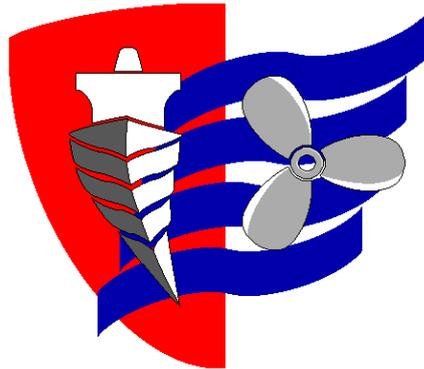


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA.

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.



*Trabajo Fin de Grado.*

**GUÍA DE ADAPTACIÓN A LOS BUQUES DE  
ALTA VELOCIDAD.**

---

**ADAPTATION GUIDE TO HIGH  
SPEED CRAFTS.**

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y  
TRANSPORTE MARÍTIMO.**

Autor: Aitor Cabo Rivera.

Director: Dr. Ernesto Madariaga Domínguez.

Octubre – 2014.

*He de agradecer la inestimable ayuda para haber podido realizar este Trabajo Fin de Grado a mis amigos y a la vez compañeros de profesión Jesús Borrego Vázquez, Luis Antonio Gallego Trashorras, Rubén Secades, Gonzalo Unciti, Yuka Uchiyama Simón y Sergio Romero Ruiz.*

*Sin lugar a dudas, sin su ayuda y conocimientos no podría haber sido posible la realización de este trabajo.*

### **RESUMEN:**

Con este Trabajo Fin de Grado titulado “**GUÍA DE ADAPTACIÓN A LOS BUQUES DE ALTA VELOCIDAD**”, defino una guía de adaptación a la gestión y el manejo de las buques de alta velocidad para aquellos Marineros con experiencia, ya sea como Oficiales del Departamento de Cubierta o como Capitanes en buques convencionales. El campo de conocimiento en el que se pretende familiarizar a los mismos va desde las bases técnicas suficientes sobre Construcción Naval y Servicios hasta la Gestión Administrativa, sin olvidar aspectos especiales sobre la Guardia de Mar (Convenio STCW2010), SOLAS y Organización del Trabajo a bordo.

### **PALABRAS CLAVE.**

Seguridad Marítima, Manual de Formación, STCW2010, Buques de alta velocidad, Código para naves de sustentación dinámica, Código de Naves de Gran Velocidad, Hidroala, Jetfoil, Catamaran.

### **ABSTRACT.**

With this project named “**ADAPTATION GUIDE TO HIGH SPEED CRAFTS**”, I define an adaptation guide to management and manning of high-speed crafts for seafarers with experience as navigational officers or captains in conventional ships. The fields of knowledge which we want to familiarize readers of this project with, will be themes as naval construction technical basis, administrative management and special aspects about watchkeeping at sea (STCW2010), SOLAS and Crew Management Aboard.

### **KEYWORDS.**

Maritime safety, Training manual, STCW2010, High Speed Craft Code of Safety for Dynamically Supported Craft, Hydrofoil, Jetfoil, Catamaran.

**ÍNDICE.**

|  |    |
|--|----|
| <b>RESUMEN</b> .....   | 3  |
| <b>PALABRAS CLAVE</b> .....  | 3  |
| <b>ABSTRAT</b> .....   | 3  |
| <b>KEYWORDS</b> .....  | 3  |
| <b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO</b> .....   | 7  |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO FIN DE GRADO .....  | 8  |
| <b>CAPÍTULO II: ANTECEDENTES</b> .....   | 10 |
| 2.1. EVOLUCIÓN Y REGULACIÓN DE LAS NAVES DE GRAN VELOCIDAD<br>CON LOS AVANCES TECNOLOGICOS ..... | 11 |
| <b>CAPÍTULO III: OBJETIVOS</b> .....   | 17 |
| 3.1. OBJETIVOS FUNDAMENTALES .....   | 18 |
| 3.2. OBJETIVOS METODOLÓGICOS .....   | 18 |
| <b>CAPÍTULO IV: NORMATIVA APLICABLE A LAS NGV</b> .....  | 20 |
| 4.1. SOLAS: CAPITULO X “MEDIDAS DE SEGURIDAD APLICABLES A LAS<br>NAVES DE GRAN VELOCIDAD” .....  | 21 |
| 4.2. CÓDIGO DE EMBARCACIONES DE SUSTENTACIÓN DINÁMICA.<br>(NSD) .....                            | 25 |
| 4.3. CÓDIGO DE NAVES DE GRAN VELOCIDAD. “HSC, 1994” .....  | 26 |
| 4.4. CÓDIGO DE NAVES DE GRAN VELOCIDAD, 2000 “HSC, 2000” .....                                   | 30 |
| 4.5. NORMATIVA ESPAÑOLA NGV .....  | 31 |

|  |    |
|--|----|
| <b>CAPÍTULO V: GUÍA DE ADAPTACIÓN A LOS BUQUES DE GRAN VELOCIDAD</b> ..... | 38 |
| 5.1. ESTABILIDAD Y MECÁNICA NAVAL .....                                    | 39 |
| 5.1.1. ESTABILIDAD .....   | 39 |
| 5.1.1.1. HIDROSTÁTICA DE LAS NAVES HIDROALA .....                          | 40 |
| 5.1.1.2. HIDROSTÁTICA DE LAS NAVES MULTICASCO .....                        | 45 |
| 5.1.1.3. HIDROSTÁTICA DE LAS NAVES MONOCASCO .....                         | 51 |
| 5.1.2. MECÁNICA NAVAL .....  | 52 |
| 5.1.2.1. HIDROALA O JETFOIL .....  | 52 |
| 5.1.2.2. CATAMARANES .....   | 55 |
| 5.1.2.3. TIPOS DE MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN .....            | 58 |
| 5.2. MANIOBRA: PROPULSIÓN Y GOBIERNO .....                                 | 59 |
| 5.2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS .....                                    | 60 |
| 5.2.1.1. MAQUINAS PRINCIPALES .....  | 60 |
| 5.2.1.2. TRANSMISIÓN .....   | 61 |
| 5.2.1.3. MAQUINAS AUXILIARES: GENERADORES .....                            | 62 |
| 5.2.1.4. UNIDAD IMPULSORA: JETS MARINOS .....                              | 63 |
| 5.2.1.5. BOMBAS HIDRÁULICAS .....  | 66 |
| 5.2.1.6. CONTROLES DE PROPULSIÓN Y GOBIERNO .....                          | 67 |
| 5.2.1.7. MANIOBRAS BÁSICAS .....   | 69 |
| 5.2.1.8. AVANTE Y ATRÁS .....  | 73 |
| 5.2.1.9. DESPLAZAMIENTO LATERAL A ESTRIBOR .....                           | 74 |
| 5.2.1.10. DESPLAZAMIENTO LATERAL A BABOR .....                             | 76 |
| 5.2.1.11. REVIRO A ESTRIBOR .....  | 78 |
| 5.2.1.12. REVIRO A BABOR .....   | 80 |
| 5.2.1.13. AVANZAR DESPLAZÁNDOSE LATERALMENTE A CUALQUIER BANDA .....       | 82 |
| 5.2.1.14. MANIOBRAS EN BACK-UP .....                                       | 84 |

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 5.2.1.15. CURVAS DE EVOLUCIÓN ..... | 87        |
| <b>CONCLUSIONES</b> .....           | <b>89</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....           | <b>91</b> |

**CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO.**

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO FIN DE GRADO.**

Por medio de este Trabajo Fin de Grado titulado “**GUÍA DE ADAPTACIÓN A LOS BUQUES DE ALTA VELOCIDAD**”, pretendemos resolver uno de los problema a los que se enfrenta un piloto de la marina mercante a su llegada a una nave de gran velocidad, la adaptación a una nueva legislación solo aplicable a este tipo de buques y las diferencias a la hora de maniobrar con estos barcos.

A lo largo de mi vida profesional he tenido la suerte de trabajar en varias compañías, pasando por barcos de diversos tipos como son los buques Porta-contenedores, Carriers, Ro-Pax, Ro-Ro, Bulkcarrier y buques de alta velocidad. Si bien es cierto, que para casi todos existe una legislación aplicable solo a este tipo de buques, el momento en el que encontré los mayores problemas para realizar el cambio fue en el caso de los HSC. Esto fue debido a que para ellos existe una legislación un tanto especial y que poco tiene que ver con los buques convencionales.

Debido a los problemas con los que yo mismo me he encontrado a la hora de pasar de trabajar en un barco convencional a un buque de alta velocidad y a los que muchos de mis colegas de profesión se han tenido que enfrentar al igual que yo, me ha llevado a tratar de resolver este problema creando una pequeña guía de adaptación reuniendo información sobre la legislación aplicable a este tipo de buques y dar unas nociones básicas sobre las diferencias a la hora de la maniobra y construcción que nos vamos a encontrar.

Durante todo el recorrido a lo largo de este trabajo fin de grado, el lector encontrará las inevitables y específicas referencias a la Regulación Internacional en esta materia. Con ello nos referiremos tanto a la Regulación OMI como a la regulación del Estado de la Bandera y del Puerto.

También tendremos en cuenta alguna de las circunstancias actuales en el campo socioeconómico, tales como el ahorro de combustible y las

desventajas de este tipo de embarcaciones, fuente de rumores sobre la posible desaparición de este tipo de embarcaciones

Pudiendo decir que con esta guía, lo que voy a tratar de conseguir es hacer que el paso para un piloto de la marina mercante de un tipo de buque a otro sea menos traumático y mucho más accesible.

**CAPÍTULO II: ANTECEDENTES.**

## **2.1. EVOLUCIÓN Y REGULACIÓN DE LAS NAVES DE GRAN VELOCIDAD CON LOS AVANCES TECNOLÓGICOS.**

En este Capítulo, vamos a definir el concepto de Nave de Gran Velocidad y cómo ha ido evolucionando la regulación aplicable en relación con el avance tecnológico de estas.

Toda la regulación internacional en el ámbito marítimo ha sido históricamente basada en el tipo de buques convencionales. Esto es, casco de acero y controles operacionales y de maniobra mínimos. Además, este compendio de Reglamentos está diseñado para que se emita un certificado de aprobación relativo a la seguridad para el buque dándole a éste libertad operacional sin límites, con el único requisito de que renueve el certificado una vez caducado, si se mantienen dichas condiciones de seguridad, claro está (Montes de Oca, R. et al. 2014). Además el nuevo STCW, comúnmente denominado STCW2010, incorpora en la formación de los marinos un importante papel a la Seguridad Marítima (Madariaga, E. et al. 2014).

Pero van apareciendo nuevos tipos de embarcaciones con características especiales y los requisitos de seguridad van quedándose inaplicables o insuficientes. Dichos nuevos proyectos demostraron tener una capacidad operativa con un nivel de seguridad equivalente al de las construcciones convencionales de acero siempre y cuando se dediquen a efectuar viajes restringidos en condiciones meteorológicas operacionales limitadas y se ajusten a unos programas de mantenimiento y supervisión aprobados (OMI, 2014).

En el año 1977 la OMI aprobó el Código para Naves de Sustentación Dinámica, Código NSD (OMI,2014), en el que se reconocía que embarcaciones del tipo Hydrofoil o Jetfoil (Gonzalez, J.M., 2010) podrían mejorar notablemente sus condiciones de seguridad si se regularan los requisitos para la obtención del Certificado de Seguridad. A estos efectos, se limitó a este tipo de naves a desarrollar rutas comerciales regulares y con un rango de alcance determinado. La idea es no tener que disponer a bordo de

todo el equipo de emergencia necesario para hacer del buque un ente autosuficiente, como sucede en los buques convencionales.

**Fig. 1:** Imagen de un Hydrofoil.



**Fuente:** Transmediterranea, S.A.

**Fig. 2:** Imagen de un Jetfoil<sup>1</sup>.



**Fuente:** Transmediterranea, S.A.

<sup>1</sup> **Fig.1 y Fig.2:** La única diferencia entre ambos es el sistema de propulsión, por hélices en el primero y por bomba inyectora en el segundo. Son ejemplos de “naves asistidas” según el Código NVG 1994.

Como evolución del Código NSD, y debido a que el tamaño, velocidad, capacidad de carga, etc. de las embarcaciones iba en aumento se revisó el mismo dando lugar al Código Internacional de Seguridad para naves de gran velocidad de 1994, Código NGV 1994 (Organización Marítima Internacional, 1995). Como resultado de este se introdujeron dos principios:

En primer lugar, el tipo de nave considerado en el texto de 1977 tiene como peculiaridad que la asistencia para el salvamento es muy asequible y el número total de pasajeros es muy limitado (en concreto 450). Todo ello determinado por un rango operativo corto en relación con lo primero y un tamaño reducido relacionado con lo segundo. A este tipo de naves se las denominará en el nuevo Código como “naves asistidas” y van a constituir el grupo denominado “naves de pasaje de categoría A”.

En segundo lugar y como consecuencia del desarrollo tecnológico, se construyen Naves de Alta Velocidad de mayor porte con capacidad para cargar muchos más pasajeros con un rango de acción mayor. Ello lleva a que la asistencia para el salvamento no sea tan sencilla y exigen al buque precauciones activas y pasivas adicionales para la seguridad, tales como una zona de refugio seguro abordado, mayor estanqueidad e integridad estructural y una capacidad total de extinción de incendios.

Dichas naves son consideradas por el Código como “naves no asistidas” y constituyen los grupos denominados “naves de carga” y “naves de pasaje de categoría B”.

Como consecuencia del continuo desarrollo tecnológico de este tipo de buques y de acuerdo con el párrafo 1.15.1 del Código NVG 1994 (OMI, 2014), la OMI revisa este último y redacta el actual Código internacional de seguridad para Naves de Gran Velocidad 2000 (OMI 2014), aplicable a aquellas naves cuya quilla fuera colocada después del 1 de Julio de 2002.

El propósito de dicho Código es asegurar unas medidas de seguridad equivalentes a las prescritas para buques convencionales en el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida humana en el Mar de 1974 (OMI, 2014) con todas sus enmiendas y en el Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 1966.

**Fig. 3:** H.S.C. Snaefell.<sup>2</sup>



**Fuente:** Isle of Man Steam Packet Company.

Una vez descrita someramente la evolución de la reglamentación aplicable, veamos en qué casos un buque se rige de acuerdo con el NGV 2000 y, por tanto, se considera Nave de Gran Velocidad. Para empezar, todas aquellas naves de pasaje que se dediquen a viajes internacionales y que en el curso de su viaje no estén nunca a más de cuatro horas de un lugar de refugio a su velocidad normal de servicio y todas aquellas naves de carga de más de 500 T.R.B. que en el curso de su viaje a plena carga no estén a más de ocho horas de un lugar de refugio a su velocidad normal de servicio.

<sup>2</sup> **Fig.3:** Imagen del H.S.C. Snaefell, número de casco del astillero australiano de Incat Tasmania número 026 botado 1 de Junio de 1991. La capacidad de pasajeros es de 450 más 84 vehículos, notable aumento con respecto a los modestos Hydrofoil. Una construcción mucho más rígida y marinera le hacen alcanzar velocidades de hasta 37 nudos. El sistema "Wave piercing" de Incat aparece. La era de los ferri de alta velocidad empezaba.

Otro requisito fundamental es que su velocidad máxima en metros por segundo debe ser igual o superior al resultado de la siguiente expresión:

$$V_{\text{máx.}} \geq 3,7 \nabla^{0,1667}$$

Donde  $\nabla$  es el volumen de carena correspondiente a la flotación de proyecto.

El Código no será aplicable y por tanto no se consideran Naves de Gran Velocidad a las naves de guerra. El representante más claro en este caso es el “H.S.V. 2 Swift”, casco número 061 de Incat Australia para el transporte de tropas de la Marina Americana. Esta es a todos los efectos, tanto estructuralmente como por medios de propulsión, gobierno, servicios esenciales, etc., una embarcación de alta velocidad como las que se usan en el transporte de pasajeros, pero no se adhiere al reglamento al no ser buque civil.

**Fig. 4:** “H.S.V. 2 Swift”.



**Fuente:** Astilleros Incat Tasmania

**Fig. 5:** Incat casco número 060.<sup>3</sup>

Fuente: Astilleros Incat Tasmania

El Código no será aplicable igualmente ni a embarcaciones de recreo, de pesca ni, en definitiva, todas aquellas que no estén destinadas al tráfico comercial. Quedan excluidos por tanto los yates privados, embarcaciones deportivas tales como lanchas, motos de agua, etc. En el caso de los buques de pesca, no es usual que cumplan con los requisitos constructivos y operacionales, por lo tanto no son objetos de estudio.

Excluidos están también aquellos propulsados por otro medio que no sea mecánico y las construcciones primitivas de madera. En este apartado mencionamos aquellos veleros que por la velocidad que desarrollan y su escaso desplazamiento podrían sembrar la duda.

<sup>3</sup> **Fig. 4 y Fig. 5:** A la izquierda Imagen del "H.S.V. 2 Swift", número de casco del astillero australiano de Incat Tasmania número 061 botado el 12 de Agosto de 2003. A su derecha un buque gemelo, el casco número 060 botado el 19 de Noviembre de 2000 del mismo astillero pero dedicado al transporte de pasajeros. Uno es civil y se le aplica el NGV 2000 y al otro no, siendo buques exactamente iguales.

