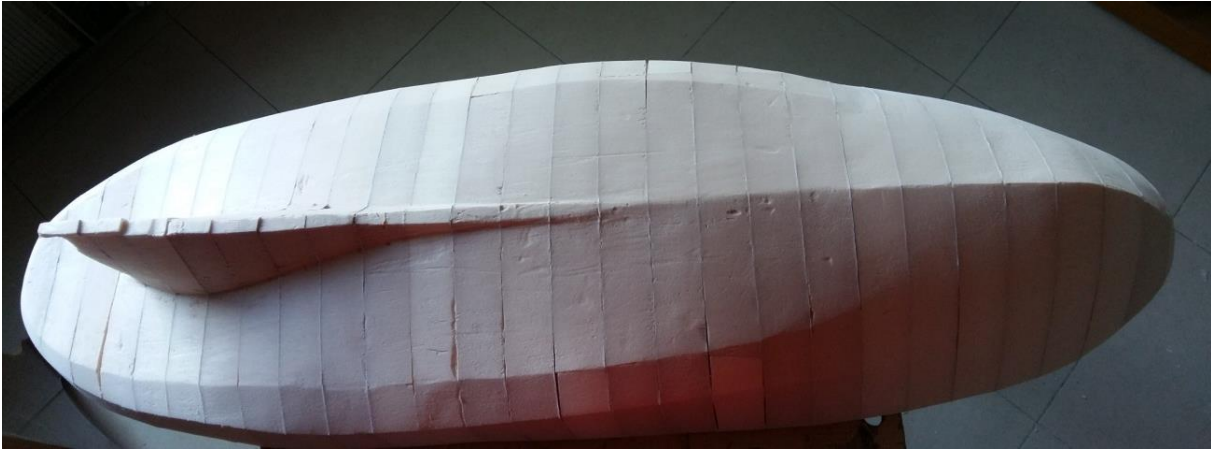


Figura 72. Modelo inicial (Fuente: Propia)

De esta forma, ya estaría acabado el modelo, pero dado que el molde va a ser una copia exacta pero en negativo, es importante que no queden imperfecciones y por eso se procederá al masillado con masilla de carpintero y pulido, quedando el casco sin imperfecciones.



Figura 73. Modelo masillado (Fuente: Propia)

Como se puede apreciar, al casco sólo le queda el tolón del codaste, haciéndolo de forma independiente y acoplarla posteriormente.



Figura 74. Tolón del codaste (Fuente: Propia)

Dado que tanto la masilla de carpintero utilizada como la espuma rígida son materiales porosos, se debe hacer el conjunto lo menos poroso posible ya que si no se podrá desmoldar cuando se haga el molde. Por esto, se pintará con pintura acrílica de secado rápido.



Figura 75. Modelo acabado (Fuente: Propia)

Se le han dado dos capas de pintura a brocha y rodillo y una vez seca, se da por acabado el modelo del barco.

5.3 Realización del molde

Antes de comenzar a construir el molde, se deberá preparar un desmoldeante para poder facilitar el posterior desmoldeo.

Para la realización de este desmoldante se han usado:

- 100 mL de agua
- Un tercio de una pastilla de jabón rallado
- Aceite de cocina



Figura 76. Desmoldeante (Fuente: Propia)

Mezclados y emulsionados estos productos, se pintará todo el casco del barco dos veces ya que es una mezcla aceitosa y grasienta. Debemos esperar a que se seque la anterior para poder aplicarle encima otra. Es imprescindible que antes de poner el yeso encima para hacer el molde, la mezcla aplicada encima del modelo esté seca pero que el casco siga teniendo una textura aceitosa al pasarle el dedo por encima.

Después, con plastilina y sobre el eje de crujía, separaremos la mitad del modelo para hacer la primera mitad del molde ya que, dada la forma del casco, se deberán hacer dos partes para cubrir la totalidad del mismo.

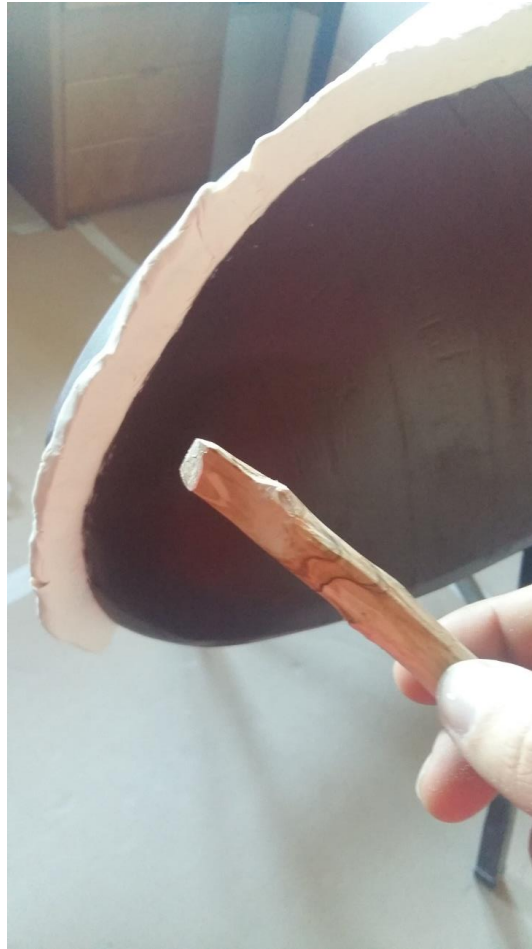


Figura 77. Línea de crujía (Fuente: Propia)

Ahora, con yeso claro para que no queden espacios con aire sin rellenar, o en medida de lo posible, esparcirlo por una de las mitades del casco.



Figura 78. Preparación molde (Fuente: Propia)

Para las capas posteriores a la primera, no hace falta que el yeso esté tan líquido ya que aunque quede algún hueco no es tan importante como la capa de contacto con el modelo; cubriendo la totalidad dándole un espesor aproximado de unos 3 centímetros.



Figura 79. Molde estribor I (Fuente: Propia)



Figura 80. Molde estribor II (Fuente: Propia)

Una vez seca esta parte, se retira la plastilina que separaba las dos mitades, se unta con el desmoldeante la parte del molde donde estaba la plastilina ya que ahora será ésta la que estará en contacto con la otra parte del molde y, de igual manera, empezaremos poniendo yeso líquido y posteriormente yeso más espeso para cubrir la totalidad del modelo dándole un espesor de unos 3 centímetros también.



Figura 81. Preparación molde babor (Fuente: Propia)



Figura 82. Molde terminado (Fuente: Propia)

Se dejará secar unos 5 días para que todo el grosor de yeso endurezca y quede sólido para evitar posibles fracturas cuando se vaya a desmoldar.

Es importante destacar que se le deben hacer unas hendiduras o marcas en la primera parte del molde para que, así, la segunda parte encaje bien y no se mueva cuando vayamos a usarlo.



Figura 83. Marcas molde estribor (Fuente: Propia)

Una vez secas las piezas y con la ayuda de dos rasquetas, se procederá al desmoldeo, que como se untó toda la superficie con el desmoldante, basta solo con mover las dos partes y éstas se despegan con facilidad.



Figura 84. Partes molde (Fuente: Propia)

Una vez separadas las dos partes del molde, vemos que hay alguna pequeña deformidad que se deberá tapar ya que si no cuando se ponga fibra de vidrio, quedará la marca en ella.

Para rellenar y tapar las deformidades o irregularidades de ambas partes del molde usaremos una vaselina industrial.



Figura 85. Vaselina (Fuente: Propia)

Posteriormente, se pondrá cera para desmoldeo en ambas partes ya que ahora se deberá preparar dichos moldes para poder trabajarlos con fibra de vidrio y resina de poliéster.



Figura 86. Cera (Fuente: Propia)

Previamente encordadas ambas partes, se deben dar 3 capas de cera ya que el molde es de nuevo uso, tapando también la línea de separación entre ambas piezas.