**CAPÍTULO III: OBJETIVOS.**

### **3.1. OBJETIVOS FUNDAMENTALES.**

El objetivo fundamental de este Trabajo Fin de Grado titulado “**GUÍA DE ADAPTACIÓN A LOS BUQUES DE ALTA VELOCIDAD**”, es que una vez finalizada su lectura, se pueda tener unas nociones básicas sobre la normativa aplicable a estas naves con características especiales, como lo son las naves de gran velocidad, pero que además se haya obtenido unos conocimientos sobre la hidrodinámica (González J.M.,2010) y manejo de las mismas.

A través de él, iremos recorriendo diversos pasos, primeramente nos detendremos en la legislación. En la cual podremos ver cual ha sido su evolución, a que barcos se aplica y por que. El siguiente paso será la hidrodinámica y los materiales empleados, donde podremos encontrar información sobre el comportamiento de este tipo de buques sobre el agua y sus limitaciones así como los tipos de materiales empleados en su construcción y por ultimo analizaremos como maniobra un catamarán de gran velocidad y sus movimientos principales a la hora de su manejo, para lo cual nos serviremos de el buque “Tarifa Jet” de la compañía FRS Iberia en la cual ejerzo como primer oficial en la actualidad (FRS Iberia, 2002).

Una vez recorrido este camino espero que el objetivo de haber conseguido realizar una pequeña guía de formación y adaptación, para el marino que disponga de unos conocimientos en buques convencionales, se haya alcanzado con éxito y que al menos los conocimientos básicos sobre una embarcación de gran velocidad se hayan alcanzado.

### **3.2. OBJETIVOS METODOLÓGICOS.**

Los Objetivos Metodológicos de este Trabajo Fin de Grado titulado “**GUÍA DE ADAPTACIÓN A LOS BUQUES DE ALTA VELOCIDAD**”, están basados en tres puntos fundamentales:

- Consulta bibliográfica, en diversos manuales, códigos internacionales y páginas web relativos a las naves de gran velocidad.

- Mi propia experiencia adquirida a lo largo de años trabajando en diversos tipos de buques como oficial y de navegación y primer oficial de cubierta.

- La inestimable ayuda de los capitanes y marineros que me ayudaron y me enseñaron a lo largo de mi formación y vida profesional al paso de los buques convencionales a las naves de gran velocidad.

A través de estos tres puntos tratare de realizar una guía de adaptación para que cualquier marino que se encuentre en la situación de tener que adaptarse a un buque de gran velocidad tenga los conocimientos básicos para poder hacerlo.

**CAPÍTULO IV: NORMATIVA APLICABLE A LAS NGV.**

#### **4.1. SOLAS: CAPITULO X “MEDIDAS DE SEGURIDAD APLICABLES A LAS NAVES DE GRAN VELOCIDAD”.**

Como convenio internacional para la Seguridad de la Vida Humana en la Mar (SOLAS)(OMI,2014), no podía obviar una categoría de buques, que ha evolucionado mucho en los últimos años y que se ha apropiado de muchas de las rutas de pasaje en todo el mundo, como son los buques de gran velocidad.

Es por ello que el SOLAS (OMI,2014) ha recogido una reglamentación de obligado cumplimiento considerando las características especiales de estos buques.

En este capítulo se recoge de una manera somera y meridiana los conceptos de las naves de gran velocidad y los convenios a los que están sujetos dependiendo de la fecha de construcción de este tipo de buques. El Capítulo X del SOLAS entró en vigor el 1 de enero de 1996 (OMI,2014).

##### ***Regla 1.***

##### ***Definiciones.***

*A efectos del presente capítulo regirán las siguientes definiciones:*

- 1. Código de Naves de Gran Velocidad 1994 (Código NGV 1994): el Código internacional de seguridad para naves de gran velocidad, adoptado por el Comité de Seguridad Marítima de la Organización mediante la resolución MSC.36(63), según sea enmendado por la Organización, a condición de que tales enmiendas sean adoptadas, entren en vigor y se hagan efectivas de conformidad con las disposiciones del artículo VIII del presente Convenio relativas a los procedimientos de enmienda del anexo, excepto el Capítulo I.*
- 2. Código de Naves de Gran Velocidad 2000 (Código NGV 2000): el Código internacional de seguridad para naves de gran velocidad*

2000, adoptado por el Comité de Seguridad Marítima de la Organización mediante la resolución MSC.97(73), según sea enmendado por la Organización, a condición de que tales enmiendas sean adoptadas, entren en vigor y se hagan efectivas de conformidad con las disposiciones del artículo VIII del presente Convenio relativas a los procedimientos de enmienda del anexo, excepto el Capítulo I.

3. *Nave de Gran Velocidad: nave capaz de desarrollar una velocidad máxima en metros por segundo (m/s) igual o superior a:*

$$\tilde{N} \geq 0,1167 V^{3,7}$$

$\tilde{N}$  = desplazamiento correspondiente a la flotación de proyecto (m<sup>3</sup>), exceptuando las naves cuyo casco está completamente sustentado por encima de la superficie del agua en la modalidad sin desplazamiento por las fuerzas aerodinámicas generadas por el efecto de superficie.

4. *Nave construida: toda nave cuya quilla haya sido colocada, o cuya construcción se halle en una fase equivalente.*
  
5. *La expresión cuya construcción se halle en una fase equivalente indica la fase en que:*
  - I. *comienza la construcción que puede identificarse como propia de una nave concreta; y*
  
  - II. *ha comenzado el montaje de la nave de que se trate, utilizando al menos 50 toneladas del total estimado del material estructural, o el 3 % de dicho total si este segundo valor es menor.*

**Regla 2.**

*Ámbito de aplicación.*

1. *El presente capítulo es aplicable a las siguientes naves de gran velocidad construidas el 1 de enero de 1996 o posteriormente:*
  - I. *naves de pasaje que en el curso de su viaje a plena carga no estén a más de 4 h de un lugar de refugio a la velocidad normal de servicio; y*
  - II. *naves de carga de arqueado bruto igual o superior a 500 que el curso de su viaje a plena carga no estén a más de 8 h de un lugar de refugio a la velocidad normal de servicio.*
  
2. *Toda nave en la que, independientemente de su fecha de construcción, se hagan reparaciones, reformas, modificaciones y las correspondientes instalaciones, tendrán que seguir cumpliendo como mínimo las prescripciones que le eran aplicables previamente. Dicha nave, si ha sido construida antes del 1 de julio de 2002, deberá, por norma, cumplir las prescripciones aplicables a una nave construida en esa fecha o posteriormente, en la misma medida por lo menos que antes que se le hicieran dichas reparaciones, reformas, modificaciones o las instalaciones correspondientes. Las reparaciones, reformas y modificaciones de carácter importante y las correspondientes instalaciones, deberán cumplir las prescripciones aplicables a las naves construidas el 1 de julio de 2002, o posteriormente, en la medida que la Administración estime razonable y factible.*

**Regla 3.**

*Prescripciones aplicables a las naves de gran velocidad.*

1. *No obstante lo dispuesto en los capítulos I a IV y en las reglas V/ 18, 19, 20:*

- I. *Se considerará que toda nave de gran velocidad construida el 1 de enero de 1996, o posteriormente, pero antes del 1 de julio de 2002, que cumpla en su totalidad las prescripciones del Código de Naves de Gran Velocidad 1994, que haya sido sometida a reconocimiento y a la que haya expedido un certificado de conformidad con dicho Código, ha cumplido lo prescrito en los capítulos I a IV y en las reglas V/18,19 y20. A los efectos de la presente regla, las prescripciones de dicho Código se considerarán obligatorias;*
  
  - II. *Se considerará que toda nave de gran velocidad construida el 1 de julio de 2002, o posteriormente, que cumpla en su totalidad las prescripciones del Código de Naves de Gran Velocidad 2000, que haya sido sometida a reconocimiento y a la que se haya expedido un certificado de conformidad con dicho Código, ha cumplido lo prescrito en los capítulos I a IV y en las reglas V/18, 19 y 20.*
2. *Los certificados y permisos expedidos en virtud del Código de Naves de Gran Velocidad tendrán idéntica validez y gozarán del mismo reconocimiento que los expedidos en virtud del capítulo I.(Capitulo X del SOLAS)*

Como dijimos anteriormente el SOLAS recoge los convenios a los que están sujetos dependiendo de la fecha de construcción este tipo de buques, de esta forma, establece que:

- en embarcaciones construidas entre el 1 de enero de 1996 hasta el 1 de julio de 2002 se acatarán al Código NGV de 1994,
  
- y las embarcaciones construidas o cuya reformas, modificaciones y reparaciones de carácter importante, desde el 1 de julio de 2002 hasta las fecha lo harán según el Código NGV 2000.

-

Como comentamos en la introducción, antes de que el SOLAS recogiera este tipo de buques existía el Código de Embarcaciones de Sustentación Dinámica, “Code of Safety for Dynamically Supported Craft. (DSC)” el cual, solo tenía un carácter de recomendación y no era de obligado cumplimiento como sucede con el SOLAS.

#### **4.2. CÓDIGO DE EMBARCACIONES DE SUSTENTACIÓN DINÁMICA. (NSD).**

En el año 1977 la OMI aprobó el Código para Naves de Sustentación Dinámica, Código NSD, en la 10ª asamblea de la OMI, mediante la Resolución A. 373 (X) del 14 de noviembre de 1977, en el que se reconocía que embarcaciones del tipo Hydrofoil o Jetfoil (González J.M., 2010), las cuales son unas naves que en condiciones operacionales normales se sustentan por encima de la superficie del agua con fuerzas hidrodinámicas generadas por aletas de soporte, podrían mejorar notablemente sus condiciones de seguridad si se regularan los requisitos para la obtención del Certificado de Seguridad, en este momento los convenios SOLAS y Líneas de Carga no se aplicaban en su totalidad. A estos efectos, se limitó a este tipo de naves a desarrollar rutas comerciales regulares y con un rango de alcance determinado. La idea es no tener que disponer a bordo de todo el equipo de emergencia necesario para hacer del buque un ente autosuficiente, como sucede en los buques convencionales.

El NSD (OMI, 2014) no es un código aplicable a las naves de alta velocidad, sino que solo se limita a las que cumpla con los siguientes requisitos y como recomendación, no como código de obligado cumplimiento:

- Naves cuyo peso, o una parte importante de éste, está contrarrestado por fuerzas distintas de la hidrostática.

- Naves que tengan una relación de  $V_{\text{máx}} \leq 0.9$

$$\frac{V_{\text{máx}}}{\sqrt{g \cdot L}}$$

$V_{\text{máx}}$ = Velocidad máxima.

$g$  = fuerza de gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).

$L$ = eslora de flotación de proyecto.

Este código se aplica a todas las naves de sustentación dinámica que:

- Transporten entre 12 y 450 pasajeros, con asientos para todos ellos.
- En el transcurso de su viaje no se alejen más de 100 millas náuticas de un lugar de refugio.

Como hemos dicho anteriormente, el Código de Sustentación Dinámica (OMI, 2014) era un código muy limitado por las características de los buques a los que se aplicaba, por lo que la natural evolución de los buques de alta velocidad llevó a la necesidad de un nuevo código, el Código de Naves de Gran Velocidad de 1994.

#### **4.3. CÓDIGO DE NAVES DE GRAN VELOCIDAD. “HSC, 1994”.**

Como consecuencia del desarrollo tecnológico, se construyen Naves de Alta Velocidad de mayor porte con capacidad para cargar muchos más pasajeros con un rango de acción mayor. Ello lleva a que la asistencia para el salvamento no sea tan sencilla y exigen al buque precauciones activas y pasivas adicionales para la seguridad. Todo esto lleva a la OMI a aprobar el 20 de mayo de 1994 mediante la resolución MSC. 36 (63) de la OMI el Código de Naves de Gran Velocidad 1994 (OMI, 2014), el cual se publica en España en el BOE nº 122 del 22 de mayo de 1998. En este código ya aparece una nueva definición para las naves de gran velocidad, definiendo

más ampliamente este tipo de buques y no solo limitándose a los que se sustentan dinámicamente. En este momento empieza a definirse como Nave de Gran Velocidad:

Nave capaz de desarrollar una velocidad máxima en metros por segundo (m/s) igual o superior a:

$$\tilde{N} \geq 0,1167 V^{3,7}$$

$\tilde{N}$  = desplazamiento correspondiente a la  
flotación de proyecto (m<sup>3</sup>)

Con la salvedad de las naves cuyo casco está completamente sustentado por encima de la superficie del agua en la modalidad sin desplazamiento por las fuerzas aerodinámicas generadas por el efecto de superficie.

Definición que también sería recogida por el SOLAS en su Capítulo X. Logrando abarcar muchos más buques y adaptándose a la realidad del momento.

El Código es de aplicación según se puede leer en el a todas las naves de gran velocidad que:

- Realicen viajes internacionales.
- A las de pasaje que en el curso de su viaje no estén a más de 4 horas de un lugar de refugio a velocidad normal de servicio.
- A las de carga de arqueo bruto igual o superior a 500 TRB que en el curso de su viaje no estén a más de 8 horas de un lugar de refugio a velocidad normal de servicio.

Hasta ahora hemos hablado de que en este código se modifica la definición de nave de gran velocidad, pero no quedan ahí los cambios, a través de la aparición de este código se produce un cambio en los certificados que deben poseer este tipo de barcos para su navegación.

Los buques de gran velocidad por lo general son barcos que realizan líneas regulares de corto recorrido, lo que ayuda a no necesitar infraestructuras a bordo como las que poseen los buques convencionales. El código recoge dos categorías de buques de gran velocidad:

- Categoría A: son las naves de pasaje de menos de 450 pasajeros que por la ruta que realizan si se debe evacuar al pasaje la embarcación (la Administración lo fijara en relación con las características meteorológicas de la zona en casos extremos para que el pasaje no sufra hipotermia) en cualquier punto de la ruta, esta no debe superar las 4 horas.
- Categoría B: son las de pasaje que no sean de categoría A que junto a las de, Naves de Carga: que obviamente no llevan pasaje, no cuentan con la facilidad de acceder a medios terrestres como las de Categoría A, es decir que las exigencias que deben soportar en lo que respecta a normativa serán menos rigurosas.

En el código se recogen una serie de prescripciones para que los buques se puedan someter a este código, las cuales son las siguientes:

- *“Se debe hallar siempre a una distancia razonable de un lugar de refugio.*
- *Que las zonas de riesgo de incendio irán protegidas con materiales piro-resistentes (“material incombustible” que no arde ni produce vapores inflamables en cantidad suficiente para su auto ignición cuando se calientan a una temperatura de 750° C aproximadamente).*

- *Se dispondrán sistemas de extinción de incendios.*
- *Que no se dispondrán literas cerradas para pasajeros y,*
- *Así como todos los pasajeros y tripulación tendrán asiento.”( Código Naves de Gran Velocidad “HSC 1994)*

Los certificados que deben poseer este tipo de embarcaciones en vigor son:

- Certificado de seguridad para naves de gran velocidad ( trata los requisitos técnicos de la nave).
- Permiso de explotación de naves de gran velocidad (trata los aspectos operacionales).

El código de Naves de Gran Velocidad recoge que este tipo de buques a de llevar a bordo los siguientes manuales:

- Manual operacional de la travesía.
- Manual de operaciones de la nave.
- Manual de Formación.
- Manual de Mantenimiento y programa de servicio.

Vamos a hablar un poco sobre que recoge cada uno.

#### **4.3.1. MANUAL OPERACIONAL DE LA TRAVESÍA.**

Este manual ha de recoger los aspectos operacionales y los procedimientos a llevar a cabo en el buque. En este manual encontramos un concepto muy importante como es las limitaciones operacionales del barco

según las condiciones meteorológicas y del entorno, identificación de la persona responsable, medidas de seguridad en las terminales, planes de contingencia, medidas para mantener las comunicaciones buque-tierra, etc...

#### **4.3.2. MANUAL DE OPERACIONES DE LA NAVE.**

En este manual se describe las características principales de la nave así como los quipos y sistemas que vamos a encontrar a bordo

#### **4.3.3. MANUAL DE FORMACIÓN.**

Como en todos los buques ya sean de gran velocidad o convencionales en este manual vamos a encontrar la información sobre los sistemas de control y lucha contra incendios, así como los procedimientos en caso de emergencia y una explicación de cómo han de ser utilizados correctamente cada uno de los equipos anteriormente detallados (Eurolineas Maritimes SAU, 1998).

#### **4.3.4. MANUAL DE MANTENIMIENTO Y PROGRAMA DE SERVICIO.**

En este manual encontraremos todos los procedimientos de mantenimiento que han de ser llevados a cabo en la nave. Se recogerán los mantenimientos diarios, semanales, mensuales y anuales.

#### **4.4. CÓDIGO DE NAVES DE GRAN VELOCIDAD, 2000 “HSC, 2000”.**

Este código viene a sustituir al anterior (HSC, 1994), el Comité de Seguridad Marítima de la OMI (“Maritime Safety Committee”, sus siglas son: MSC) enmendó el código anterior en su 74ª sesión redactando el texto que actualmente se conoce como “HSC, 2000”. En el se establece la obligatoriedad para las naves construidas o reformadas a partir del 1 de julio del 2002, para toda nave de gran velocidad que haya sido construida con

anterioridad a esta fecha continuará aplicándose el anterior código, el NGV de 1994. Este código entro en vigor a partir de el 1 de enero del 2003.

En este código se modifica aspectos relativos al equipamiento de los buques, añadiendo la obligación para las naves de nueva construcción de portar los siguientes equipos:

- Caja negra (Voyage Data Recorder, “VDR”).
  
- Determinadas publicaciones náuticas y cartas que hasta este momento no eran necesarias.
  
- Sistema de identificación automática (Automatic Identification System “AIS”).

#### **4.5. NORMATIVA ESPAÑOLA NGV.**

En España, la adopción de las normativas internacionales a la legislación nacional se hace vía Real Decreto. En este caso que nos atañe no ha sido menos y mediante el R.D. 1247/1999 publicado en el BOE 187 de 6 de agosto de 1999, a través de este RD sobre Reglas y Normas de Seguridad Aplicables a Buques de Pasaje se implementaron las normativas mencionadas anteriormente de los códigos de Sustentación Dinámica y Naves de Gran Velocidad a los buques que enarbolen pabellón español.

*“Las naves de pasaje de gran velocidad deberán cumplir las siguientes prescripciones:*

*1. Las naves de pasaje de gran velocidad construidas o reparadas, alteradas o modificadas sustancialmente a partir del 1 de enero de 1996 cumplirán las prescripciones que establecen las Reglas 2 y 3 del Capítulo X del Convenio SOLAS, 1974, salvo que concurran las*

*siguientes condiciones:*

**a)** *Su quilla haya sido colocada o cuya construcción se halle en una fase equivalente no más tarde de junio de 1998.*

**b)** *La entrega y la entrada en servicio haya tenido lugar no más tarde de diciembre de 1998.*

**c)** *Cumplan íntegramente las prescripciones del Código de seguridad para naves de sustentación dinámica (Código NSD) contenido en la Resolución A. 373 (X) de la OMI, enmendada por la Resolución MSC 37(63) de la misma Organización.*

*Apartado 1 del artículo 9 redactado por el apartado seis del artículo único del R.D. 457/2011, de 1 de abril, por el que se modifica el R.D. 1247/1999, de 16 de julio, sobre reglas y normas de seguridad aplicables a los buques de pasaje que realicen travesías entre puertos españoles («B.O.E.» 25 mayo). Vigencia: 29 junio 2011*

**2.** *Las naves de pasaje de gran velocidad construidas antes del 1 de enero de 1996 que cumplan las prescripciones del Código de naves de gran velocidad, continuarán operando certificadas con arreglo a dicho Código.*

*Cuando las naves de pasaje de gran velocidad construidas antes del 1 de enero de 1996, no cumplan las prescripciones del Código de naves de gran velocidad, no podrán realizar viajes nacionales, a menos que antes de dicha fecha ya estuviesen operando en viajes nacionales, en cuyo caso podrán continuar operando en el litoral español. No obstante, dichas naves deberán cumplir las prescripciones del Código DSC enmendado.*

**3.** *La construcción y mantenimiento de naves de pasaje de gran*

*velocidad y su equipo cumplirán las normas para la clasificación de las naves de gran velocidad de una organización reconocida o normas equivalentes aprobadas por Orden del Ministro de Fomento con arreglo a la disposición adicional primera del Real Decreto 2662/1998, de 11 de diciembre, sobre reglas y estándares comunes para las organizaciones de inspección y control de los buques y para las actividades correspondientes de la Administración marítima.” (Artículo 9 R.D 1247/1999)*

*Este R.D. define nave de pasaje de gran velocidad con la misma definición que el Capítulo X del SOLAS, pero aparece una gran diferencia con este ya que en el no se considera naves de gran velocidad si cumplen con estas tres condiciones:*

- 1. Navegar en zonas marítimas B, C o D.*
- 2. Tener un desplazamiento correspondiente a la flotación inferior a 500 metros cúbicos.*
- 3. Tener una velocidad máxima inferior a 20 nudos.*

*Nos cabría preguntar cual es la razón de esta distinción con respecto a los demás códigos y no es otra que eximir a pequeñas embarcaciones empleadas en el turismo para evitarles el coste de las reformas de adaptación a los códigos internacionales.*

*“A efectos de lo dispuesto en este Reglamento, se entiende por:*

- a) «Convenios internacionales»: el Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar (SOLAS) de 1974 y el Convenio internacional sobre líneas de máxima carga de 1966, junto con sus Protocolos y enmiendas vigentes.*
- b) «Código de estabilidad sin avería»: el código de estabilidad sin avería*

para todos los tipos de buque a los que se aplican los convenios de la Organización Marítima Internacional (OMI), aprobado por su Asamblea en el 18 período de sesiones, mediante Resolución A.749 (18) de 4 de noviembre de 1993.

c) «Código de naves de gran velocidad»: el Código internacional de seguridad para naves de gran velocidad, aprobado por el Comité de Seguridad Marítima de la OMI, mediante Resolución MSC 36 (63) de 20 de mayo de 1994.

d) «SMSSM»: el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima, según se prevé en el capítulo IV del Convenio SOLAS de 1974.

e) «Buque de pasaje»: buque mercante que transporte más de 12 pasajeros.

f) «Nave de pasaje de gran velocidad»: buque mercante de transporte de pasajeros capaz de desarrollar una velocidad máxima, en metros por segundo, igual o superior a:  $3,7V^{0,1667}$  (donde V representa, en metros cúbicos, el desplazamiento correspondiente a la flotación del proyecto).

No se consideran, sin embargo, naves de pasaje de gran velocidad los buques de pasaje que realicen viajes nacionales en zonas marítimas de clase B, C o D, cuando su desplazamiento correspondiente a la flotación de proyecto sea inferior 500 metros cúbicos, y cuando su velocidad máxima, tal como se define en el párrafo 1.4.30 del Código de naves de velocidad, no sobrepase los 20 nudos.

g) «Buque nuevo»: buque de pasaje cuya quilla esté colocada o que se encuentre en una fase de construcción equivalente con posterioridad al 30 de junio de 1998.

Se entiende que un buque se encuentra en fase de construcción equivalente cuando:

1. o Se ha iniciado la construcción identificable como propia de un buque concreto, o

2. o Ha comenzado el montaje del buque que suponga la utilización de

no menos de 50 toneladas del total estimado del material estructural, o un 1 por 100 de dicho total, si este segundo valor es menor.

h) «Buque existente»: buque que no sea nuevo conforme a lo previsto en la letra anterior.

i) «Reparaciones, alteraciones y modificaciones de importancia»: en el marco del capítulo II-1 del Convenio SOLAS 1974, cualquiera que sea su naturaleza o magnitud, en atención al efecto que provoque en el grado de compartimentado del buque.

j) «Pasajeros»: las personas que vayan a bordo de un buque, excepto los niños menores de un año, el capitán y los miembros de la tripulación, así como las personas empleadas u ocupadas a bordo del buque en cualquier cometido que esté relacionado con las actividades del mismo.

k) «Eslora del buque»: se considera eslora del buque, a menos que expresamente se indique lo contrario, el 96 por 100 de la longitud total de una flotación situada al 85 por 100 del menor puntal de trazado medido desde el canto superior de la quilla, o la longitud desde la cara de proa al eje de la mecha del timón a lo largo de dicha flotación, si esta última medida fuese mayor. En los buques de quilla inclinada, la flotación sobre la que se mida dicha longitud debe ser paralela a la flotación de proyecto.

l) «Altura de proa»: es la que se define en la regla 39 del anexo I del Convenio internacional sobre líneas de máxima carga de 1966, como la distancia vertical, en la perpendicular de proa, entre la flotación correspondiente al francobordo de verano asignado y al asiento de proyecto, y el canto alto en el costado, de la cubierta expuesta.

m) «Buque con cubierta completa»: el buque provisto de una cubierta completa, expuesta a la intemperie y al mar, dotada de medios permanentes de cierre de todas las aberturas en su parte expuesta a la intemperie y por debajo de la cual todas las aberturas existentes en los costados del buque están provistas como mínimo de medios permanentes de cierre estancos a la intemperie.

*La cubierta completa puede ser una cubierta estanca al agua o bien*

*una estructura equivalente compuesta por una cubierta no estanca al agua protegida íntegramente por una estructura estanca a la intemperie de resistencia adecuada para mantener esa estanqueidad y dotada de dispositivos que permitan cerrar las aberturas de manera estanca a la intemperie.*

*n) «Zonas marítimas»: las zonas definidas de conformidad con lo establecido en el apartado 2 del artículo 4.*

*No obstante, y a efectos de aplicación de las disposiciones en materia de radiocomunicaciones, se considerarán como zonas marítimas las definidas en la regla 2 del capítulo IV del Convenio SOLAS de 1974.*

*ñ) «Lugar de abrigo»: toda zona protegida natural o artificialmente, en la que pueda refugiarse un buque o nave en caso de peligro.*

*o) «Organización reconocida»: una organización reconocida de acuerdo con el Real Decreto 2662/1998, de 11 de diciembre, sobre reglas y estándares comunes para las organizaciones de inspección y control de buques y para las actividades correspondientes de la Administración marítima.*

*p) «Altura característica de las olas»: la altura media del tercio de las olas de mayor altura observadas durante un período determinado.*

*q) «Viaje nacional»: todo viaje por aguas marítimas entre un puerto de un Estado miembro de la Unión Europea y el mismo puerto u otro puerto situado en el mismo Estado miembro de la Unión Europea.*

*r) «Zona portuaria»: el espacio marítimo que abarca las zonas de servicios de los puertos situados en el litoral español, determinadas de acuerdo con la Ley 27/1992, de 24 de noviembre, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante, o por la normativa correspondiente de las Comunidades Autónomas sobre la materia.*

*s) «Estado de acogida»: el Estado miembro de la Unión Europea en cuyo territorio se encuentran los puertos entre los cuales efectúa un viaje nacional un buque o nave que enarbola el pabellón de otro Estado*

*miembro de la Unión Europea.” (Artículo 3 R.D 1247/1999)*

**CAPÍTULO V: GUÍA DE ADAPTACIÓN A LOS BUQUES DE GRAN VELOCIDAD.**

## **5.1. ESTABILIDAD Y MECÁNICA NAVAL.**

En este capítulo hablaremos de aquellas peculiaridades que hacen de la hidrostática e hidrodinámica de estos buques un aspecto a estudiar. La OMI exige que la Nave tenga una estabilidad suficiente que la permita operar en cualquiera de sus modalidades (con desplazamiento, sin desplazamiento y en la situación transitoria). Para ello se aceptan métodos de prueba tales como la simulación matemática del comportamiento dinámico, los ensayos con modelos a escalas y los ensayos a escala real.

En la segunda parte del mismo se describen las características principales en cuanto a construcción naval se refiere, así como a materiales utilizados en la construcción, etcétera.

### **5.1.1. ESTABILIDAD.**

Cuando se estudia el comportamiento hidrodinámico (González J.M., 2010) de estas embarcaciones, hay ciertos peligros que no sufren habitualmente los buques convencionales y que es necesario nombrar para el conocimiento del futuro Oficial o Capitán de NGV, tales como:

- Pérdidas de gobierno, caídas al través e inmersión de la proa como consecuencia de navegar con la mar de popa a velocidad similar a la de la ola.
- Reducción en las Naves monocasco de la estabilidad transversal debido al aumento de la velocidad.
- Marsopeo, que es una combinación de movimientos de cabeceo y oscilación vertical que puede llegar a ser violento.
- Codillazo, que provoca un fuerte momento escorante cuando una Nave que planea sumerge un codillo de pantoque.
- Inestabilidad en los catamaranes debido al momento hidrodinámico creado como resultado de la circulación de agua sobre los cascos inferiores sumergidos.

- Reducción del KM de los buques de efecto superficie en giros a gran velocidad, produciendo rigidez de balance y como consecuencia repentinas escoras incontroladas.

Todos los efectos negativos se pueden reducir con el uso de estabilizadores, alerones, quillas de balance y otros medios tanto fijos como móviles.

#### **5.1.1.1. HIDROSTÁTICA DE LAS NAVES HIDROALA.**

En cuanto al estudio hidrostático, veamos los requisitos que nos presenta el Código dependiendo si el buque es hidroala, monocasco o multicasco (González J.M., 2010).

##### **5.1.1.1.1. MODALIDAD DE FLOTACIÓN SOBRE EL CASCO.**

Desde el punto de vista hidrostático y en la modalidad de flotación sobre el casco, se asemejan bastante a las naves monocasco convencionales, tanto por comportamiento como por la velocidad que desarrollan. Pero hay varios aspectos a considerar que resultan algo especiales.

En primer lugar hablaremos del momento escorante producido por un giro de la nave. La siguiente fórmula es sólo aplicable si la relación entre el radio del círculo de giro y la eslora de la nave es de 2 a 4.

$$M_R = 0.196 \frac{V_o}{L} \Delta \text{ KG}$$

Donde  $M_R$  es el momento escorante y  $V_o$  es la velocidad de la Nave durante el giro en m/s. Las demás variables nos son conocidas.

En segundo lugar hablaremos de la escora producida por el viento. La siguiente fórmula nos da un momento  $M_V$  que se considerará constante para toda la gama de ángulos de escora.

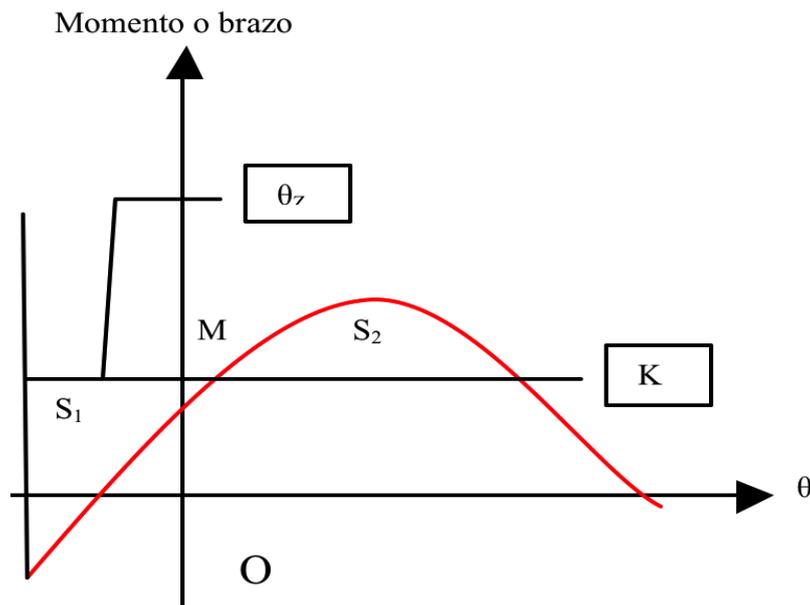
$$M_V = 0.001 P_V A_V Z$$

Donde la presión del viento  $P_V$  viene dada por la expresión:

$$P_V = 750 \left( \frac{V_W}{26} \right)^2$$

$A_V$  es la superficie expuesta al viento en  $m^2$ ,  $Z$  es la distancia del centro velico a la flotación y  $V_W$  la velocidad del viento en las peores condiciones previstas en m/s.

**Fig. 6:** Curva de estabilidad estática para una NGV del tipo hidroala en modalidad con desplazamiento.



Fuente: Autor.

En tercer lugar, hallaremos el mínimo momento escorante o como lo llama el Código, el momento mínimo de zozobra o  $M_C$ . Tenemos dos opciones: partiendo de la curva de estabilidad estática o de la curva de estabilidad dinámica.

Si partimos de la curva de estabilidad estática,  $M_C$  se calcula igualando las áreas  $S_1$  y  $S_2$  situadas bajo las curvas de los momentos escorantes y adrizantes y tomando en consideración el balance.

$\theta_z$  es la amplitud del balance y  $MK$  es una línea trazada paralelamente al eje de abscisas de manera que las áreas  $S_1$  y  $S_2$  sean iguales.  $M_C$  será  $OM$  si la escala de ordenadas representa momentos y  $OM \times \Delta$  si la escala de ordenadas representa brazos.

Si partimos de la curva de estabilidad dinámica, primero determinaremos el punto auxiliar  $A$ . Trazaremos hacia la derecha la amplitud de la escora a lo largo del eje de abscisas, obteniendo  $A'$ .

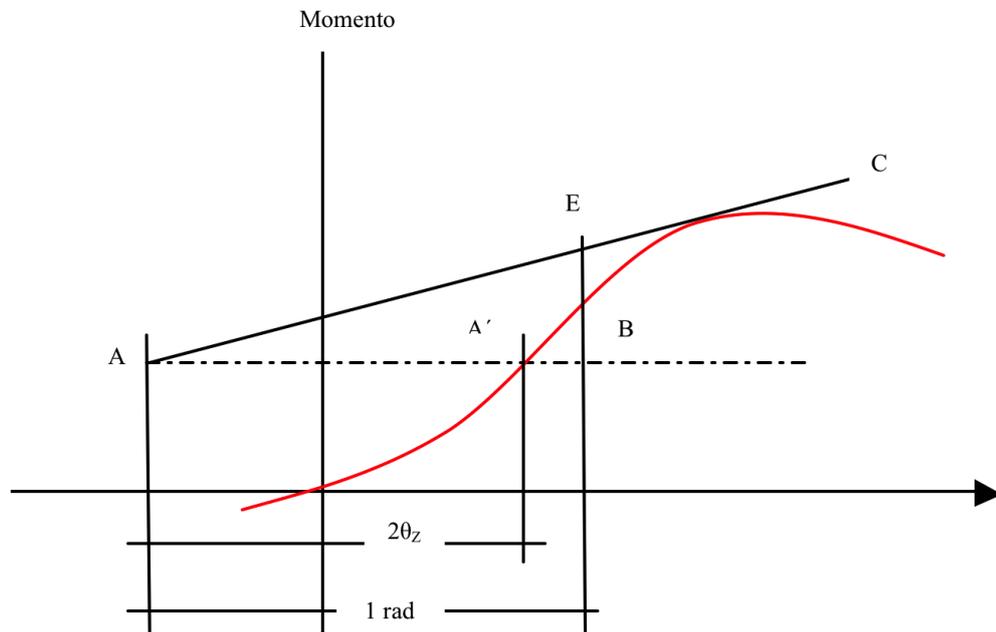
Paralelamente al eje de abscisas se traza una línea  $AA'$  igual al doble de la amplitud de la escora ( $AA' = 2\theta_z$ ), obteniéndose así el punto auxiliar  $A$ . Se traza la tangente  $AC$  a la curva de estabilidad dinámica y desde el punto  $A$  se traza la recta  $AB$  paralela al eje de abscisas e igual a un radián ( $57,3^\circ$ ). Desde el punto  $B$  se traza una perpendicular que corte a la tangente en el punto  $E$ .