Figura 87. Unión molde y encerado (Fuente: Propia)



Figura 88. Molde preparado para enfibrado (Fuente: Propia)

Como se puede ver en la Figura 87. Unión molde y encerado y Figura 88. Molde preparado para enfibrado, el tolón del codaste no se podrá enfibrar con esta disposición de los moldes por lo que, una vez desmoldada la pieza, se construirá. Por lo tanto, ya que se necesita tener el barco en fibra de vidrio, esta parte de la popa se explica en el apartado siguiente.

5.4 Realización de la pieza

Tal y como se explica en el capítulo 2 de materiales compuestos, una resina necesita catalizador para que pueda polimerizar y así poder curarse. En el apartado de proporciones del catalizador del mismo capítulo 2, se obtienen los porcentajes siendo los utilizados para la construcción del casco del barco una proporción al 3%, usando 200 gotas de catalizador cada 400 gramos de resina de poliéster.

Se unta el molde ya preparado con resina usando una brocha y se van poniendo capas de fibra de vidrio hasta hacer un espesor de unos 3 mm a lo largo de todo el molde reforzando algunas partes del casco como puede ser la quilla ya que es la zona que más esfuerzos soportará.



Figura 89. Aplicación resina (Fuente: Propia)

Es importante dejar un excedente de fibra por encima del molde.



Figura 90. Casco enfibrado (Fuente: Propia)

Una vez se haya enfibrado todo el casco, se deberá dejar curar la resina, como mínimo unas 24 horas para que no se tengan problemas cuando se vaya a desmoldar.

Una vez transcurrido este tiempo, con la ayuda de unas rasquetas se desmolda la pieza de los moldes que, como estos han sido impregnados con cera, el desmoldeo no entrañará más complicaciones.

Ahora, una vez se tiene la pieza desmoldada, se debe hacer el tolón del codaste y para ello se debe cortar el molde haciendo un molde independiente para su construcción. Para ello, con ambas partes del molde, se le debe separar la parte que conforma este tolón. Este corte se hará clavándole unas puntas para que así se separe no habiendo una falta de material si se quiere juntar después ya que si se hiciera con una sierra, se tendría una falta de material.



Figura 91. Corte molde (Fuente: Propia)

Se hará de manera igual en la otra parte del molde.

Una vez hecho esto, se debe hacer un orificio y un corte para que entre resina en este nuevo molde y también, que se acople bien con el casco.



Figura 92. Corte (Fuente: Propia)



Figura 93. Orificio (Fuente: Propia)

Ambas partes del molde del tolón del codaste se encantan acoplándose en su posición en el casco ya que solo será de resina, necesita una buena sujeción.



Figura 94. Molde del tolón del codaste (Fuente: Propia)

La resina se echará por el orificio para que rellene el molde pero se debe hacer esto cuando la resina esté a punto de alcanzar su estado de gel ya que así evitaremos que nos chorree debido al aclose que hay entre molde y casco.

Dejando pasar el tiempo conveniente, se sacará el molde quedando la pieza ya terminada.

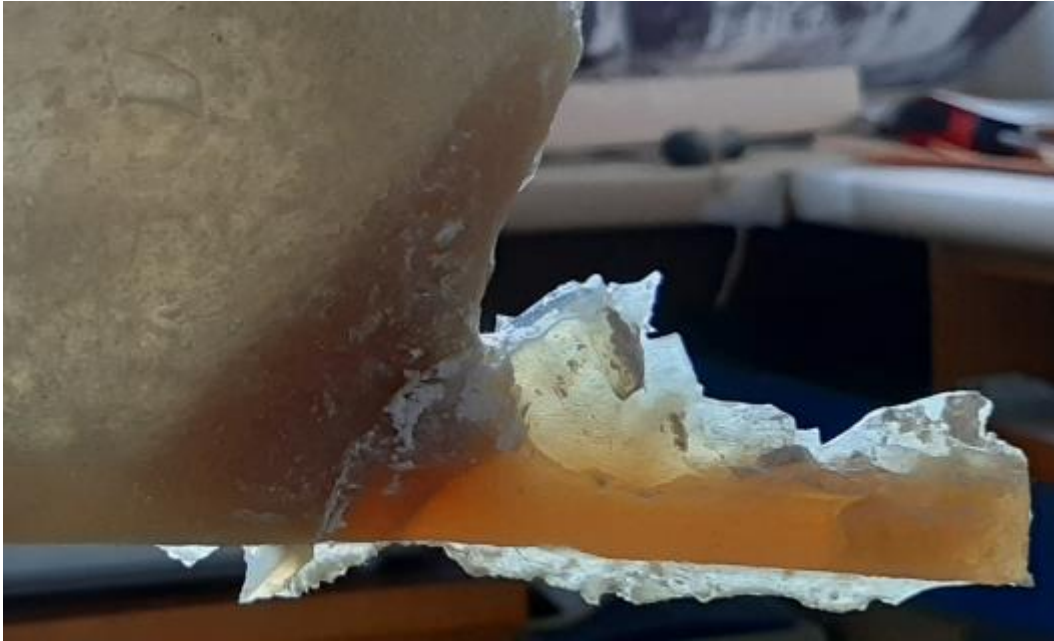


Figura 95. Tolón codaste en resina (Fuente: Propia)



Figura 96. Pieza acabada (Fuente: Propia)

Ahora ya se tiene el casco ya acabado pero se debe eliminar los excedentes de fibra de vidrio, la cera que se ha quedado pegada y si hay alguna imperfección, arreglarla.

A partir de las medidas tomadas en el diseño en 3D, se cortan los excedentes y se pule dándole forma al tolón. Se observan pequeñas deformidades muy localizadas que se deben arreglar. Para ello se usará masilla de poliéster con una proporción de 30 gramos de masilla cada 0,9 gramos de catalizador.



Figura 97. Arreglo imperfecciones (Fuente: Propia)

Se le añade la pieza del conducto pegándola con masilla al casco ya que formará parte del conjunto durante todo el proceso, así como el agujero para la bocina y para el timón.



Figura 98. Agujeros timón, bocina y conducto (Fuente: Propia)

Cuando haya secado, se deberá pulir tanto la resina como el casco para que tenga un acabado fino y se dará una primera mano de pintura con base acrílica, usando un compresor, para ver posibles desperfectos o irregularidades que de otra forma no se verían.



Figura 99. Casco pintado (Fuente: Propia)

Una vez pintado, se ve con más claridad los pequeños defectos que hay, se pule para eliminar la pintura y se corrigen con masilla de poliéster. De nuevo, es necesario pulirla para su acabado.



Figura 100. Masillado (Fuente: Propia)

En este momento del proceso, se harán los imbornales, usando una fresa del diámetro determinado.



Figura 101. Imbornales (Fuente: Propia)

Ahora sí que eliminadas todas las marcas, se pinta ya con los colores definitivos siendo el azul marino para la obra muerta y el rojo para la obra viva.

Es importante separar la parte que no se va a pintar (ya que si no se manchará de nuevo) y marcar de forma clara la línea de flotación.



Figura 102. Pintura obra muerta(Fuente: Propia)



Figura 103. Casco pintado (Fuente: Propia)

Una vez el casco listo, se preparará la cubierta, el puente y elementos de cubierta haciendo la pieza en espuma rígida tomando las medidas desde el software 3D y su correspondiente enfibrado posterior.



Figura 104. Puente y elementos de cubierta (Fuente: Propia)

Solo faltaría la cubierta pero ésta se hará en dos mitades para facilitar la construcción ya que tienen curvatura.



Figura 105. Cubierta a popa (Fuente: Propia)

De manera igual se hará la otra mitad de la cubierta.

Tanto en las cubiertas como en los elementos que se acaban de fabricar, se eliminarán las imperfecciones puliendo y si fuera necesario, masillando y puliendo de nuevo.

Una vez las cubiertas acabadas, se cortarán de nuevo por la mitad pegando, de forma definitiva al casco, las partes adyacentes a los piques de popa y proa y pegándose una plaqueta a las parte más exteriores.