La distancia  $BE$  será igual al momento de escora midiéndolo a lo largo del eje de ordenadas de la curva de estabilidad dinámica.

La amplitud del balance  $\theta_z$  se determina con ensayos reales navegando con la mar de costado en las peores condiciones previstas en el permiso de explotación y seleccionando la mayor de 50 oscilaciones. Si no se disponen de estos datos se tomará  $15^\circ$  como valor aproximado.

$\theta$

**Fig. 7:** Curva de estabilidad dinámica para una NGV del tipo hidroala en modalidad con desplazamiento.



Fuente: Autor

#### **5.1.1.1.2. MODALIDAD DE TRANSICIÓN Y DE SOPORTE SOBRE ALETAS SUSTENTADORAS.**

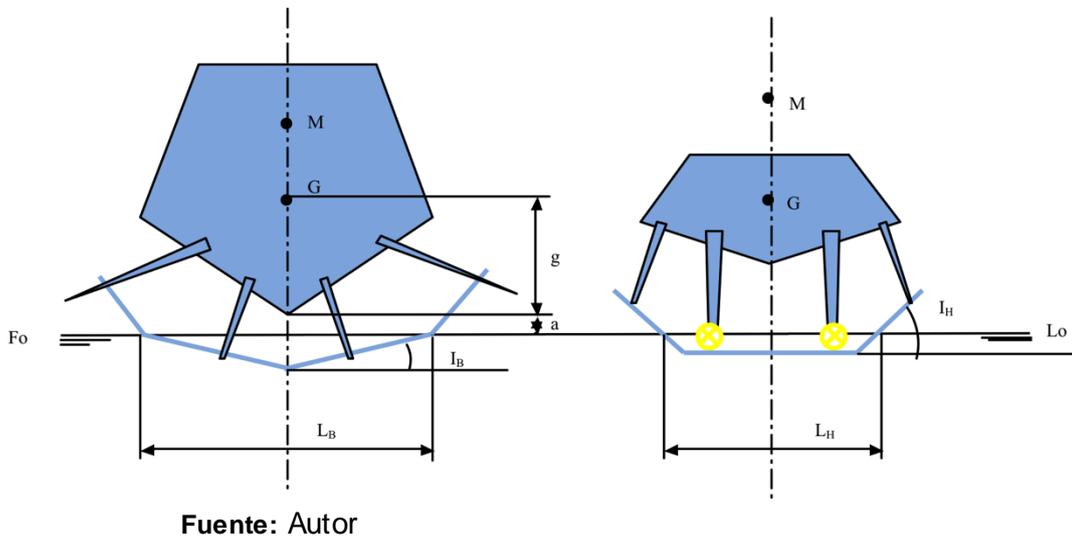
Los datos de estabilidad en la modalidad de transición se obtendrán mediante ensayos con modelos a tamaño real y en todas las condiciones de carga bajo las cuales el buque pueda operar.

El ángulo de escora máximo permitido por acumulación de pasajeros en una banda será de  $12^\circ$  para esta modalidad.

En el caso de la modalidad de soporte sobre aletas sustentadoras este ángulo de escora máximo será de  $8^\circ$ .

Para el cálculo de la altura metacéntrica GM, el Código sugiere el siguiente dialogo. Veamos la siguiente figura:

**Fig. 8:** Sección transversal a la altura de la aleta sustentadora delantera a la izquierda y sección transversal a la altura de la aleta sustentadora trasera a la derecha.



Después de observar la figura anterior, consideraremos la siguiente expresión para el cálculo del GM:

$$GM = n_B \left( \frac{L_B}{2 \tan I_B} - S \right) + n_H \left( \frac{L_H}{2 \tan I_H} - S \right)$$

Donde:

- $n_B$  es la carga soportada por la aleta sustentadora delantera.
- $n_H$  es la carga soportada por la aleta sustentadora trasera.
- $L_B$  es la manga de flotación de la aleta sustentadora delantera.
- $L_H$  es la manga de flotación de la aleta sustentadora trasera.
- $a$  es la altura libre entre la quilla central y la flotación.
- $g$  es lo que en buques convencionales llamamos KG.
- $I_B$  es el ángulo que forma la aleta sustentadora delantera con respecto

a la flotación.

- $I_H$  es el ángulo que forma la aleta sustentadora trasera con respecto a la flotación.
- $S$  es a + g, es decir, la altura del centro de gravedad sobre la flotación.

### **5.1.1.2. HIDROSTÁTICA DE LAS NAVES MULTICASCO.**

Criterios de estabilidad sin avería.

El Código (Código de Naves de Gran Velocidad "HSC, 2000) (OMI, 2014) exige a las Naves del tipo multicasco (Catamaranes y trimaranes) que tengan una estabilidad sin avería (Bureau Veritas, 2001) suficiente en las peores condiciones de mar y viento previstas en el permiso de operación aun perjudicada por la aglomeración de pasajeros en una banda.

El primero de los requisitos es que el área  $A_1$  encerrada bajo la curva GZ tiene que ser mayor o igual al resultado de la siguiente expresión expresada en  $m \times rad$ :

$$A_1 = 0,055 \times (30^\circ) / \theta$$

Donde  $\theta$  es el menor de los ángulos siguientes:

- Ángulo de inundación descendente.
- Ángulo al que se da el máximo GZ.
- $30^\circ$ .

El segundo requisito es que el GZ máximo corresponda a un ángulo de  $10^\circ$  como mínimo.

Veamos ahora un caso real aplicado. Haremos el estudio hidrostático a un catamarán de alta velocidad de la serie de 86 metros de Incat Australia, en concreto el casco 43 (Bureau Veritas, 2001). Las condiciones son

máxima carga, es decir, 777 pasajeros con una masa media ponderada de 75 Kg cada uno más un equipaje de 15 kilogramos por cabeza y 177 vehículos de tamaño medio del tipo turismo con una masa de 1250 kilogramos cada uno. Se tienen en consideración por supuesto agua dulce, provisiones, combustible, etc. Entramos en las curvas hidrostáticas proporcionadas por el astillero para un trimado de 0,25 metros positivo para obtener las coordenadas iniciales y usando el siguiente formulario obtenemos las siguientes tablas de pesos y coordenadas finales:

- $GG_v = MSL / \sin \theta \times \cos \theta$
- $KG_i + GG_v = KG_f$
- $KM - KG_f = GM_f$
- $GZ_f = KN - KG_f \times \sin \theta$
- $M_{to} = p \times d$

| DESCRIPCIÓN                             | PESO   | KG     | MOMENTO VERTICAL | XG     | MOMENTO LONGITUDINAL | M.S.L. |
|---|--------|--------|------------------|--------|----------------------|--------|
| <b>PASAJEROS Y EQUIPAJES</b>            |        |        |                  |        |                      |        |
| 777 x 75 kg                             | 58,275 | 12,700 | 740,09           | 23,290 | 1357,22              | 0      |
| 777 x 15 kg                             | 11,655 | 12,700 | 148,02           | 23,290 | 271,44               | 0      |
| 23 tripulantes y sus efectos            | 2,070  | 12,700 | 26,29            | 43,200 | 89,42                | 0      |
| <b>VEHÍCULOS</b>                        |        |        |                  |        |                      |        |
| Cubierta 1:<br>120 coches x 1250 kg/un. | 150,00 | 7,936  | 1190,40          | 36,000 | 5400,00              | 0      |
| Cubierta 2:<br>38 coches x 1250 kg/un.  | 47,50  | 10,570 | 502,08           | 54,280 | 2578,30              | 0      |
| Cubierta 3:<br>19 coches x 1250 kg/un.  | 23,750 | 12,820 | 304,48           | 53,720 | 1275,85              | 0      |
| <b>Almacenes del bar</b>                | 2,000  | 14,500 | 29,00            | 43,200 | 86,40                | 0      |

|   |                |              |                |               |                 |               |
|---|----------------|--------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|
| Almacenes del Duty Free                   | 10,000         | 11,500       | 115,00         | 40,200        | 402,00          | 0             |
| Almacenes del kiosco de tabaco            | 5,000          | 11,500       | 57,50          | 20,400        | 102,00          | 0             |
| Almacén de productos variados             | 18,278         | 7,936        | 145,05         | 60,000        | 1096,68         | 0             |
| Combustible generadores                   | 1,440          | 4,921        | 7,09           | 26,957        | 38,82           | 0,360         |
| Aceite lubricante                         | 1,382          | 6,311        | 8,72           | 26,957        | 37,25           | 0,320         |
| Combustible babor                         | 25,475         | 1,958        | 49,88          | 31,790        | 809,85          | 10,252        |
| Combustible estribor                      | 25,475         | 1,958        | 49,88          | 31,790        | 809,85          | 10,252        |
| Agua dulce babor                          | 5,000          | 5,855        | 29,28          | 30,031        | 150,16          | 0,600         |
| Sullage estribor                          | 0              | 5,855        | 0,00           | 30,031        | 0               | 0,600         |
| <b>Total para Peso Muerto</b>             | <b>387,30</b>  | <b>8,786</b> | <b>3402,75</b> | <b>37,452</b> | <b>14505,25</b> | <b>22,384</b> |
| <b>Buque en lastre</b>                    | <b>862,70</b>  | <b>6,810</b> | <b>5874,99</b> | <b>27,030</b> | <b>23318,78</b> | <b>0</b>      |
| <b>Total en maxima carga maxima carga</b> | <b>1250,00</b> | <b>7,422</b> | <b>9277,73</b> | <b>30,259</b> | <b>37824,03</b> | <b>22,38</b>  |

Fuente: Autor

Fig. 9: Tabla de pesos y coordenadas iniciales y finales en una Nave de Gran Velocidad del tipo multicasco catamarán.

|                                  |               |
|----------------------------------|---------------|
| <b>KG INICIAL</b>                | <b>7,422</b>  |
| Corrección Superficies<br>libres | 0,018         |
| <b>KG final</b>                  | <b>7,440</b>  |
| <b>KM</b>                        | <b>54,319</b> |
| <b>GM final</b>                  | <b>46,879</b> |

Fuente: Autor.

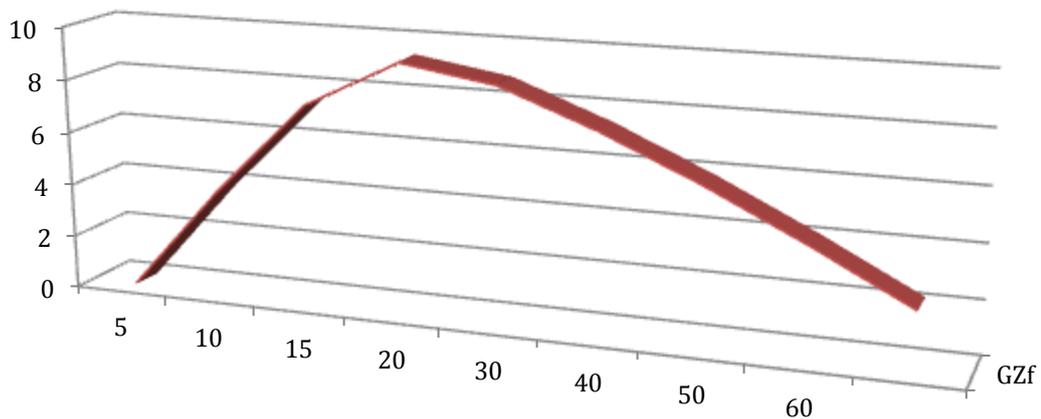
| ÁNGULO | 0 | 5      | 10     | 15     | 20     | 30     | 40     | 50     | 60     |
|--------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sin □  | 0 | 0,0871 | 0,1736 | 0,2588 | 0,3420 | 0,500  | 0,6428 | 0,7660 | 0,8660 |
| KN     | 0 | 4,64   | 8,809  | 11,235 | 11,290 | 11,118 | 10,602 | 9,759  | 8,621  |
| KGf    | 0 | 0,648  | 1,292  | 1,925  | 2,545  | 3,720  | 4,782  | 5,699  | 6,443  |
| GZf    | 0 | 3,992  | 7,517  | 9,310  | 8,745  | 7,398  | 5,820  | 4,060  | 2,178  |

Fuente: Autor.

Como resultado de los datos anteriores, podemos elaborar la curva de

brazos GZ para determinar la estabilidad de la Nave y si cumple con los criterios requeridos. Véase la siguiente tabla y la correspondiente curva de brazos GZ:

**Fig. 10:** Curva de brazos Gz para el casco número 043 de Incat. Gz máximo a 16° de inclinación.



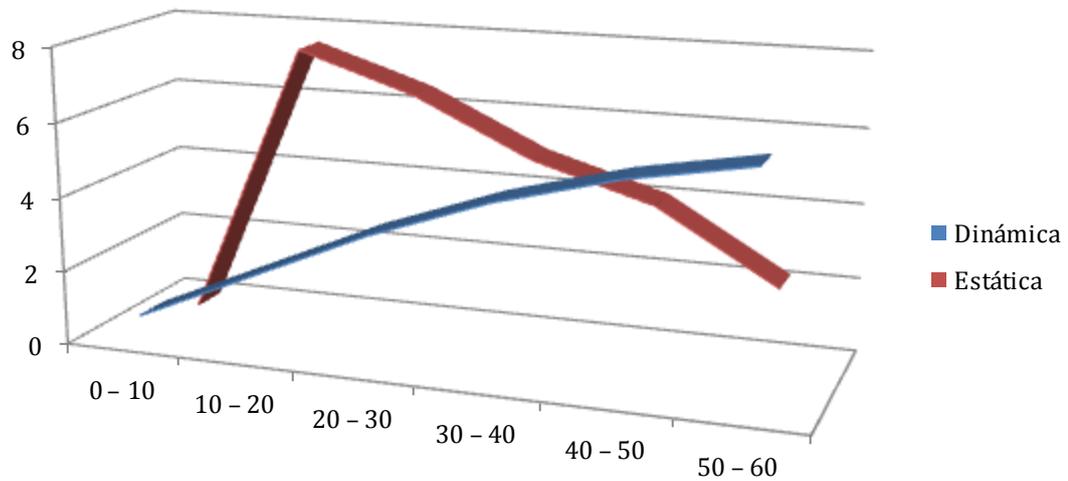
**Fuente:** Autor.

Resolviendo por el sistema de trapecios por ejemplo, se extrae como conclusión que cumple con lo establecido con respecto al Gz máximo y también con lo establecido respecto al área bajo la curva Gz y hasta la inclinación de 16°. Analizando la curva de estabilidad dinámica para las mismas condiciones de carga, veremos que el ángulo máximo de escora es muy alto (Por encima de 40°).

|         | <b>GZ<br/>PROMEDIO</b> | <b><math>\frac{10^\circ \times \square}{180^\circ}</math></b> | <b>DP</b> | <b>DT</b> |
|---------|------------------------|---|-----------|-----------|
| 0 – 10  | 3,76                   | 0,1745  | 0,66      | 0,66      |
| 10 – 20 | 8,13                   | 0,1745  | 1,42      | 2,08      |
| 20 – 30 | 8,07                   | 0,1745  | 1,41      | 3,49      |
| 30 – 40 | 6,61                   | 0,1745  | 1,15      | 4,64      |
| 40 – 50 | 4,94                   | 0,1745  | 0,86      | 5,5       |
| 50 – 60 | 3,39                   | 0,1745  | 0,59      | 6,09      |

**Fuente:** Autor.

**Fig. 11:** Curva de estabilidad dinámica frente a la de estabilidad estática del casco número 043 de Incat.



**Fuente:** Autor

La OMI también nos describe la expresión para el cálculo del brazo escorante producido por el viento. Se supondrá constante para todos los ángulos de inclinación y se calcula de la siguiente manera:

$$HL_1 = \frac{P_i AZ}{9800\Delta} \qquad HL_2 = 1,5HL_1$$

Donde:

- $HL_1$  es el brazo escorante debido al viento en metros.
- $HL_2$  es el brazo escorante debido a las ráfagas instantáneas.
- $P_i$  es la presión que ejerce el viento sobre la obra muerta y tiene la siguiente expresión en  $N/m^2$ :

$$P_i = 500 \left( \frac{V_w}{26} \right)^2$$

- $V_w$  es la velocidad del viento correspondiente a las peores condiciones previstas en m/s.
- $A$  es el área lateral proyectada de la parte de la obra muerta expuesta al viento en  $m^2$ .
- $Z$  es la distancia vertical entre el centro geométrico de  $A$  y un punto situado a la mitad del calado mínimo de servicio en m.
- $\Delta$  es el desplazamiento como ya sabemos expresado en t.