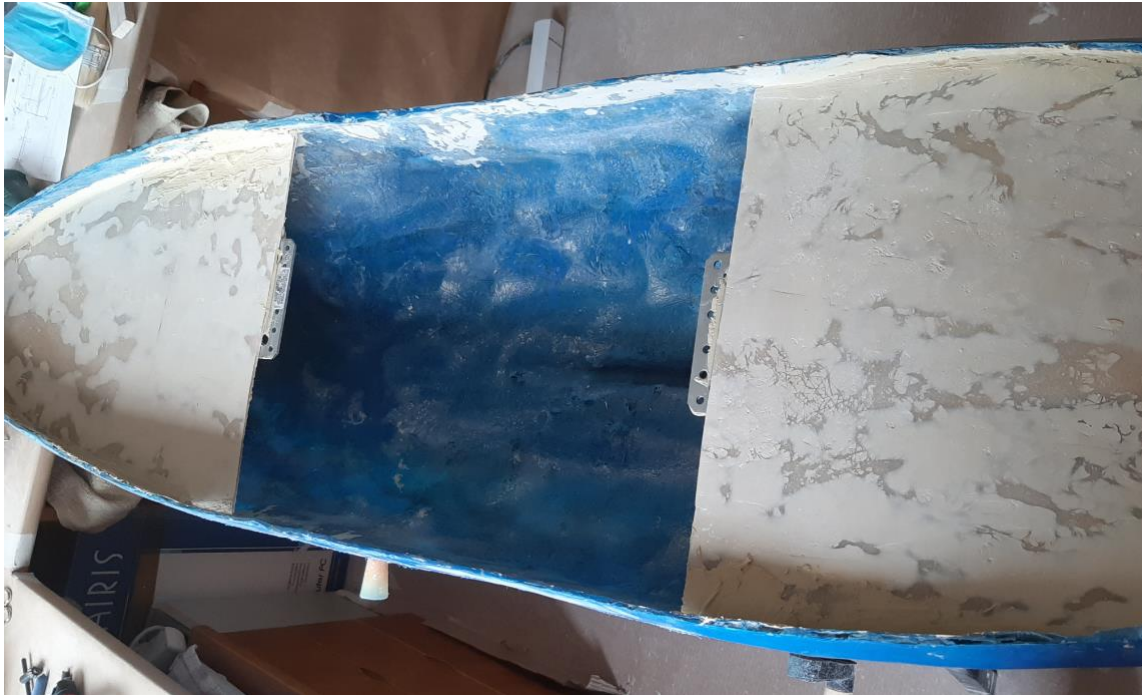


Figura 106. Cubiertas (Fuente: Propia)

De esta forma, se podrán poner los elementos tales como la batería y motores y el acceso a ellos será posible siempre que se necesite ya que si se pega todo como una sola pieza, se hace imposible su acceso. Para soporte de la parte de cubierta que hace de tapa, se usarán unas escuadras pegándose unas tuercas para poder ser fijada.

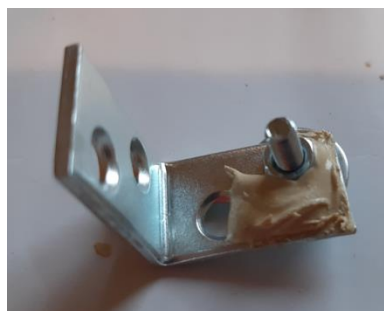


Figura 107. Soporte cubierta (Fuente: Propia)

Estos soportes se pegan a la altura conveniente para que quede la tapa a la misma altura que las adyacentes a ella.



Figura 108. Soporte cubierta central (Fuente: Propia)



Figura 109. Anclajes cubierta central (Fuente: Propia)

Asimismo, en la cubierta de popa se le hará una tapa de acceso para poder acceder al motor.



Figura 110. Tapa registro cubierta de popa (Fuente: Propia)

Debido a la longitud del eje, se construirá una chumacera de apoyo aprovechando un tubo de aluminio del diámetro igual al del cilindro exterior del eje con unas planchas de soporte para dicho tubo pegándolo al casco.



Figura 111. Chumacera apoyo (Fuente: Propia)

Al ir el motor acoplado directamente sobre el eje, éste necesita de un soporte también fabricado con una pletina. Previo a esto, se debe aplanar la pletina ya que si no cumple con las dimensiones adecuadas y para ello, debido al grosor y evitando que se parta al trabajarla en frío, se necesitará calentarla.



Figura 112. Preforma pletina (Fuente: Propia)

Una vez medida la posición del motor, se corta y se pega en el sitio adecuado, habiendo hecho los agujeros para el anclaje del motor.

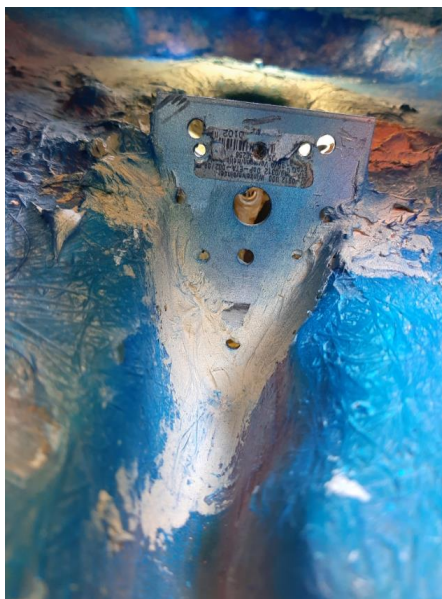


Figura 113. Soporte motor (Fuente: Propia)

Una vez hechos el soporte para el motor y la chumacera de apoyo para el eje, se procederá al montaje del timón y al del servo que controla el movimiento de éste.

Primero se debe montar el timón, poniéndole una goma de aislamiento tanto por dentro como por fuera para evitar que entre agua.



Figura 114. Montaje timón (Fuente: Propia)

A continuación, se monta la bocina y se sella para evitar que pueda entrar agua.

Todos los aislamientos estarían ya realizados, haciendo ahora el soporte y el anclaje del servo del timón y la sujeción de éste con el mismo timón.

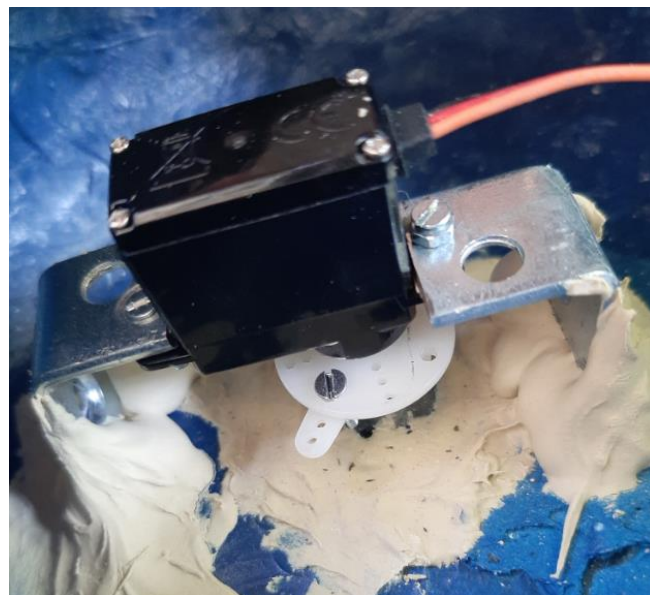


Figura 115. Soporte servo timón (Fuente: Propia)

Se monta la bocina, el motor, el acople del eje del motor a la bocina y la hélice dejando el sistema propulsivo listo para el conexionado eléctrico.



Figura 116. Unión eje con motor. (Fuente: Propia)



Figura 117. Montaje motor (Fuente: Propia)

Se cierra la tapa de acceso al timón con gomas haciéndolo de tal manera que su acceso sea posible cada vez que se necesite y se procede, ahora, a poner las gomas de los costados y de la regala.



Figura 118. Goma en costados y regala (Fuente: Propia)

Con este paso, el casco ya está hecho. A partir de ahora se construirá la cabina y estructura de la misma así como el soporte del gancho.

En primer lugar, se pulen y masillan ambos elementos para que, de esta manera, no tengan irregularidades ya que hasta este momento se tiene la pieza hecha únicamente en fibra de vidrio tal y como salió del molde.



Figura 119. Cabina y soportes masillados y pulidos (Fuente: Propia)

Se une el soporte de la cabina a la cubierta central y se pinta el interior de la cabina ya que si se uniera también al soporte, dificultaría el proceso de pintado.



Figura 120. Pintado interior cabina (Fuente: Propia)

Una vez pegadas las escaleras y barandillas al soporte de la cabina, se pegará el soporte del gancho a la cubierta central también poniendo papel film para que cuando pongamos masilla, se haga la curvatura que tiene la cubierta y así, cuando se ponga en su lugar, aclose bien.



Figura 121. Colocación film en cubierta (Fuente: Propia)

Se aplica masilla para unirlo y se le pone la tapa.



Figura 122. Unión soporte gancho (Fuente: Propia)

Y, posteriormente, se le da una mano de imprimación después de pegar la cabina a la estructura y pintado.



Figura 123. Estructura, cabina y soporte pintado

Se hacen barandillas, se pintan y se colocan dejándolo así finalizado.



Figura 124. Barandillas (Fuente: Propia)

Antes de colocarlo todo sobre la cubierta, la batería, el regulador ESC y el receptor haciendo las correspondientes conexiones para que quede todo debidamente montado y configurado.

Una vez hechas las conexiones, se pone la cubierta que faltaba en su posición y se cierra quedando el barco ya terminado.



Figura 125. Barco terminado (Fuente: Propia)

5.6 Pruebas de mar

El barco, una vez construido en su totalidad así como los elementos de control, se probará en agua para ver su comportamiento, su calado, escora y su navegación en diferentes estados de la mar.

Primero se probará en aguas tranquilas, luego en mar abierto con olas de través, seguido de olas de popa y de proa.

Antes de estudiar y ver cómo se comporta el barco, cabe destacar que la velocidad del barco es de vital importancia ya que si el barco va muy lento las olas nos embarcarán por la popa y si va demasiado rápido, se adelantará a las olas aumentando la velocidad en las bajadas haciendo que la proa se clave en el seno de la ola.

Hay dos formas de enfrentarse a un temporal o a olas de gran tamaño, capearlo que será enfrentarlo por proa o correrlo que será desde popa.

Destacar también que, en el caso de oleaje considerable, se deben tomar las olas por las amuras y no por los costados ya que podría haber escoras peligrosas para la embarcación haciendo que no se recupere y zozobre. [6]

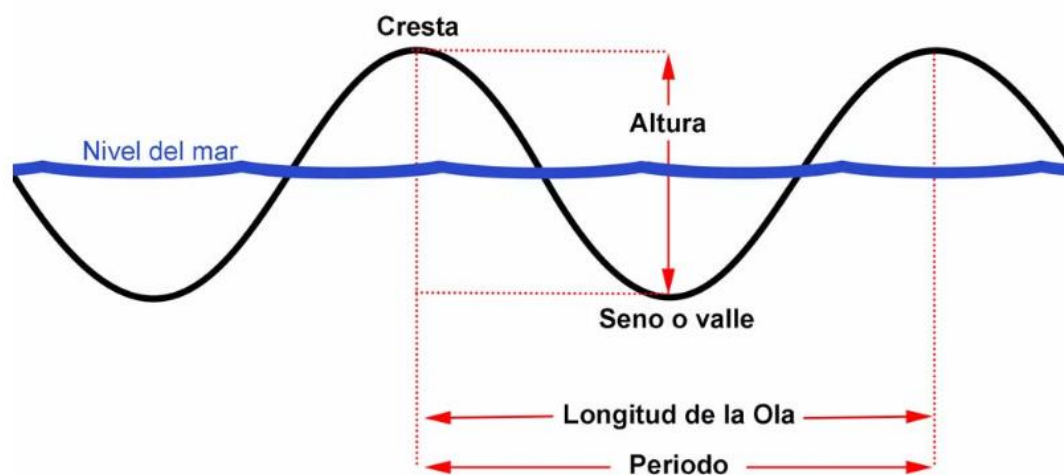


Figura 126. Olas [24]

5.6.1 Comportamiento en aguas tranquilas

En aguas tranquilas y profundas, el buque tiene el calado con el que se diseñó quedando sumergido todo el timón, además, se puede observar como la escora que tiene es nula.

Su navegación y maniobrabilidad es del todo correcta con una velocidad de avance adecuada.



Figura 127. Navegación aguas tranquilas (Fuente: Propia)

5.6.2 Comportamiento con olas de través

Con olas de 20 cm de altura, el buque estático recibiendo las olas de través tiene una escora de unos 30° pero retorna fácilmente a la posición de equilibrio nuevamente.



Figura 128. Olas de través (Fuente: Propia)

Con un movimiento de avance del barco, las olas de través le afectan de manera casi imperceptible haciendo que su escora sea mucho más reducida no viéndose afectada su velocidad de la que disponía al enfrentarse a este comportamiento de la mar.



Figura 129. Navegación olas de través (Fuente: Propia)



Figura 130. Navegación olas de través II (Fuente: Propia)

5.6.3 Comportamiento con olas de proa

Con fuerte marejada o mar gruesa se deberá atacar las olas por las amuras pero más hacia proa ya que si se hace por las amuras dando la banda, el buque se queda expuesto a que las olas lo pongan de través pudiendo hacer zozobrar el barco. [24]

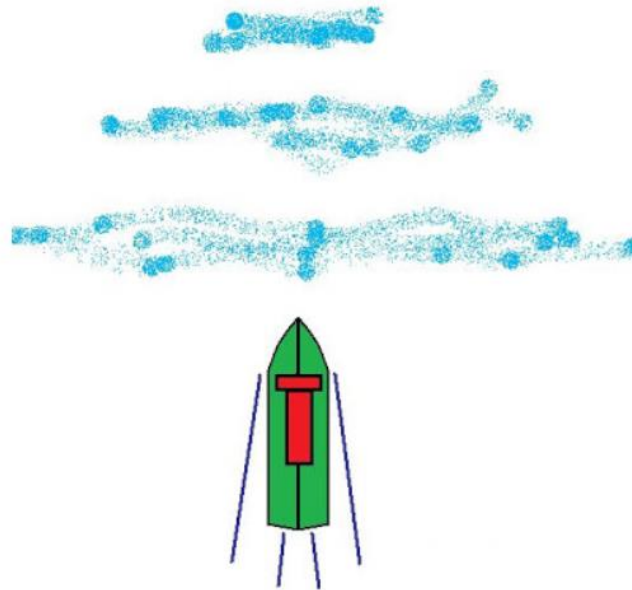


Figura 131. Olas de proa [24]

Como ya se ha dicho, en esta navegación, un factor determinante es la velocidad del buque para evitar los pantocazos a la salida de la cresta de la ola y clavar la proa en el valle pudiendo causar graves daños en la estructura y casco del buque. [6]

Este ensayo de navegación o de comportamiento con olas de proa se hace con olas de unos 20 cm de altura.

Al capear, el barco remonta la ola, le damos máquina avante y cuando llega a la cresta, aminoramos o la paramos evitando así los problemas antes mencionados.

El buque remonta bien las olas por proa, cortando la ola si ésta no es de gran tamaño (en relación con el buque) y clava bien la proa en el agua al bajar. Por lo tanto, su comportamiento es el adecuado y esperado.