Dicho brazo escorante no deberá producir una escora mayor de  $10^\circ$ , incluyendo las ráfagas.

Para el cálculo del brazo escorante producido por un giro a alta velocidad utilizaremos la siguiente fórmula o bien un método equivalente basado en pruebas con modelos adecuados.

$$TL = \frac{1}{g} \frac{V_o^2}{R} \left( KG - \frac{d}{2} \right)$$

Donde:

- $TL$  es el brazo debido al giro en m.
- $V_o$  la velocidad de la Nave durante el giro en m/s.
- $R$  es el radio de giro en m.
- $d$  es el calado medio en m.

- $g$  es la aceleración debido a la gravedad en  $m/s^2$

### **5.1.1.3. HIDROSTÁTICA DE LAS NAVES MONOCASCO.**

Criterios de estabilidad sin avería (Bureau Veritas, 1997).

En cuanto al brazo escorante producido por el viento, el valor de la presión del viento será la misma, pero se tendrán en cuenta las características de amortiguación de los balances en cada tipo de nave en particular. En este campo intervienen notablemente dispositivos como estabilizadores, cascos laterales inmersos, aletas, etc. En dicho supuesto, los datos se hallaran mediante cálculos con modelos a escala y si no, se adoptará un valor por defecto de  $15^\circ$ .

El área bajo la curva de brazos adrizantes (curva GZ) no será inferior a  $0,07 \text{ m} \times \text{rad}$  hasta  $\theta = 15^\circ$  cuando el brazo adrizante máximo corresponda a  $\theta = 15^\circ$ , y  $0,055 \text{ m} \times \text{rad}$  hasta  $\theta = 30^\circ$  cuando el brazo adrizante corresponda a  $30^\circ$  o más. Cuando el brazo adrizante máximo corresponda a ángulos comprendidos entre  $\theta = 15^\circ$  y  $\theta = 30^\circ$ , el área correspondiente bajo la curva de brazos adrizantes será:

$$A_1 = 0,055 + 0.001 (30^\circ - \theta_{\text{Max}})$$

Donde  $\theta_{\text{Max}}$  es el ángulo de escora en grados con el que la curva de brazos adrizantes alcanza su punto máximo.

El área bajo la curva de brazos adrizantes entre  $\theta = 30^\circ$  y  $\theta = 40^\circ$ , o entre  $\theta = 30^\circ$  y el ángulo de inundación  $\theta_f$ , si este ángulo es inferior a  $40^\circ$ , no será inferior a  $0,03 \text{ m} \times \text{rad}$ .

El brazo adrizante GZ será como mínimo de 0,2 m para un ángulo de escora igual o superior a 30°.

El brazo adrizante máximo corresponderá a un ángulo de escora no inferior a 15°.

La altura metacéntrica inicial  $GM_T$  no será inferior a 0,15 m.

### **5.1.2. MECÁNICA NAVAL.**

Como bien sabemos los barcos se mantienen a flote por el principio de Arquímedes, desplazando un volumen de agua, el cual es igual al del volumen del barco mismo. Pero cuando hablamos de los barcos de tipo hidroala, jetfoil o catamaranes la cosa empieza a cambiar.

A lo largo de este apartado voy a tratar de explicar las diferencias que existen en la navegación de este tipo de buques con los buques convencionales, para ello me voy a detener en cada uno de los tipos de buques nombrados anteriormente.

#### **5.1.2.1. HIDROALA O JETFOIL:**

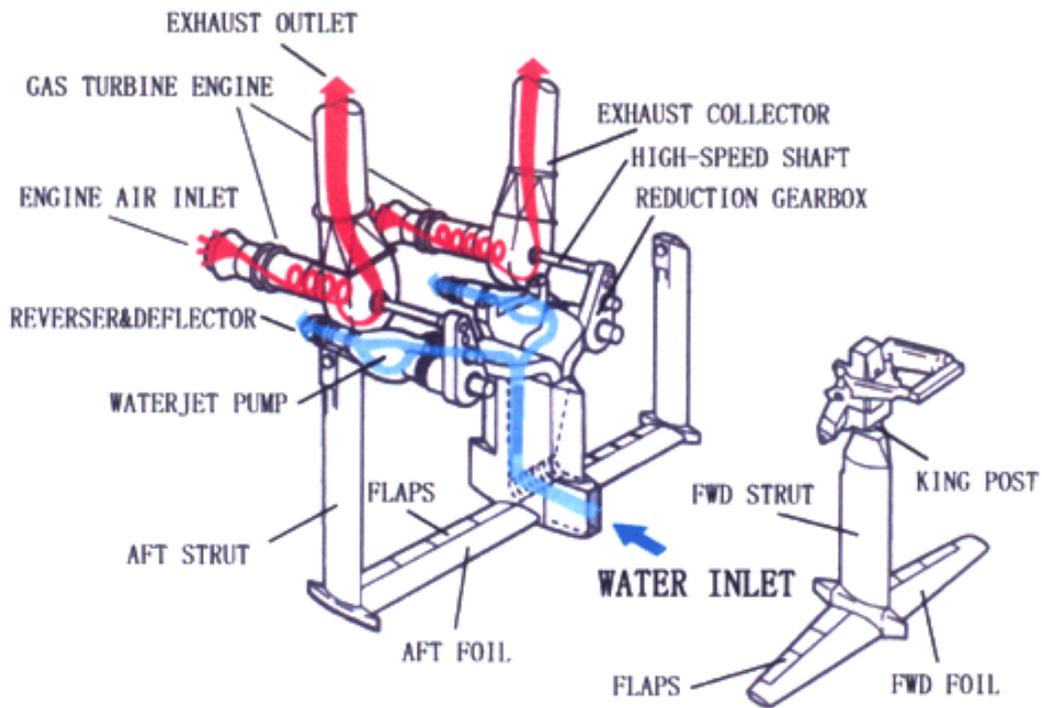
Los buques tipo hidroala disponen de unas alas o patines las cuales se encuentran sumergidas cuando el buque se encuentra navegando a velocidades bajas o fondeado, pudiendo decir que en estas condiciones este tipo de embarcaciones se comportan exactamente igual que cualquier buque convencional.

Pero las diferencias comienzan cuando este tipo de buques navegan a su velocidad de crucero, momento en el cual dichas “alas” sumergidas sostienen al buque elevado sobre el agua mientras el buque tenga la suficiente velocidad. Con esto se consigue que el buque presente menos

resistencia a las olas al estar elevado y permite alcanzar grandes velocidades.

Fig. 12: Imagen de un foil y su sistema de propulsión.

## Submerged foil and propulsion system



Fuente: Manual de formación HSC "Tarifa Jet" (FRS Iberia, 2002)

Se puede decir que es similar al funcionamiento de un avión, ya que en los aviones con el movimiento de los flaps y de las alas consiguen desplazar el aire a lo largo del fuselaje el cual hace que el avión se mantenga planeando, mientras que en este tipo de buques lo que conseguimos es que con ayuda de los foils y de unas pequeñas aletas que poseen estos foils generen la suficiente fuerza para levantar el buque en el aire con la fuerza que genera la turbina, la cual impulsará al barco debido a la propulsión a chorro que dicha turbina lanza sobre la superficie del mar.

Cuando la energía generada por la fuerza de la turbina es igual al peso del buque, este comienza a planear reduciendo la superficie que presentará

resistencia al mar, con lo que al ser menor la resistencia, conseguimos que el barco aumente su velocidad consiguiendo grandes velocidades con mucha menos energía. De esta forma queda claro que será necesaria muchas más potencia para el inicio del planeo que para mantenerlo durante el viaje.

Si analizamos los tipos de carenas que nos vamos a encontrar todos los tipos de buques, podremos diferenciar las embarcaciones en 3 tipos:

- Carenas de planeo.
- Carenas de semiplaneo.
- Carenas de desplazamiento.

Las carenas de planeo son aquellas que a la hora de navegar el casco se encontrará con su mayor parte fuera del agua, este es el caso de los jetfoil o hidroalas.

Las carenas de semiplaneo son aquellas que a la hora de navegar el casco se encuentra 50% sumergido y el otro 50% fuera del agua.

Y por último, las carenas de desplazamiento, que son las que encontramos en los buques convencionales, y que son aquellas que a la hora de navegar el desplazamiento del buque no diferencia mucho del de el buque parado.

Una constante que vamos a encontrar en todos los tipos de carenas de planeo será que lo largo del casco vamos a encontrar lo denominado como redanes. Los redanes (Masmar, 2008) son unas líneas realizadas sobre la

superficie del casco las cual contribuirán a que el buque tenga un menor contacto con la superficie del mar, como cabe pensar la instalación de estos redanes son para conseguir aun mayor velocidad a la hora de la navegación.

**Fig. 13:** “Princesa Teguisse” de la compañía Trasmediterránea.<sup>4</sup>



**Fuente:** Trasmediterranea

#### **5.1.2.2. CATAMARANES.**

Los buques que denominamos como catamaranes son aquellos que están constituidos por dos cascos unidos por un marco. Pero esta es una idea muy general que sirvió para que los astilleros evolucionaran hacia buques como son los FOILCAT o los WAVE – PIERCING con dos cascos flotantes.

Una constante que vamos a encontrar en este tipo de buques es que por construcción van a tener una velocidad promedio mayor que un buque convencional pero lo más importante que son buques muy estables.

<sup>4</sup> Fig. 13: Se puede observar como los foils están fuera del agua y los chorros sustentan el buque. Además, podemos ver los redanes longitudinales y transversales del barco.

Estas dos facetas enumeradas anteriormente han llevado a que la mayor parte de los buques de gran velocidad que se construyen actualmente para sus empleos como buques de pasaje sean catamaranes. Estos barcos consiguen alcanzar grandes velocidades siendo su máximo exponente el buque de la compañía Buque Bus, “Francisco” el cual consigue alcanzar unas velocidades de 58 nudos teniendo capacidad para cargar 1000 pasajeros y 150 coches en su interior.

Esta velocidad es lograda por el uso de motores de gas liquido, e uso de este combustible en los barcos esta aun en sus inicios, por lo que los catamaranes utilizados para usos comerciales hasta ahora lo hacían consumiendo como combustible el gasoil.

**Fig. 14:** “Francisco” de la compañía Buque Bus.



**Fuente:** Buquebus Argentina

Los wave-piercing son barcos que tienen una flotabilidad reducida en las partes delanteras. Estos buques cuando se encuentra una ola, la falta de dinamismo hace que el casco perfora a través del agua en lugar de montar a caballo en la parte superior lo que hace que su conducción sea más suave que en los diseños tradicionales y que los esfuerzos en los cascos

disminuyan en este tipo buque. Todo esto también hace reducir la resistencia a las olas lo que hace que sus velocidades sean más altas.

Todas las teorías aplicadas al diseño de estos buques requieren que se trate de cascos con mucha eslora y poca manga.

Si quisiéramos nombrar alguna de las deficiencias de este tipo de buques sería que debido a su flotabilidad reducida estos barcos no se elevan por encima de las olas, lo que hace que dejen de ser operativos con alturas de ola relativamente bajas.

Las principales áreas en las que vamos a ver este tipo de buques serán para uso como transbordadores de pasaje o para naves militares.

**Fig. 15:** "Foilcat 2900" construido por Westamarin.



**Fuente:** Westamarine Shipyard

**Fig. 16:** “Jaume I” ejemplo de wave-piercing construido por Incat. Tasmania.



**Fuente:** Eurolinies Maritimes SAU Balearia (Manual de Formación “Jaume III)

### **5.1.2.3. TIPOS DE MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN.**

Mientras que el acero es el tipo de material empleado por excelencia en los grandes buques por su resistencia en los barcos de gran velocidad se emplea como elemento principal el aluminio. Los buques de aluminio bien diseñados pueden llegar a ser aun más resistentes que el propio acero.

En los buques de acero encontramos que es muy importante el tratamiento anti oxidación ya que de esto dependerá la duración del casco, sin embargo en los buques de aluminio estos resisten extremadamente bien la corrosión y no es casi necesario ningún tratamiento específico. Actualmente se emplean las aleaciones del aluminio 5086 o 5083, dichas aleaciones son menos resistentes que otras aleaciones del acero como puede ser el acero 6000 pero lo que perdemos en resistencia lo ganamos en tratamiento anti corrosión, ya que estos tipos de aleaciones son mucho más estables.

Gracias a que estos materiales son mucho más resistentes ante la

corrosión, podremos cubrir el interior del casco con materiales aislantes, cosa que no podríamos hacer con los buques de acero ya que ello conllevaría que pudiera existir áreas que no pudieran ser inspeccionadas para localizar puntos de oxido con el consiguiente peligro para el casco. Con este aislamiento conseguimos una mayor insonorización y una mayor resistencia ante las temperaturas.

| FICHA TÉCNICA – ALUMINIO |      |      |      |      |      |      |      |      |      |               |      |       |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|------|-------|
| Tipo                     | %    | Si   | Fe   | Cu   | Mn   | Mg   | Cr   | Zn   | Ti   | Otros         | Al   |       |
| 5083                     | Min. | 0,40 | 0,40 | 0,10 | 0,40 | 4,00 | 0,05 | 0,25 | 0,15 | Ti+Zr<br>0,20 | 0,15 | Resto |
|                          | Max. |      |      |      | 1,00 | 4,90 | 0,25 |      |      |               |      |       |
| 5086                     | Min. | 0,40 | 0,50 | 0,10 | 0,20 | 3,50 | 0,05 | 0,25 | 0,15 | -             | 0,15 | Resto |
|                          | Max. |      |      |      | 0,70 | 4,50 | 0,25 |      |      |               |      |       |

Fuente: Autor

## **5.2. MANIOBRA: PROPULSIÓN Y GOBIERNO.**

Dada la multitud de naves que podemos encontrar en el mercado a lo largo de esta guía vamos a utilizar como ejemplo el “H.S.C. Tarifa Jet” para dar un alguna explicación sobre las maniobras en este tipo de embarcaciones.

La primera diferencia que nos encontramos al maniobrar con un catamarán de este tipo es que la propulsión no se lleva a cabo mediante hélices convencionales, sino con Jets marinos. También echaremos en falta la existencia de timones, ya que dichos Jets son orientables y se encargan a la vez de la propulsión y del gobierno. Otra diferencia es la manga, ya que la separación entre los dos propulsores de fuera es muy alta, hablando de una embarcación de 86 metros de eslora. Ello nos proporciona un momento de giro excepcional en la maniobra de ciaboga y desplazamientos laterales perfectos aún sin disponer de hélices de proa. Puestos a hablar de diferencias, no hay que olvidar que esta nave está construida íntegramente

en aluminio, lo que provoca que sea una nave muy liviana y las respuestas a cualquier actuación sobre los mandos es muy rápida. Hablaremos pues en las siguientes páginas de la maquinaria al completo que hace posible la propulsión y el gobierno del “H.S.C. Tarifa Jet”, desde las máquinas principales, pasando por las reductoras, bombas, la hélice impulsora y el equipo de gobierno. Hablaremos también de las principales maniobras y de lo que sucede en cada una de ellas con respecto a los jets y de situaciones especiales tales como el “Lip’s test”.

### **5.2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.**

#### **5.2.1.1. MAQUINAS PRINCIPALES.**

Para empezar, lo más importante es obtener la potencia necesaria para impulsar al buque. Para ello el astillero recurre a cuatro motores principales Ruston 20 RK 270M con turbocompresores y postenfriadores, cada uno de ellos con una configuración de 20 cilindros en “V” que le da un rendimiento máximo de 7080 Kw a 1030 revoluciones por minuto. El sentido de giro de cada uno de ellos es horario, si el observador se sitúa mirando a la proa del buque. Para su ubicación contamos con dos salas de máquinas, una en cada casco, en las que se instalan dos motores principales en cada una de ellas, aparte de la maquinaria auxiliar y las reductoras, de las que ya hablaremos. Su ubicación dentro de la sala de máquinas, debido a la escasa manga disponible en cada casco (4.33 metros) es de uno a proa del otro, estando en ambas bandas el de proa desplazado ligeramente hacia fuera para que los ejes no coincidan y así tener acceso apropiado a los Jets. De ahí viene la denominación que para su uso diario recibe cada unidad propulsora, de estribor a babor: SOME (Starboard Outer Main Engine) para el de estribor de fuera, SIME (Starboard Inner Main Engine) para el de estribor de dentro, PIME (Port Inner Main Engine) para el de babor de dentro y POME (Port Outer Main Engine) para el de babor de fuera.

Para el encendido de las máquinas disponemos de dos motores de aire comprimido “Ingersoll Rand” por bancada, con una presión máxima de

servicio de 10.5 kg/cm<sup>2</sup>. El suministro de aire viene de un depósito de aire comprimido de 655 litros que hay en cada sala de máquinas. La presión máxima que puede soportar dicho depósito es de 35 bares y el tiempo necesario para el llenado completo de los 655 litros de aire comprimido es de 35 minutos. El número máximo de intentos de encendido es de aproximadamente seis por depósito, lo que quiere decir que tenemos seis posibilidades para arrancar los dos motores de una banda. Una vez consumidos los seis intentos tendríamos que volver a llenar los depósitos. Para el llenado de los depósitos de aire comprimido se recurre a dos compresores de aire “Atlas Copco LT40-30”, uno por cada uno de ellos, con un régimen de funcionamiento de 24 m<sup>3</sup>/ hora a una presión de 30 bares.