Figura 132. Navegación olas de proa (Fuente: Propia)



Figura 133. Navegación con olas de proa II (Fuente: Propia)



Figura 134. Ola de proa (Fuente: Propia)

Es importante destacar también que puede darse la circunstancia que en alguna ola durante la llegada a la cresta, la hélice y el timón queden fuera del agua perdiendo el gobierno y la propulsión durante ese corto periodo de tiempo. Cuando eso sucede, generalmente, el buque recibe un pantocazo.

5.6.4 Comportamiento con olas de popa

En una navegación con olas de popa, para correr el temporal o las olas se deberá navegar a la velocidad adecuada ya que si vamos a mucha velocidad, se podría adelantar a las olas, pudiendo bajar alguna pero si se va a una velocidad más lenta de la adecuada, puede darse que la ola alcance el barco dificultando el gobierno.

Para correr el temporal se navegará con las olas entrando por las aletas vigilando que un golpe de mar pueda dejar el barco de través pudiendo volcar.

Para este tipo de navegación, hay dos formas diferentes de actuar,

- Correr libre, es decir, pasar el temporal o el tren de olas a una velocidad constante, sin frenos durante la travesía $\dot{\iota}$. De esta forma, la popa del barco siempre estará en contacto con la ola lo alcanza.
- Correr con estachas, es decir, largar por popa cabos con pesos en la punta para que la embarcación deje las olas en popa ya que con los frenos se disminuye la velocidad. [6][24]

El barco, frente a un tren de olas de popa y sin estachas, manteniendo una velocidad adecuada en función de las olas, se comporta de manera idónea ya que en todo momento tienen propulsión y gobierno no alcanzando las olas y golpeando la popa.



Figura 135. Olas de popa (Fuente: Propia)



Figura 136. Navegación olas de popa (Fuente: Propia)



Figura 137. Navegación olas de popa II (Fuente: Propia)

Capítulo 6. Sistema de control

Antes de la construcción tanto del mando o emisor y del receptor, se necesitan los esquemas correspondientes ya que así se podrá proceder a su montaje.

6.1 Emisor o transmisor

El esquema eléctrico usado para su montaje es el de la imagen siguiente,

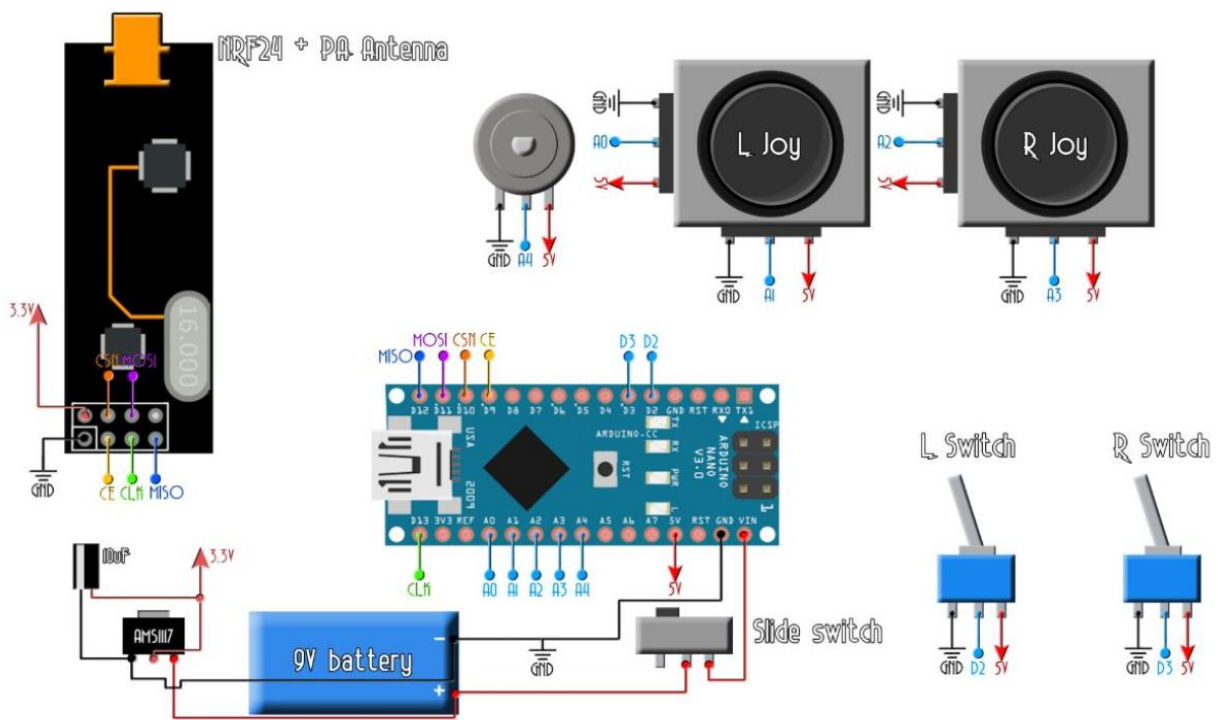


Figura 138. Esquema eléctrico transmisor (Fuente: Propia)

Se añadirá un condensador de 10 μF entre los 3,3V y la masa de la antena emisora.

Con una placa PCB y con los componentes del esquema, se montará el mando soldando los cables y elementos necesarios.

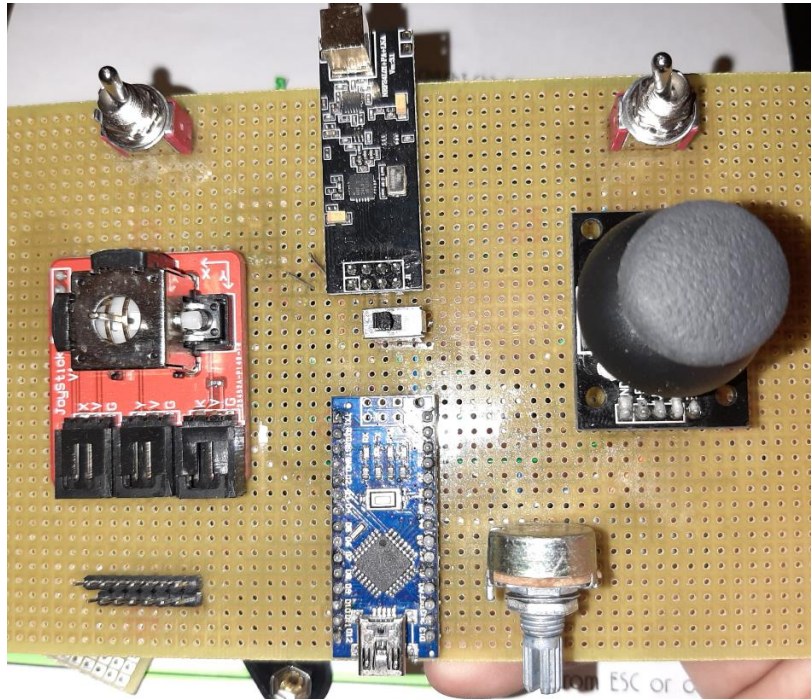


Figura 139. Parte delantera emisor (Fuente: Propia)

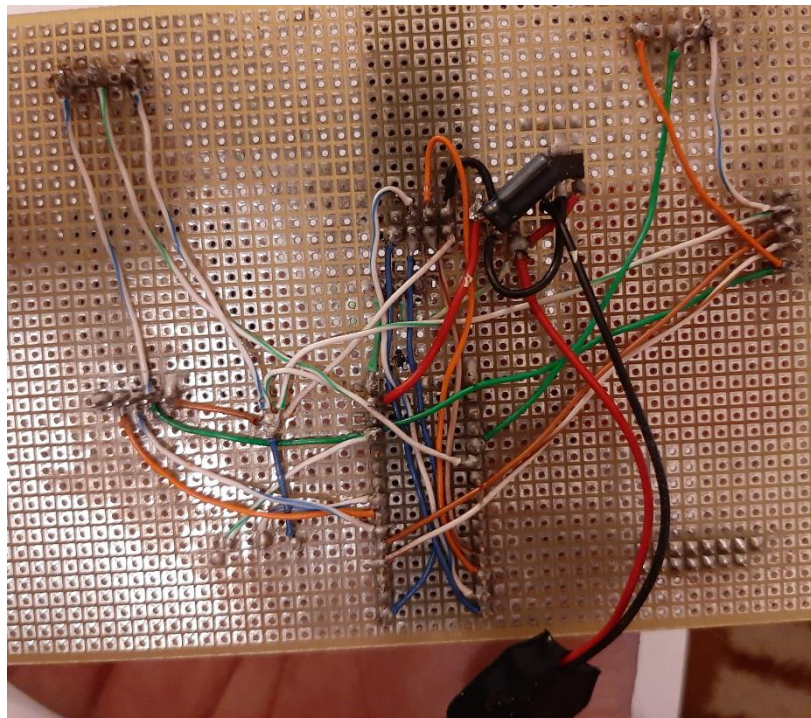


Figura 140. Parte trasera emisor (Fuente: Propia)

Ahora, después de montar las piezas, se debe introducir el código en el Arduino Nano y dicho código tendrá la posibilidad de emisión en 7 canales.

EL siguiente código es el utilizado dentro de la placa,

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

const uint64_t my_radio_pipe = 0xE8E8F0F0E1LL;

RF24 radio(9, 10); //pin CE y CSN

struct Data_to_be_sent {
  byte ch1;
  byte ch2;
  byte ch3;
  byte ch4;
  byte ch5;
  byte ch6;
  byte ch7;
};

Data_to_be_sent sent_data;

void setup() {
  radio.begin();
  radio.setAutoAck(false);
  radio.setDataRate(RF24_250KBPS);
  radio.openWritingPipe(my_radio_pipe);

  sent_data.ch1 = 127;
  sent_data.ch2 = 127;
  sent_data.ch3 = 127;
  sent_data.ch4 = 127;
  sent_data.ch5 = 0;
  sent_data.ch6 = 0;
  sent_data.ch7 = 0;
}

void loop() {
```

```

sent_data.ch1 = map( analogRead(A0), 0, 1024, 0, 255);
sent_data.ch2 = map( analogRead(A1), 0, 1024, 0, 255);
sent_data.ch3 = map( analogRead(A2), 0, 1024, 0, 255);
sent_data.ch4 = map( analogRead(A3), 0, 1024, 0, 255);
sent_data.ch5 = digitalRead(2);
sent_data.ch6 = digitalRead(3);
sent_data.ch7 = map( analogRead(A4), 0, 1024, 0, 255);

radio.write(&sent_data, sizeof(Data_to_be_sent));
}

```

6.2 Receptor

De forma análoga al mando, se necesita el esquema eléctrico para empezar a construirlo, usando el método PWM para la recepción de la señal.

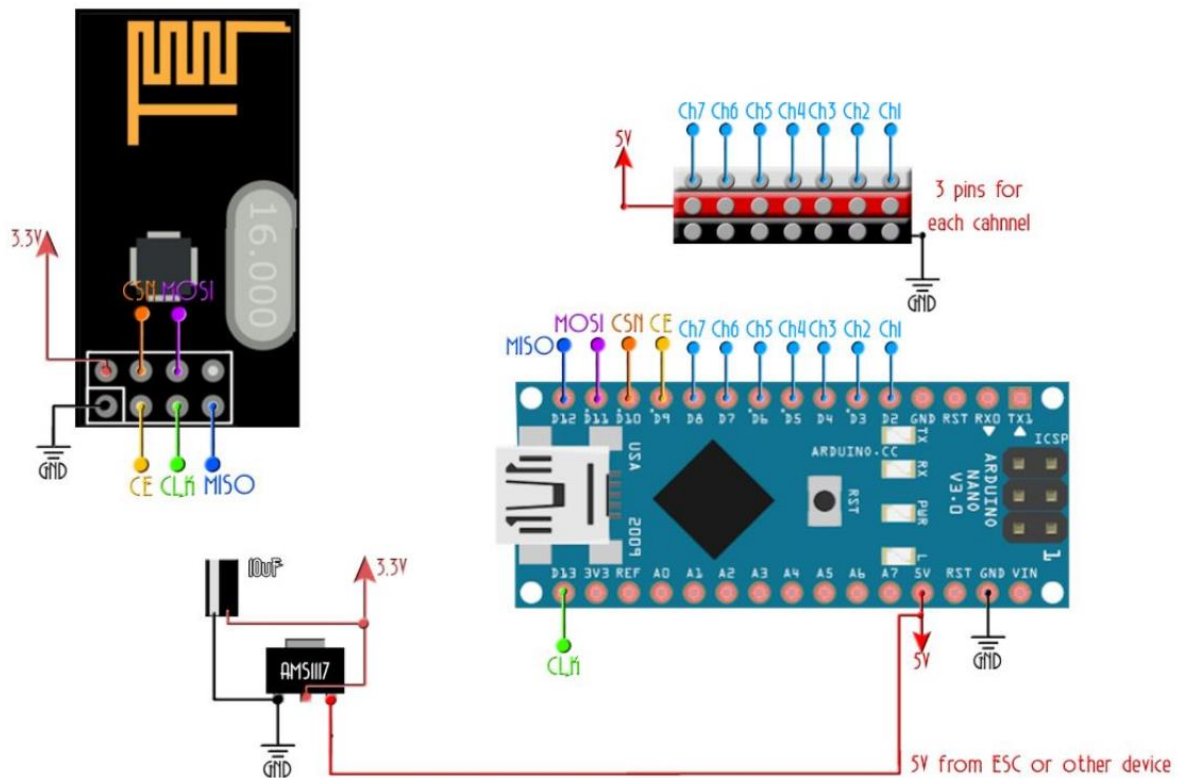


Figura 141. Esquema receptor (Fuente: Propia)

En el receptor, también se le añade un condensador de 10 μF entre los 3,3V y la masa de la antena receptora.

Con una placa PCB y con los componentes del esquema, se montará el mando soldando los cables y elementos necesarios.

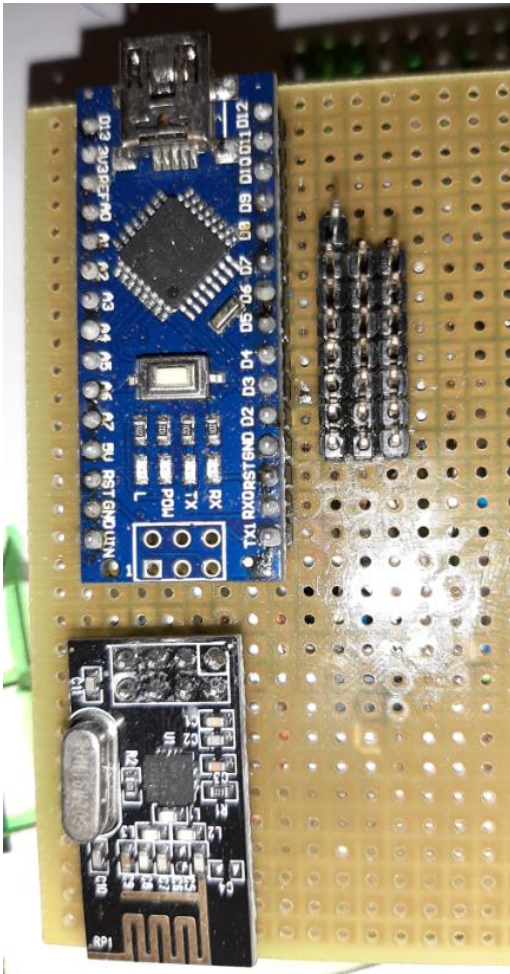


Figura 142. Paete delantera receptor (Fuente: Propia)

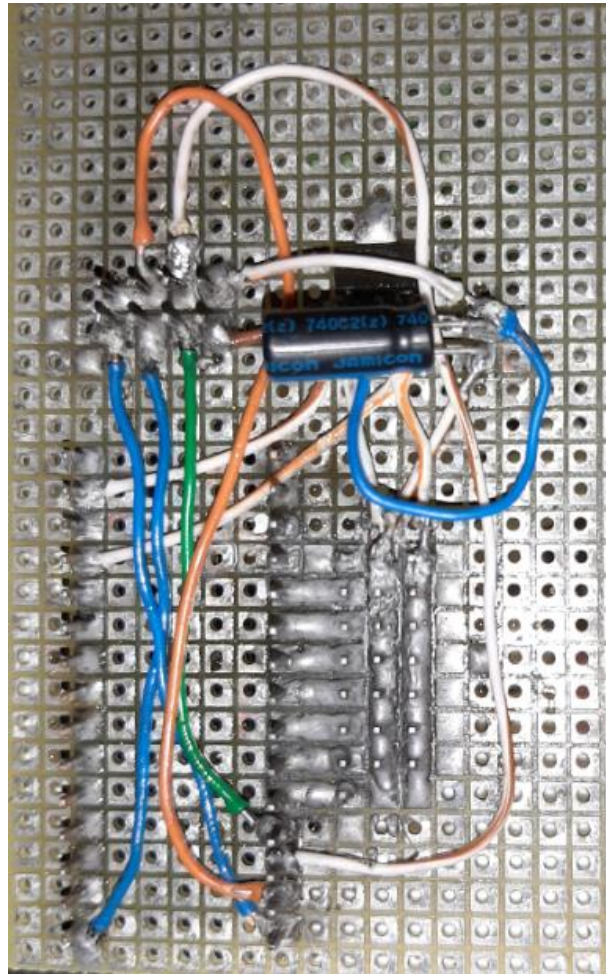


Figura 143. Parte trasera receptor (Fuente: Propia)

Ahora, después de montar las piezas, se debe introducir el código en el Arduino Nano y dicho código tendrá la posibilidad de recepción en 7 canales ya que el mando puede emitir en 7 canales también se debe poder recibir en tantos canales como se puede emitir.

El siguiente código es el utilizado dentro de la placa,

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <Servo.h>

const uint64_t pipeIn = 0xE8E8F0F0E1LL;
RF24 radio(9, 10);

struct Received_data {
  byte ch1;
  byte ch2;
  byte ch3;
  byte ch4;
  byte ch5;
  byte ch6;
  byte ch7;
};

Received_data received_data;

Servo channel_1;
Servo channel_2;
Servo channel_3;
Servo channel_4;
Servo channel_5;
Servo channel_6;
Servo channel_7;

int ch1_value = 0;
int ch2_value = 0;
int ch3_value = 0;
int ch4_value = 0;
int ch5_value = 0;
int ch6_value = 0;
int ch7_value = 0;

void reset_the_Data()
{
  received_data.ch1 = 0;
```

```
    received_data.ch2 = 127;
    received_data.ch3 = 127;
    received_data.ch4 = 127;
    received_data.ch5 = 0;
    received_data.ch6 = 0;
    received_data.ch7 = 0;
}

void setup()
{
    channel_1.attach(2);
    channel_2.attach(3);
    channel_3.attach(4);
    channel_4.attach(5);
    channel_5.attach(6);
    channel_6.attach(7);
    channel_7.attach(8);

    reset_the_Data();

    radio.begin();
    radio.setAutoAck(false);
    radio.setDataRate(RF24_250KBPS);
    radio.openReadingPipe(1,pipeIn);

    radio.startListening();

}

unsigned long lastRecvTime = 0;

void receive_the_data()
{
    while ( radio.available() ) {
        radio.read(&received_data, sizeof(Received_data));
        lastRecvTime = millis(); //Here we receive the data
    }
}

void loop()
{
    receive_the_data();
}
```

```
unsigned long now = millis();
if ( now - lastRecvTime > 1000 ) {
    reset_the_Data();
}

ch1_value = map(received_data.ch1,0,255,1000,2000);
ch2_value = map(received_data.ch2,0,255,1000,2000);
ch3_value = map(received_data.ch3,0,255,1000,2000);
ch4_value = map(received_data.ch4,0,255,1000,2000);
ch5_value = map(received_data.ch5,0,1,1000,2000);
ch6_value = map(received_data.ch6,0,1,1000,2000);
ch7_value = map(received_data.ch7,0,255,1000,2000);

channel_1.writeMicroseconds(ch1_value);
channel_2.writeMicroseconds(ch2_value);
channel_3.writeMicroseconds(ch3_value);
channel_4.writeMicroseconds(ch4_value);
channel_5.writeMicroseconds(ch5_value);
channel_6.writeMicroseconds(ch6_value);
channel_7.writeMicroseconds(ch7_value);

}
```