El dispositivo encargado del funcionamiento equilibrado de cada máquina es un controlador digital tipo “Regulateurs Europa VIKING 22”, que controla el régimen del motor en cada momento. Para el control de la máquina desde el puente se recurre al sistema de control de alarmas “RACAL DECCA ISIS 250”, que permite al Jefe de Máquinas estar informado de cuanto sucede en las máquinas principales, en las máquinas auxiliares, en los jets y en otros dispositivos de relevancia. El sistema de alarmas comprende dos alarmas en cada sala de máquinas, una alarma en cada ante-sala de máquinas y otra en el puente. Los dispositivos que tenemos en el puente para llevar dicho control son dos monitores, dos teclados, una batería de emergencia y una impresora (FRS Iberia, 2002).

#### **5.2.1.2. TRANSMISIÓN.**

Renk proporciona las reductoras, en concreto aporta el modelo “ASL 60” con un régimen de reducción de 1.6775:1 compensada horizontalmente y de una sola etapa. Disponen de un eje que viene del motor principal y otro que sale directamente a la hélice impulsora. Estas reductoras permiten desengranar y engranar cada motor desde el puente tanto en los controles centrales como en los alerones (donde solo se tiene la opción de

desengranar). (Manual de formación HSC “Tarifa Jet”)

**Fig. 17:** Reductora Renk Modelo ASL 60.



**Fuente:** [www.renk.de](http://www.renk.de)

Su principal función no obstante es disminuir las revoluciones del motor ya que el jet no está preparado para soportar revoluciones tan altas. Además, las dos unidades centrales, PIME y SIME, llevan asignadas sendas bombas hidráulicas llamadas P.T.O. de las que hablaremos más adelante en el capítulo de bombas y que dan presión hidráulica suficiente para las maniobras en mar abierto.

### **5.2.1.3. MAQUINAS AUXILIARES: GENERADORES.**

Este tipo de buques consta de cuatro máquinas auxiliares, habiendo dos en cada sala de máquinas (cada patín) situados uno encima del otro y delante de las máquinas principales. Cada uno de ellos lleva asignado un alternador que puede generar una de 240 kW. cada uno. Cada par de generadores alimenta a un panel principal completamente independiente: los dos de estribor al panel principal de estribor y los dos de babor al panel principal de babor. En condiciones normales, los dos paneles principales están enlazados y se puede operar los cuatro generadores desde cualquiera

de los dos y desde una clavija situada en el puente, que nos permite seleccionar entre uno, dos, tres o cuatro generadores trabajando. En el caso de alguna emergencia, el enlace entre los dos paneles principales se puede desconectar y asegurar así un total aislamiento entre ambos.

#### **5.2.1.4. UNIDAD IMPULSORA: JETS MARINOS.**

Este tipo de buques dispone de cuatro jets, uno por cada motor principal y todos ellos capaces de propulsar y gobernar, que proporciona cuatro jets Lips. Dicho sistema de propulsión es el más eficaz cuando lo que se persigue es alta velocidad, no solo por la eficiencia que demuestran, sino también por la ausencia de apéndices tales como ejes, arbotantes, timones, etc. que aumentan la resistencia a la marcha. Dicha ausencia de partes móviles también repercute en el calado del buque, por lo que las naves equipadas con este sistema además tienen la cualidad de poder operar en puertos con poco calado.

Los cálculos por ordenador sobre dinámica de fluidos (del inglés “CFD calculations”, Computacional Fluid Dynamics Calculations) revoluciona el proceso de optimización hidrodinámica del jet. Con este sistema aplicado por Lips conseguimos adaptar a la perfección el diseño del ingeniero naval con los requisitos operacionales impuestos por el armador.

Este modelo de jet marino consta de una hélice (“impeller” en inglés) de siete palas, que en comparación con otros modelos de jets es una cantidad relativamente baja. Ello conlleva un menor riesgo de atasco debido a objetos que puedan introducirse en la cavidad de la hélice.

Ventajas del uso de los jets marinos son una excelente aceleración desde parado a toda máquina, una gran capacidad también para pasar de toda máquina a parado de emergencia, poco ruido y bajo nivel de vibraciones.

Inconvenientes también tienen. Uno de ellos es que se introduzca algún cuerpo extraño en el hogar de la hélice. Esto sucede ya que el jet absorbe cantidades ingentes de agua, y con esta agua, todo lo que flote en ella. Lo que se nota en el puente cuando esto sucede es un aumento de vibraciones. Para detectar cuál de ellos es en concreto, se reduce a ralentí de uno en uno todos los motores hasta que al reducir uno de ellos las vibraciones desaparecen, lo que nos indica que ese era el jet que padecía el problema. Para solucionarlo, situamos el bucket de ese jet en posición de todo avante pero con la máquina parada y con las otras tres máquinas damos atrás. Así, produciremos un chorro de agua que circula en sentido contrario dentro del jet, extrayendo el objeto intruso. Una vez concluido el proceso, reanudaremos la marcha comprobando que las vibraciones realmente han desaparecido.

Otro de los temas a tener en consideración cuando se trata con jets marinos es la maniobra con mares de popa o de aleta. Según un artículo de Michael Grey del Lloyd's List publicado en la página de internet de Interferry, es más que alarmante tanto la situación en la que el buque navega más rápido que la ola, con el consecuente riesgo de irse por ojo, como que sea la ola la que vaya a más velocidad, lo que provoca la pérdida temporal de control direccional.

La cavitación hay que tenerla también en cuenta ya que repercute directamente en la vida media de la hélice. Por esa razón, tenemos unas tablas suministradas por Lip's que relacionan la velocidad máxima de la hélice con la velocidad del buque. En la siguiente tabla (figura número 6) se presentan además de las velocidades del buque en relación con las de la hélice, las de estos dos con la de la máquina, que a la postre son las que controlamos. En los controles de los alerones, para la maniobra, el régimen

de giro de las máquinas principales está limitado a 671 revoluciones por minuto.

La operación del buque en aguas someras ha de ser igualmente

controlada, ya que siempre que esté el jet engranado, grandes cantidades de agua están siendo bombeadas provocando una gran corriente de absorción que hace que si la toma de agua del jet está muy cerca del fondo, absorba arena, fango, piedras y todo cuanto haya en él. Por eso mismo, si el buque se encuentra en travesía a máxima velocidad deberá de contar con al menos dieciséis metros de profundidad, siendo la mínima permitida doce metros. En el caso de la maniobra en puerto, la sonda deberá ser de al menos cuatro metros y medio con un mínimo permitido de tres metros y medio.

**Fig. 18:** En esta tabla proporcionada por Lip's podemos observar la relación entre el máximo régimen de giro de la máquina con la velocidad del buque para evitar la cavitación de la hélice.

| VELOCIDAD DEL BUQUE<br>(NUDOS) | VELOCIDAD MÁX. DE LA<br>HÉLICE (RPM) | VELOCIDAD DE LA<br>MÁQUINA (RPM) |
|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 0                              | 430                                  | 720                              |
| 10                             | 445                                  | 746                              |
| 15                             | 475                                  | 796                              |
| 20                             | 500                                  | 838                              |
| 25                             | 540                                  | 905                              |
| 30                             | 595                                  | 998                              |

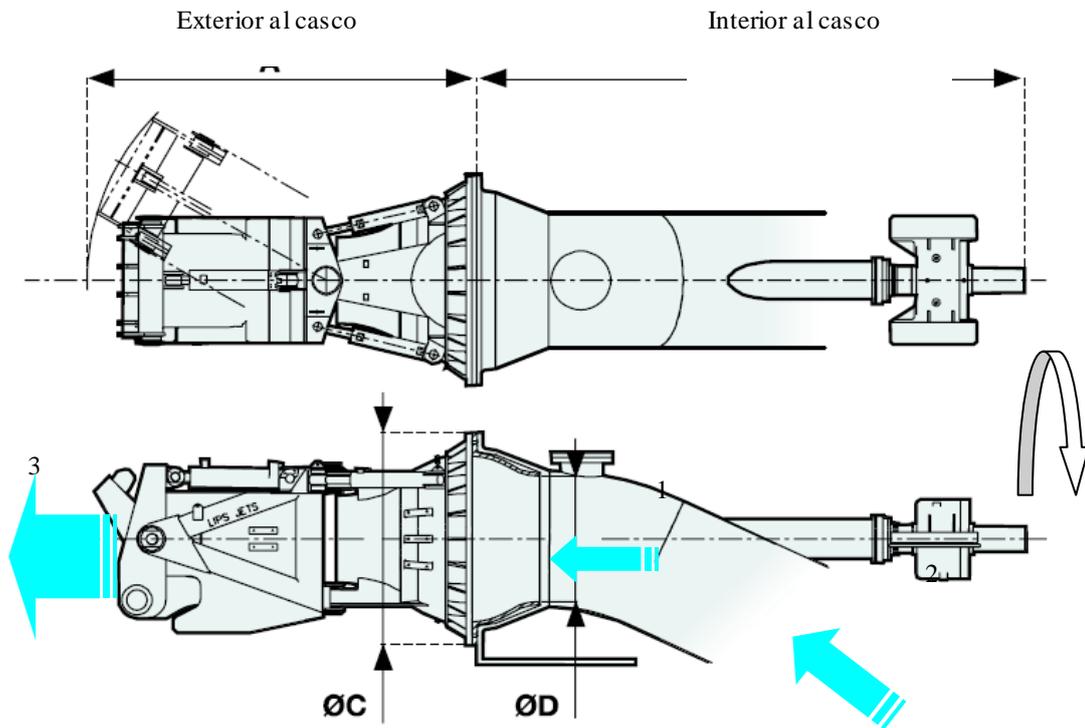
**Fuente:** Lip's.

En cuanto al funcionamiento básico del jet marino, físicamente es muy sencillo. Según la tercera Ley de Newton (principio de acción y reacción)\*, consideraremos como cuerpo A el jet, que produce un chorro de agua con cierta fuerza que al interaccionar con el cuerpo B, el agua del mar, produce una fuerza de reacción en sentido contrario. Al ser la masa del buque mucho menor que la masa del agua que lo rodea, el propulsado es el buque, lo que nos proporciona el movimiento deseado. En la figura número 7 se puede ver un esquema básico de su funcionamiento<sup>5</sup>. En la parte de

<sup>5</sup> \* La tercera Ley de Newton o Ley de acción-reacción nos dice que si un cuerpo A ejerce una acción sobre otro cuerpo B, este segundo cuerpo B ejerce una reacción igual a la acción del primero pero con sentido contrario.

arriba de la figura se presenta la planta, donde se puede apreciar la orientación del jet, con un ángulo máximo de 30 grados a banda y banda. En la parte de abajo se describe el ciclo que sigue el agua por dentro del jet.

**Fig. 19:** Esquema básico de funcionamiento del waterjet.



**Fuente:** Manual de formación HSC “Tarifa Jet” (FRS Iberia, 2002)

El chorro de agua lo produce la hélice (1), al girar dentro de su cavidad. La toma de agua (2) se sitúa en la quilla del casco. La salida del chorro de agua (3) es orientable, lo que además de propulsión produce gobierno y capacidad de maniobra.

### **5.2.1.5. BOMBAS HIDRÁULICAS.**

En el capítulo de bombas tenemos que señalar que en este tipo de buques tiene una importancia más que relevante, ya que en la maniobra en puerto entran en funcionamiento numerosos pistones ya sea para actuar

sobre los buckets o sobre el control direccional y por supuesto para todos los sistemas de amarre (cabrestantes, winches, etc.). Distinguiremos entre la maniobra de proa y la de popa y dentro de esta distinción, entre babor y estribor.

En proa tenemos dos equipos hidráulicos, uno a cada banda. Cada uno de estos equipos hidráulicos comprende dos bombas eléctricas de igual capacidad que reciben el suministro de aceite de un depósito de doscientos litros. El equipo hidráulico de estribor suministra de presión al T-foil de estribor, al cabrestante de estribor número uno y al cabrestante de estribor número dos (Ambos con motores hidráulicos Charlyn con reductoras Brevini y controlados con mandos a distancia operando a 24V y con botones para cazar, lascar y parar). El equipo hidráulico de babor le suministra la presión hidráulica al T-foil de babor, al cabrestante de babor número uno, al cabrestante de babor número dos y al molinete del ancla.

En popa nuevamente y debido a la estructura del buque, tenemos dos equipos hidráulicos, uno por casco. En este caso disponemos, por cada uno de dichos equipos, de dos bombas eléctricas más una bomba P.T.O. (conectada a la reductora) que reciben el suministro de un depósito de cuatrocientos litros más uno de reserva de cien litros. Cada equipo, tanto babor como estribor, suministran de presión hidráulica a la maniobra de los jets, tanto interiores como exteriores, al sistema de trimado (flaps de popa), cabrestantes de popa y a la grúa del bote de rescate (Estas grúas son proporcionadas por Fassi Knuckle Boom Cranes y disponen para su operación, además del sistema hidráulico comentado, de un winche para virar o lascar el cable). En un principio, para navegar en alta mar basta con las bombas P.T.O., pero en condiciones de mal tiempo o en las maniobras en puerto se pueden usar las eléctricas dependiendo de la demanda.

#### **5.2.1.6. CONTROLES DE PROPULSIÓN Y GOBIERNO.**

Comentaremos en este apartado solamente lo más relevante a la

hora de conocer los controles que actúan en la maniobra, ya que más adelante en el capítulo de equipos de a bordo describiremos más detalladamente su funcionamiento a base de ilustraciones. En principio decir que como en casi todos los buques que navegan por nuestros mares, tenemos tres controles en el puente: uno en el centro en el puesto de mando del Capitán, uno en el alerón de estribor y otro en el alerón de babor.

En los controles del centro disponemos de cuatro telégrafos que controlan tanto la velocidad de las máquinas (rpm) como la posición del bucket (quiere decir marcha avante, marcha atrás o parado) y una pequeña rueda de timón de accionamiento electrónico que controla la orientación de los jets. Aparte de este sistema tiene otro de reserva (back-up) que actúa directamente sobre cada unidad pero controlando solamente la parte hidráulica del sistema, esto es, la posición del bucket y la orientación del jet. La velocidad de la máquina se sigue controlando desde su correspondiente telégrafo. Para seleccionar dicho sistema back-up se actúa sobre un pequeño mando que cada unidad tiene asignada. También disponemos en el puesto de control del centro de un interruptor con tres posiciones: centro, estribor y babor. Si seleccionamos la posición estribor (o babor), en el alerón de estribor (o babor) se enciende un botón que al pulsarlo manda todos los controles básicos a dicha posición.

Una vez que tenemos el control en el alerón, disponemos de tres controles básicos. Uno de ellos es una palanca o joystick que controla los movimientos laterales, de avance y retroceso. Otro de ellos es un mando giratorio que controla el momento de giro de la nave y que a partir de ahora llamaremos "momento". El otro es un pequeño potenciómetro que hace las veces de telégrafo controlando las revoluciones de la máquina. Además tenemos dos pequeñas palancas para controlar las cuatro unidades en modo back-up. Como ayudas a la maniobra tenemos un repetidor del monitor del ARPA e indicadores de cada uno de los motores (orientación del jet, abertura del bucket y revoluciones de la hélice).

A parte de estos controles, tenemos otra posibilidad, por si todos ellos fallan. Si el buque no responde en normal ni en back-up podemos actuar directamente en la sala de jets. Tenemos dos posibilidades, pero en ambas el control ha de estar en posición de back-up. Si la bomba está funcionando, podemos tener control de las válvulas de control direccional y del bucket y conseguir así control total de gobierno y propulsión. Si la cosa se pone peor, y tampoco tenemos la bomba disponible, utilizaríamos bombas manuales para controlar las mismas funciones.

Una vez que hemos descrito someramente los controles con los que disponemos, adentrémonos entonces en lo que son propiamente las maniobras más básicas con las que nos podemos encontrar, enlazando el manejo de los controles con el fundamento físico que lleva a cabo el resultado esperado.

#### **5.2.1.7. MANIOBRAS BÁSICAS.**

Vamos a empezar con maniobras básicas sin introducirlas en ningún escenario en concreto y en modo normal, para una vez entendidas las maniobras básicas en modo normal, poder adentrarnos en las maniobras en modo de emergencia (back-up), atraques especiales, etc. Nos vamos a limitar a las maniobras desde los alerones para atraque y desatraque, ya que desde la consola central y navegando por alta mar es más que intuitivo.

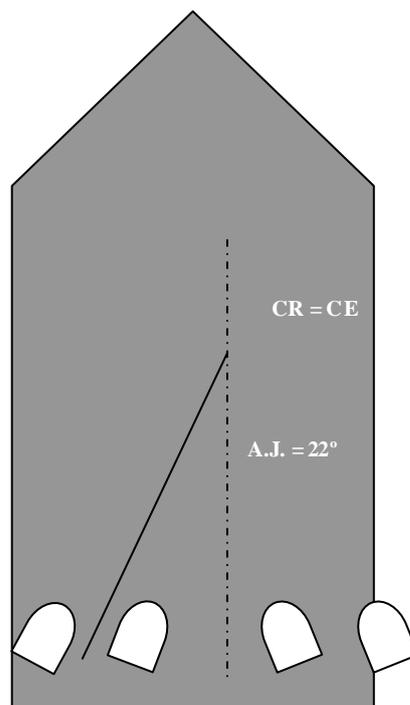
Tenemos que familiarizarnos con dos conceptos básicos que no nos encontramos en el caso de buques convencionales. Estos son los de centro de rotación (CR), que si está presente en cualquier tipo de buque, y el concepto de centro de esfuerzo (CE), característico de este tipo de buque y de todos aquellos con propulsores orientables. El centro de rotación permanece estático y el centro de esfuerzo varía según la orientación de los jets.