Capítulo 7. Presupuesto y herramientas

En este apartado se van a enumerar y hacer un presupuesto del coste de la fabricación y construcción del barco así como las herramientas necesarias y utilizadas durante todo el proceso de construcción, desde el inicio hasta el final.

Item	Precio unidad	Cantidad	Total
Espuma rígida de poliestireno extrusionado	15,00 €	5	75,00 €
Masilla de poliéster	11,50 €	3	34,50 €
Masilla carpintero	7,00 €	1	7,00 €
Pintura acrílica	30,00 €	1	30,00 €
Tornillería	5,00 €	1	5,00 €
Arandelas	5,00 €	1	5,00 €
Tuercas	5,00 €	1	5,00 €
Escuadra 2,5cm x 2,5cm	0,95 €	6	5,70 €
Cable eléctrico H07V-K	3,00 €	1	3,00 €
Escuadra 5cm x 5cm	1,25 €	2	2,50 €
Soporte 7cm x 3cm	2,95 €	1	2,95 €
Pegamento Pattex plástico	1,95 €	2	3,90 €
Imprimación pintura vidrio	9,25 €	1	9,25 €
Barra redonda hierro	4,19 €	1	4,19 €
Perfil goma redondo 15mm	4,35 €	1	4,35 €
Perfil goma rectangular 40 x 5mm	3,10 €	1	3,10 €
Tubo PVC 5 x 8mm	0,55 €	1	0,55 €
Barra poliéster 2mm	0,85 €	2	1,70 €
Barra poliéster 5mm	1,40 €	1	1,40 €
Varilla madera	0,90 €	1	0,90 €
Desmoldante 34D	15,00 €	1	15,00 €
Desmoldante en pasta	2,20 €	1	2,20 €
Resina de poliéster 5Kg	42,13 €	1	42,13 €
Variador Bruussles Avante - atrás	60,00 €	1	60,00 €
Módulo NRF24L01P	12,00 €	1	12,00 €
Módulo NRF24L01P RFM04	3,25 €	1	3,25 €
Joystick Module	3,20 €	2	6,40 €
Placas, interruptores, fastoms, condensadores	28,66 €	1	28,66 €
Motor BRUSHLESS N2826/12 1350Kv	18,12 €	1	18,12 €
SERVO C231	12,62 €	1	12,62 €
EJE para Barco 4 x 170	19,42 €	1	19,42 €
EMPALME Motor y EJE FLE x IBLE 4,0 / 4,0 mm	8,73 €	1	8,73 €
Fibra de vidrio MAT 300	51,75 €	1	51,75 €
Hélice 4 Palas Tipo C 70 mm	31,84 €	1	31,84 €
TOTAL			517,11 €

El listado de herramientas utilizadas es el que sigue a continuación,

Tabla 7. Listado herramientas (Fuente: Propia)

Sierra	Pinceles	Rodillos	Papeles de lija
Elementos de medida	Destornilladores	Tijeras	Pinzas
Cúteres	Téster	Máquina de corte	Marcador
Vaso medidor	Protoboard	Taladro	Balanza
Mordazas	Alicates corte	Brocas	Soldador
Espátulas	Alicates presión	Fresas	Pistola silicona
Brochas	Martillo	Pulidora	Cinta carpintero

Capítulo 8. Conclusiones

La historia de las embarcaciones es inmemorial y ha acompañado la existencia del ser humano prácticamente desde sus orígenes.

Desde las grandes batallas de ultramar para apropiarse de barcos hasta los grandes puertos mercantes para descargar la mercancía transportada, la necesidad del cambio o adaptación al mercado ha sido el factor clave para la aparición de nuevos barcos, como fueron los barcos remolcadores.

El diseño y la construcción de cada una de las embarcaciones están marcados por el momento histórico en que se inscribe su producción y por las características de la cultura que las materializa. Diseños, materiales y funciones se unen en cada ocasión con el propósito de mejorar cada construcción y hacerla mejor que sus predecesoras.

Este trabajo nace de la reflexión sobre la actual formación universitaria que se realiza en el Grado de Ingeniería Marina y su papel como conectora entre el pasado y el futuro de la navegación mundial. Si bien la formación del Grado permite conocer el pasado de la navegación y su actualidad -en lo referente a técnicas, procedimientos, materiales, desarrollos, sistemas de navegación, maquinaria y equipos, etc- también nos hace conscientes de que la navegación está en constante transformación y nos alerta que la actualización de conocimientos será una parte importante de nuestro futuro como ingenieros y/u oficiales.

Para empezar, destacar que se ha construido un barco usando técnicas profesionales a partir de unos planos de líneas de agua de un remolcador de tamaño real, haciéndolo completamente funcional con una buena flotabilidad y estabilidad, con un sistema de control de construcción propia con un alcance de casi 700 metros haciendo que navegue de forma óptima en diferentes condiciones de la mar pudiendo, con una flota de más barcos, simular y estudiar el remolcaje de embarcaciones y atraque.

En referencia a los objetivos marcados a priori, el primer objetivo planteado fue el uso de programas de diseño asistido por ordenador. El diseño asistido permite abandonar el ensayo error manual y pasar a elaborar modelos sobre los que realizar todo tipo de pruebas. Para ello me he formado en el uso de algunos programas de este tipo como el software 3D Rhinoceros o la plataforma de Arduino con la intención de explorar las posibilidades que le brindan a esta ingeniería.

El segundo objetivo planteado fue generar un espacio, es decir, un barco donde se diera la oportunidad de poner a prueba buena parte de los conocimientos adquiridos en el grado. Si bien los ingenieros acabamos teniendo una fe ciega en los números, no nos pasa lo mismo con los materiales que no conocemos. En una situación real se necesita tener confianza y seguridad en los equipos y materiales para hacer eficiente el trabajo realizado y que mejor manera que poner a prueba realizando unos ensayos en la mar, los materiales, el proceso de construcción, la elaboración y estructura del barco. Es necesario trabajar en un espacio donde se tiene plena confianza en los materiales para poder actuar sin dudas y eficientemente.

Los últimos objetivos se basaron en una recopilación de todos los recursos que la universidad ha puesto a mi disposición, tanto en forma de materiales como gracias a la voluntad de mis profesores de conectarme con la tradición a través de su experiencia. Este deseo ha guiado la forma que ha adoptado el TFG, consistente en la elaboración de una maqueta y una serie de documentos de soporte, para que los estudiantes que vienen detrás puedan tener un ejemplo real, materializado, de muchos de los conocimientos que recibimos en la facultad.

El Capítulo 5 se ha redactado pensando en que pueda ser un manual de construcción para futuros estudiantes para poder replicar el remolcador, por esto, se ha detallado todos los procedimientos al detalle, fases de construcción y materiales utilizados en todo momento. Cabe detallar que, a pesar de ser una maqueta, el procedimiento seguido es de ámbito profesional dado que así es como se construye una embarcación de fibra de vidrio actual empezando por el diseño en ordenador, siguiendo de un modelo, un molde y su posterior construcción.

Mirándolo desde una perspectiva de futuro, trabajos así pueden servir de ayuda y de propuesta para posibles fines didácticos e incluso adaptando pruebas y ensayos a realizar de forma más práctica pudiendo ver de manera directa los logros obtenidos.

Pero siguiendo por ese mismo camino, la línea futura natural es estudiar, construir y validar la maqueta de remolque y hacer pruebas de remolcado tanto sea a otras maquetas o pruebas de tracción para determinar la potencia de tiro, asimismo, también se debería mejorar los elementos o sistemas que, a pesar de ir bien, se pudieran mejorar ya que después de haberlo probado, sería adecuado ponerle una hélice de proa para que la maniobrabilidad a poca velocidad sea mucho mejor, mejorando así sus prestaciones.

Bibliografía

- [1] **Baselga Rodríguez, M.** (1981). *El remolque en la mar o remolque transporte*. Sevilla: Gráf. Salesianas.
- [2] **Besendjak, A.** (2017). *Materiales compuestos*. Barcelona: Edicions UPC.
- [3] **Carbajales Pereira, R.** (2000). *Tecnología Mecánica Naval. Tomo I y II*. Vigo.
- [4] **Luz Stella Arias Maya y Libardo Vanegas Useche.** (2004). *Falla de los materiales compuestos laminados*.
- [5] **Miravete, A.** (2013). *Materiales compuestos, Tomo I*. Reverté.
- [6] **Moreu Curbrera, J. M.** (1979). *Navegación para patrones*. Vigo.
- [7] **Olivella Puig, J.** (2000). *Teoría del buque: Flotabilidad y estabilidad*. Barcelona: Edicions UPC.

Webgrafía

- [8] **abs puertos**. Obtenido de http://www.abcpuertos.cl/documentos/Rom_03/rom3199parte_5.pdf. [Consultado: 19/05/2019]
- [9] **Administración Nacional de puertos, unidad investigación y Patrimonio Documental.** (2012). *Universidad de Montevideo*. Obtenido de <http://cdf.montevideo.gub.uy/exposicion/flota-maritima-y-trabajo-portuario>. [Consultado: 19/05/2019]
- [10] **AIMPLAS**. Obtenido de <https://www.aimplas.es/blog/tipos-de-materiales-compuestos/>. [Consultado: 03/07/2019]
- [11] **Aula náutica**. Obtenido de <http://aulanautica.org/>. [Consultado: 27/05/2019]
- [12] **BOE.** (20 / Octubre / 2011). *Ley de puertos del Estado y de la Marina Mercante*. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-16467>. [Consultado: 19/05/2019]
- [13] **cdf**. Obtenido de <http://cdf.montevideo.gub.uy/exposicion/> [Consultado: 19/05/2019]
- [14] **fpvmax**. Obtenido de <http://fpvmax.com/2016/12/21/variador-electronico-esc-funciona/>. [Consultado: 03/07/2019]

- [15] **Industrias Ferri**. Obtenido de <https://ferri-sa.es/es/otros/>. [Consultado: 27/05/2019]
- [16] **IngeMecánica**. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn114.html>. [Consultado: 07/06/2019]
- [17] **Ingeniero marino**. Obtenido de <https://ingenieromarino.com/remolcadores/>. [Consultado: 13/06/2019]
- [18] **itq**. Obtenido de <http://www.itq.edu.mx>. [Consultado: 10/06/2019]
- [19] **Maniobra de buques**. Obtenido de <http://www.maniobradebuques.com/articulosTecnicos/articulo60.html>. [Consultado: 3/06/2019]
- [20] **Pérez, C.** (2018). *Universida de Cantabria*. Obtenido de https://personales.unican.es/perezvr/pdf/CH7ST_Web.pdf. [Consultado: 01/07/2019]
- [21] **Sector marítimo**. Obtenido de <https://sectormaritimo.es/>. [Consultado: 13/06/2019]
- [22] **Solchaga Pérez, G.** (Junio / 2015). *Universida de Navarra*. Obtenido de https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/19222/TFG_Gonzalo%20Solchaga.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Consultado: 9/05/2019]
- [23] **Todoababor**. Obtenido de https://www.todoababor.es/articulos/bio_lezo.htm. [Consultado: 23/05/2019]
- [24] **Sailandtrip**. Obtenido de <https://sailandtrip.com/>. [Consultado: 04/07/2019]