Para un determinado ángulo de los jets (alrededor de 20 grados hacia fuera) el centro de rotación y el centro de esfuerzo coinciden, por lo que las fuerzas aplicadas harán evolucionar el buque sin momento de giro, es decir, avante, atrás o lateralmente a banda y banda (Figura 20).

Si abriéramos los jets más de ese ángulo límite, el centro de esfuerzo se nos irá ligeramente a popa, por lo que el buque evolucionará con cierto momento de giro dependiendo de la potencia que se le aplique a las máquinas y de la posición de los buckets (Figura 21).

Si aún abriendo los jets, dicha apertura no llegara al ángulo límite, el centro de esfuerzo se nos irá a proa del centro de rotación, provocando también un cierto momento de giro (Figura 22).

**Fig. 20 (Derecha):** Centro de rotación y centro de esfuerzo en el mismo sitio: el buque evolucionará sin momento de giro.

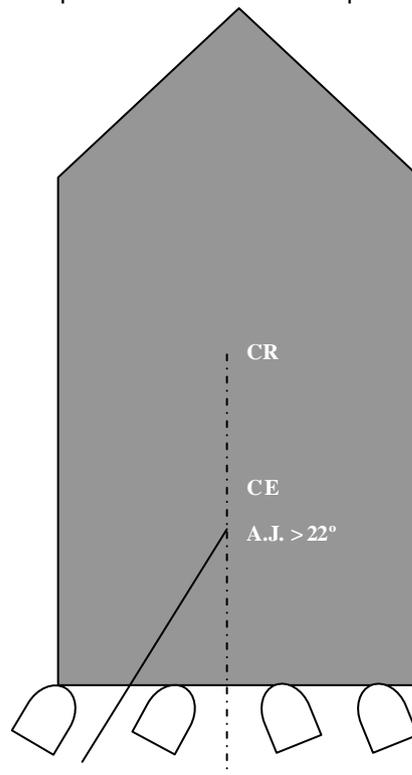


Fuente: Autor

Si orientamos los jets hacia dentro, el centro de esfuerzo se nos irá exageradamente a popa, fuera de la planta del buque, siendo pues la distancia al punto de rotación muy grande y provocando entonces un gran momento de giro en el supuesto de poner una máquina avante y otra atrás (Figura 23).

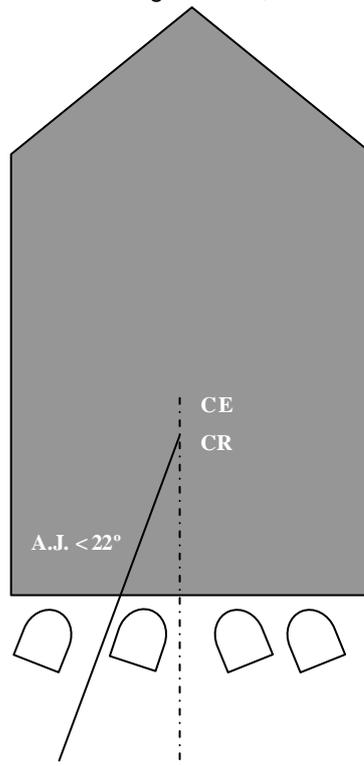
Una vez vistos ambos conceptos empecemos a ver caso por caso todas las posibilidades que nos ofrece el sistema ofrecido por Lips. En primer lugar, en la figura 12 se describe gráficamente cualquiera de los controles con los que nos encontramos en los alerones. Es una representación gráfica, pero en el apartado de Instrumentación del Puente se darán muchos más detalles y se incluirán fotos para entender aun más si cabe con lo que estamos tratando.

**Fig. 21 (Izquierda):** Centro de esfuerzo a popa del centro de rotación. El buque evolucionará dependiendo de la posición de los buckets pero siempre con cierto momento.



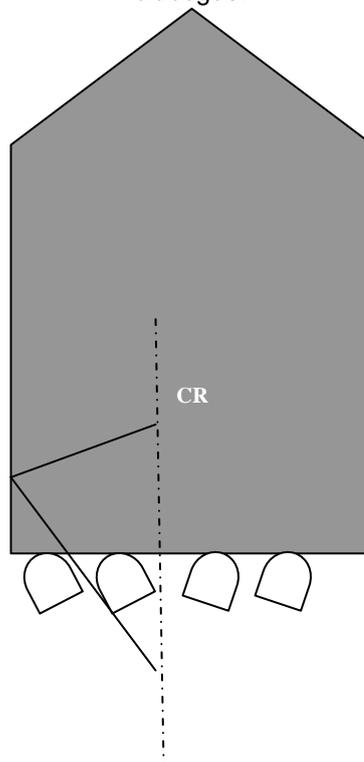
Fuente: Autor

**Fig. 22 (Izquierda):** en este caso el centro de esfuerzo se va a proa del centro de rotación, por lo que también será posible que el buque adquiera cierto momento de giro. Para las mismas condiciones que en el caso de la figura 5.15, en este caso el giro sería al contrario.



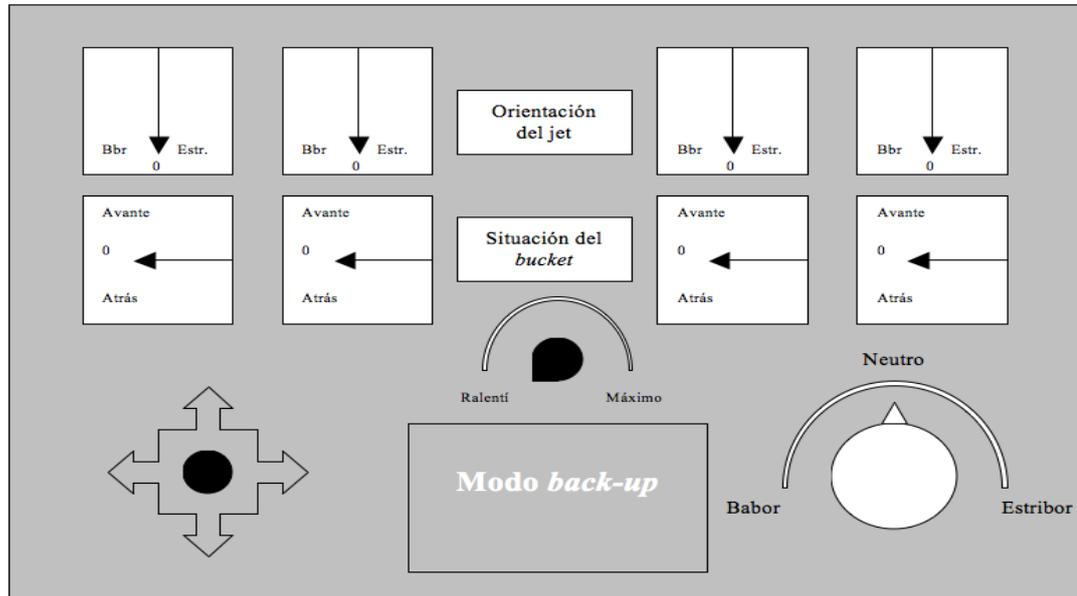
Fuente: Autor

**Fig. 23:** Al meter los jets hacia dentro, conseguimos que el centro de esfuerzo se vaya a popa, exageradamente, lo que nos brinda la posibilidad de llevar a cabo magnificas ciabogas.



Fuente: Autor

**Fig. 24:** Simulación de los mandos del alerón. Los cuatro indicadores de arriba indican el ángulo en el que el jet está trabajando. Los cuatro de abajo indican la situación del bucket. El mando de la izquierda controla los movimientos básicos de marcha avante, atrás y movimientos laterales paralelos. El central controla las r.p.m. y el de la derecha es el momento que antes comentamos. Todos ellos están en la posición de neutro. La parte central se reserva para el modo back-up.



Fuente: Autor

### **5.2.1.8. AVANTE Y ATRÁS.**

Las maniobras de avante y atrás son las más sencillas de todas. En el caso de marcha avante, los jets se quedan a la vía, abriendo totalmente los buckets. Esto se consigue en modo normal con el simple hecho de desplazar el joystick hacia la posición de avante. Para dar atrás, haremos lo mismo pero desplazando el joystick hacia la posición de dar atrás y los buckets se cerrarán por completo.

En ambos casos no tocaremos el mando del momento.

En cuanto a los indicadores del cuadro de mandos, los que indican la apertura del bucket deberán indicar 100% abiertos en el caso de marcha avante y los mismos en el caso de la marcha atrás deberán indicar 100% cerrados. Los indicadores de la orientación de los jets deberán estar a la vía.

#### **5.2.1.9. DESPLAZAMIENTO LATERAL A ESTRIBOR.**

Es una de las maniobras más útiles ya que nos permite abarloarnos al muelle desplazándonos lateralmente.

En este caso, para no tener ningún momento de giro, los jets se abrirán justo con el ángulo límite, para hacer coincidir el centro de rotación con el centro de esfuerzo.

Los buckets de la banda de estribor se cerrarán a tope para dar atrás y los de babor se abrirán a tope para dar avante.

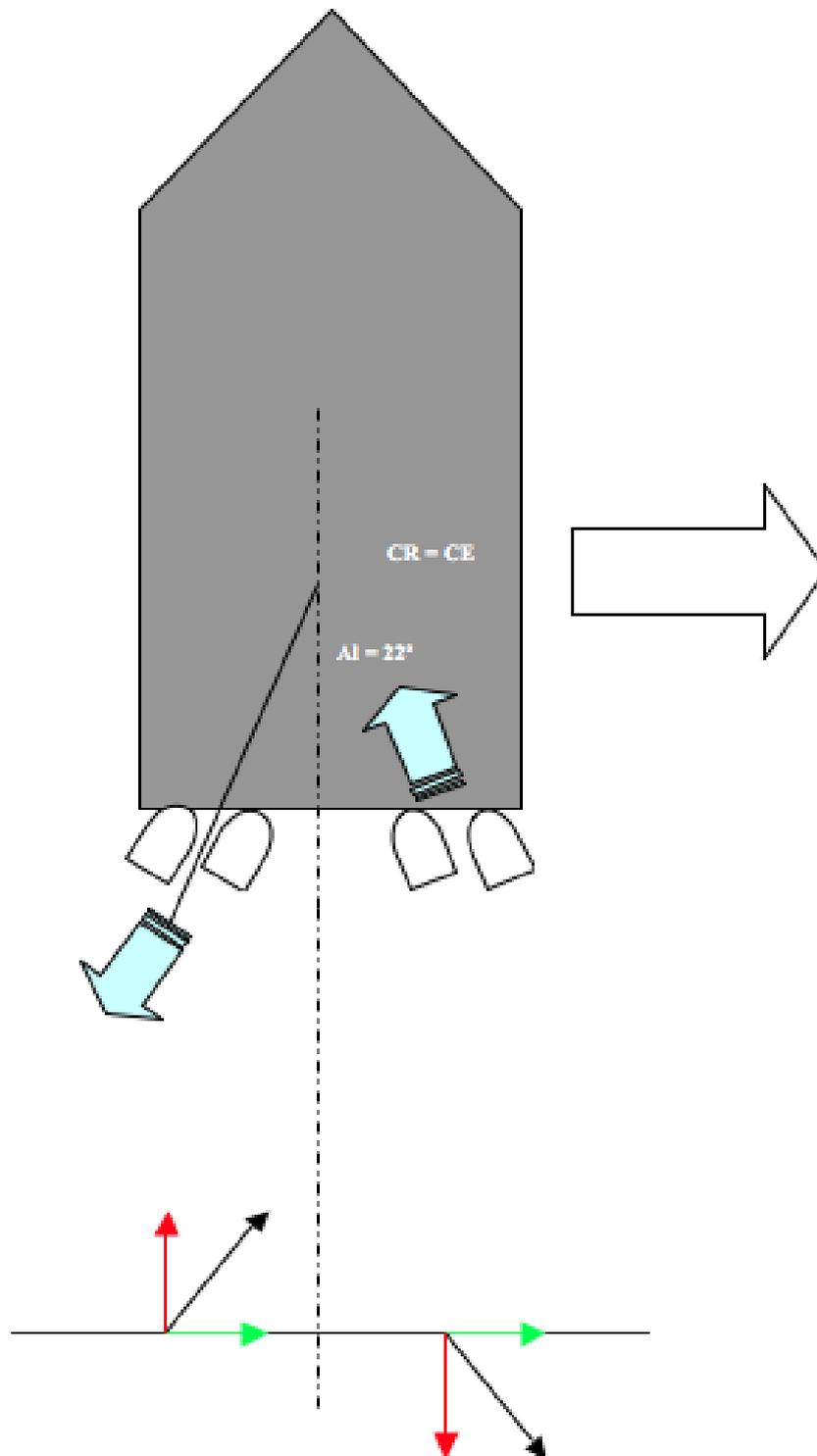
Las fuerzas de avante y retroceso se contrarrestan, y las de desplazamiento lateral se suman, por lo que la resultante, aplicada en el centro de esfuerzo, hará que el buque se desplace a estribor.

Como el centro de esfuerzo coincide con el centro de rotación, además se desplazará sin momento de giro ninguno.

En la figura 25 se ve la posición de los mandos y sus indicadores.

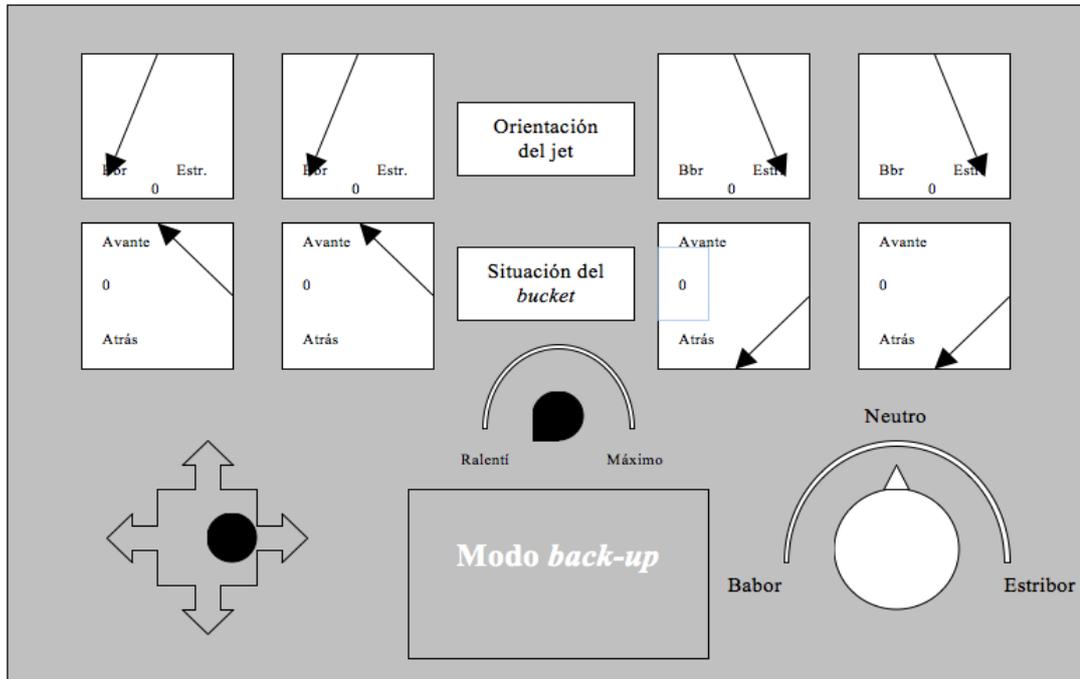
En la Figura 26 una descomposición vectorial de lo que está sucediendo.

**Fig. 25:** Mandos en la posición de desplazamiento lateral paralelo a estribor. La apertura de los jets es justo 22 grados.



Fuente: Autor

**Fig. 26:** Estudio vectorial correspondiente al desplazamiento lateral a estribor. En el dibujo de la planta del barco las flechas gruesas indican la dirección del chorro de agua. En la descomposición vectorial, los vectores en rojo indican las fuerzas de avance y retroceso que se anulan, y las verdes representan las de desplazamiento lateral que se suman y se aplican en el centro de esfuerzo, en éste caso, el mismo que el de rotación.



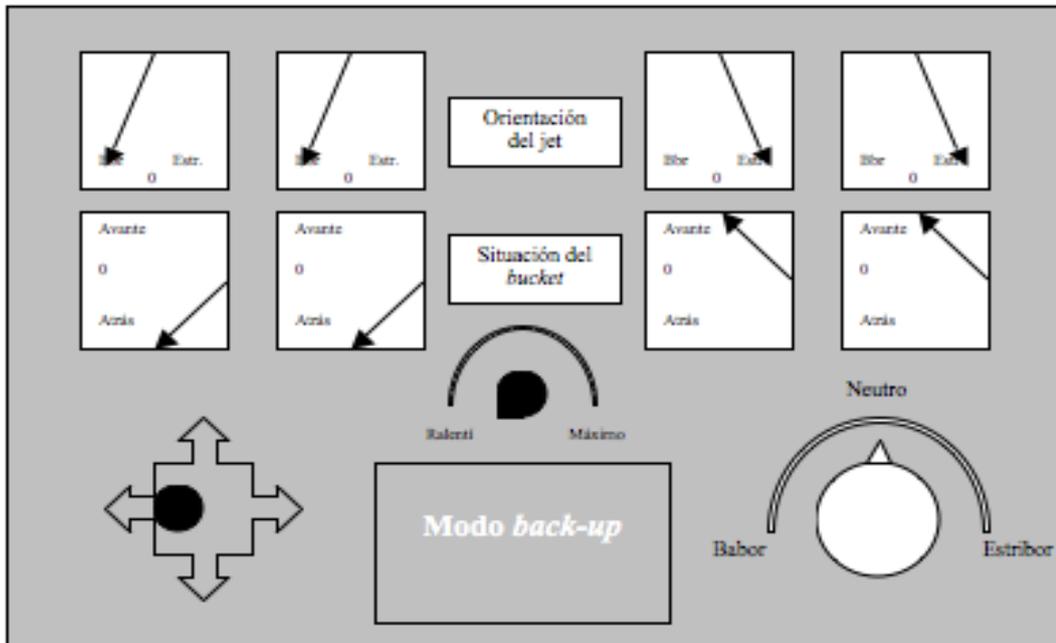
Fuente: Autor

### **5.2.1.10. DESPLAZAMIENTO LATERAL A BABOR.**

Es la misma maniobra que en el caso anterior con la salvedad de que en esta ocasión los jets de babor son los que dan atrás y los de estribor dan adelante. Nuevamente las fuerzas de avance y retroceso se neutralizan y las de desplazamiento lateral se suman dando como resultante un desplazamiento lateral que, al igual que en el caso de ir a estribor, se aplicará en el punto de esfuerzo. Al coincidir dicho punto de esfuerzo con el punto de rotación el movimiento además de ser lateral será paralelo, al no existir momento de giro.

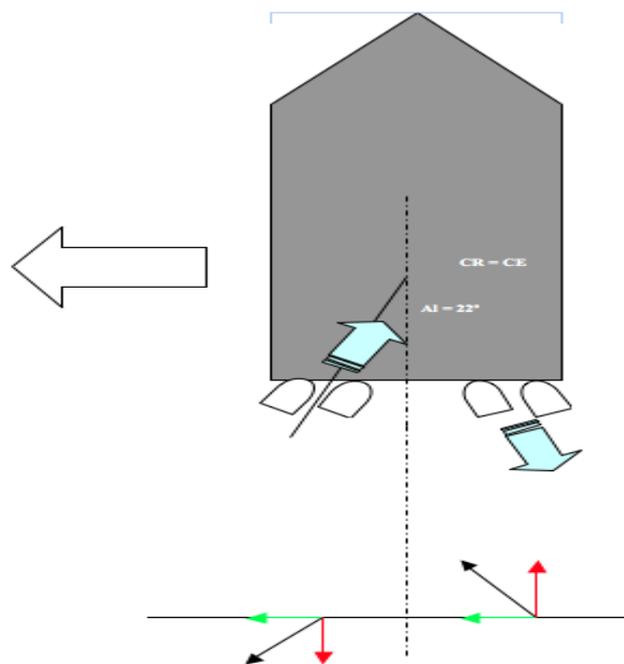
En la figura 27 aparecen la posición de los mandos y los indicativos. En la figura 28 la explicación vectorial de las fuerzas aplicadas.

**Fig. 27:** Mandos en la posición de desplazamiento lateral paralelo a babor. Obsérvese la posición del joystick y de los indicadores.



Fuente: Autor

**Fig. 28:** Estudio vectorial correspondiente a un desplazamiento lateral a babor. Nótese que todo es igual salvo la posición de los buckets y por consiguiente la dirección del chorro de agua, lo que provoca que las fuerzas que intervienen sean diferentes. De nuevo, las fuerzas en rojo son las de avance y retroceso que se anulan. Las que aparecen en color verde son las de desplazamiento lateral que se suman y se aplican en el centro de esfuerzo. La posición del centro de esfuerzo sigue siendo la misma, sobre el punto de rotación, lo que hace que de nuevo no haya momento de giro.

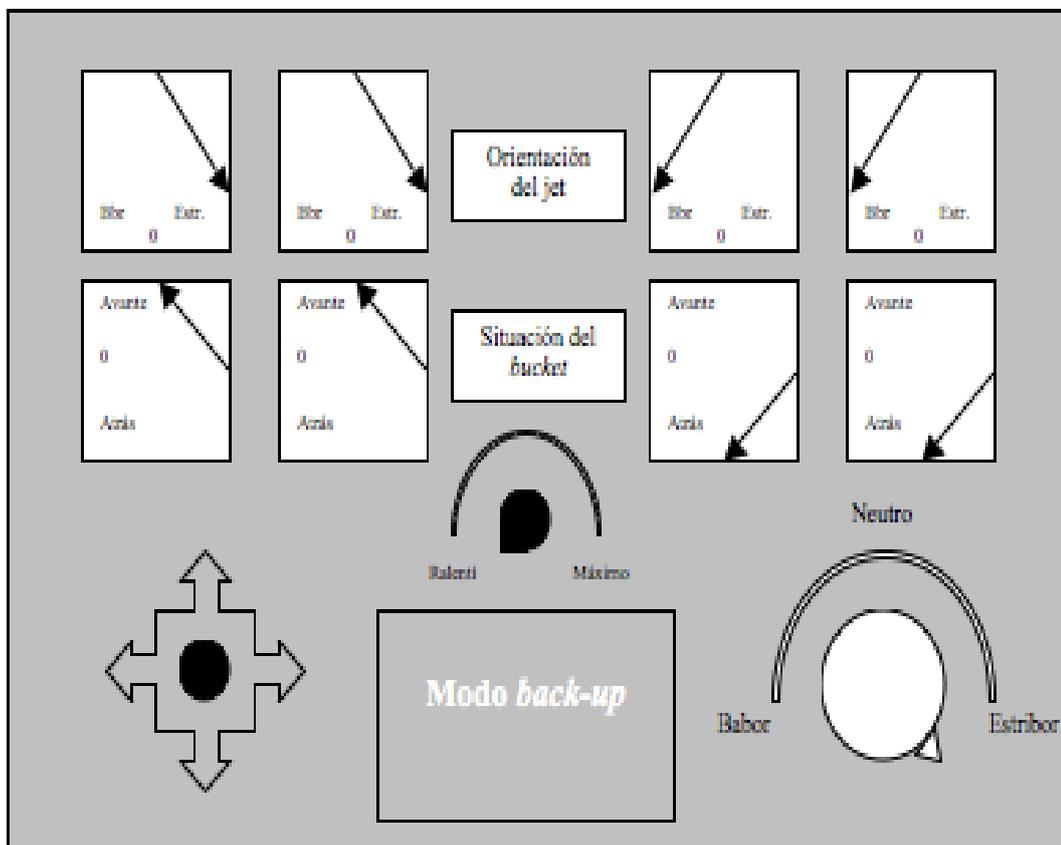


Fuente: Autor

### 5.2.1.11. REVIRO A ESTRIBOR.

Es una maniobra de las más importantes para este tipo de buques ya que no disponen de hélices de proa. En este caso, los jets se orientarán hacia dentro, lo que provoca que el centro de esfuerzo se vaya muy a popa, incluso fuera del buque. Esta distancia entre el centro de rotación y el centro de esfuerzo tan grande produce un gran momento de giro, que hace que el buque gire sobre su propio eje con toda facilidad.

**Fig. 29:** Posición de los mandos en el caso del revío a estribor. Obsérvese que el joystick está en neutro y el momento todo a estribor. Obsérvese también la posición de los indicadores.

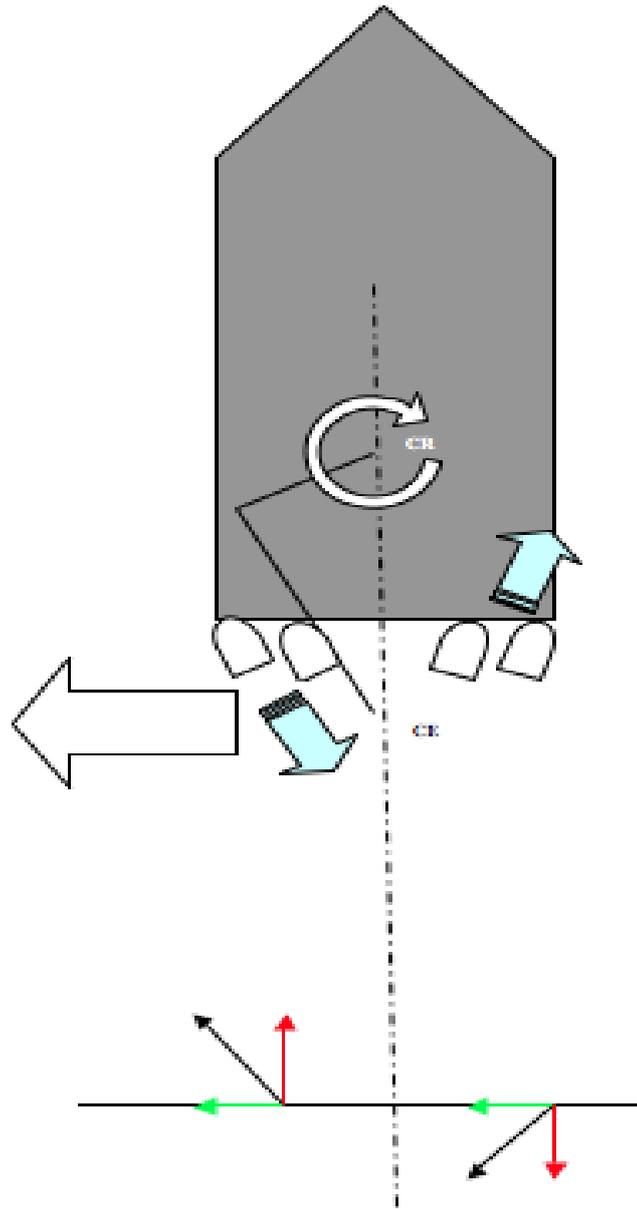


Fuente: Autor

En el caso del revío a estribor, la maniobra se puede asemejar en cierto modo a la maniobra con hélices convencionales, ya que las máquinas de estribor darán atrás y las de babor darán adelante. De nuevo las fuerzas de adelante y atrás se contrarrestan y queda una fuerza de empuje lateral que al

estar aplicada en el centro de esfuerzo y este a su vez estar tan a popa del centro de rotación, provocan un momento de giro que pivota justo sobre dicho eje de rotación. Ver figuras 29 y 30.

**Fig. 30:** En este caso los jets se orientan hacia dentro. La orientación del chorro de agua aparece en celeste. El centro de esfuerzo se va exageradamente a popa lo que nos da como resultado un gran brazo. Nuevamente las fuerzas en rojo se anulan y las que aparecen en verde se suman para dar una resultante a babor que se aplica en el centro de esfuerzo. Al estar este desplazado a popa del centro de rotación, la popa tenderá a irse a babor, cayendo la proa a estribor.



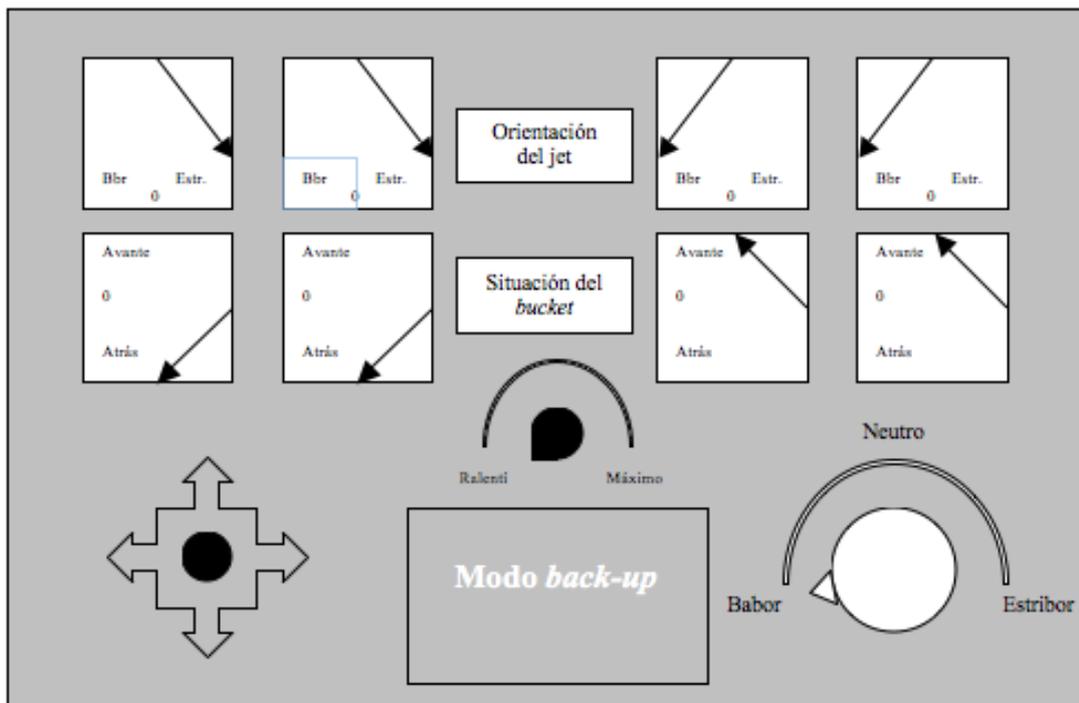
Fuente: Autor

### 5.2.1.12. REVIRO A BABOR.

Es la misma maniobra que la anterior pero en sentido contrario. En este caso igualmente los jets cerrarán su ángulo orientándose al interior lanzando el centro de esfuerzo a popa del buque, provocando el mismo brazo giratorio que en el caso anterior.

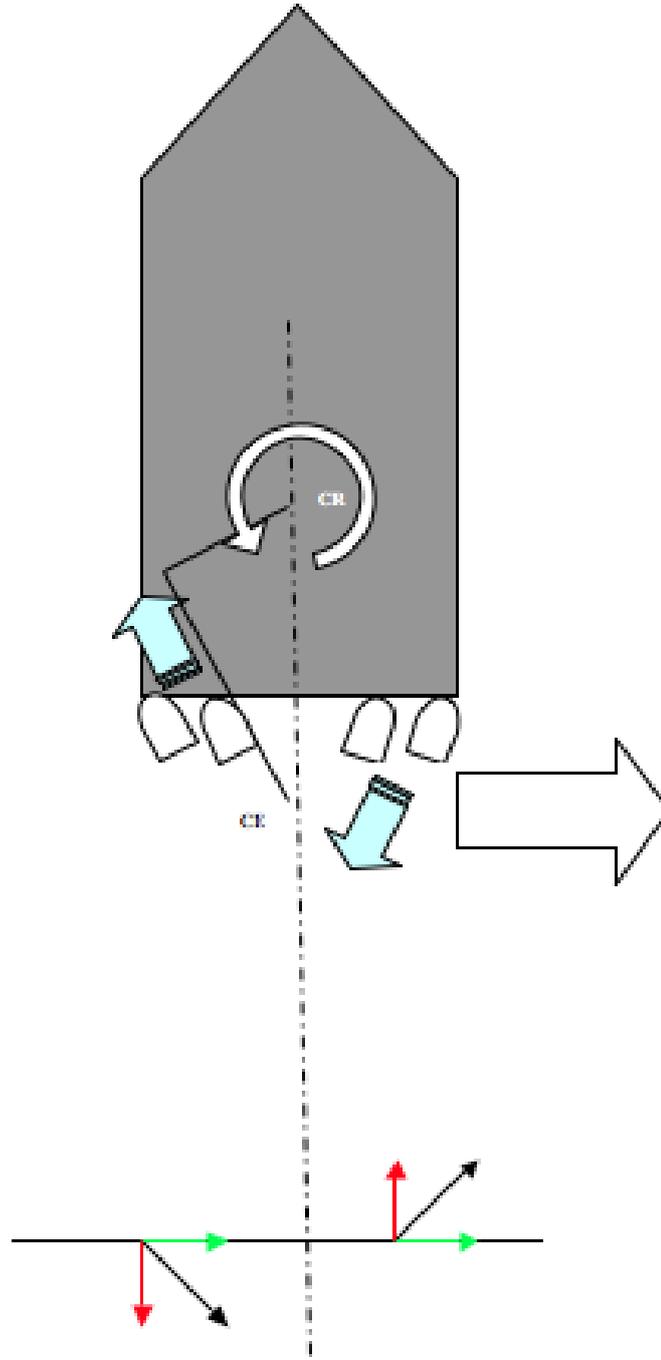
En este caso los buckets de la banda de estribor darán todo adelante y los de la banda de babor darán todo atrás. Nuevamente las fuerzas de avance y retroceso se contrarrestan y las fuerzas laterales, en esta ocasión, se suman y desplazan la popa a estribor lo que hace que la proa caiga hacia babor revirando al buque sobre su centro de rotación. Ver figuras 31 y 32.

**Fig. 31:** Posición en la que tenemos que colocar los mandos si lo que perseguimos es un reviro a babor. Nótese que nuevamente los jets se meten hacia dentro, pero esta vez los indicadores de los buckets están al contrario.



Fuente: Autor

**Fig. 32:** Nuevamente los jets aparecen orientados hacia dentro. Sin embargo esta vez los motores de babor dan atrás y los motores de estribor dan adelante. De nuevo las fuerzas de avance y atrás se contrarrestan y la resultante orientada a estribor hace caer la popa a esa banda y la proa a babor.



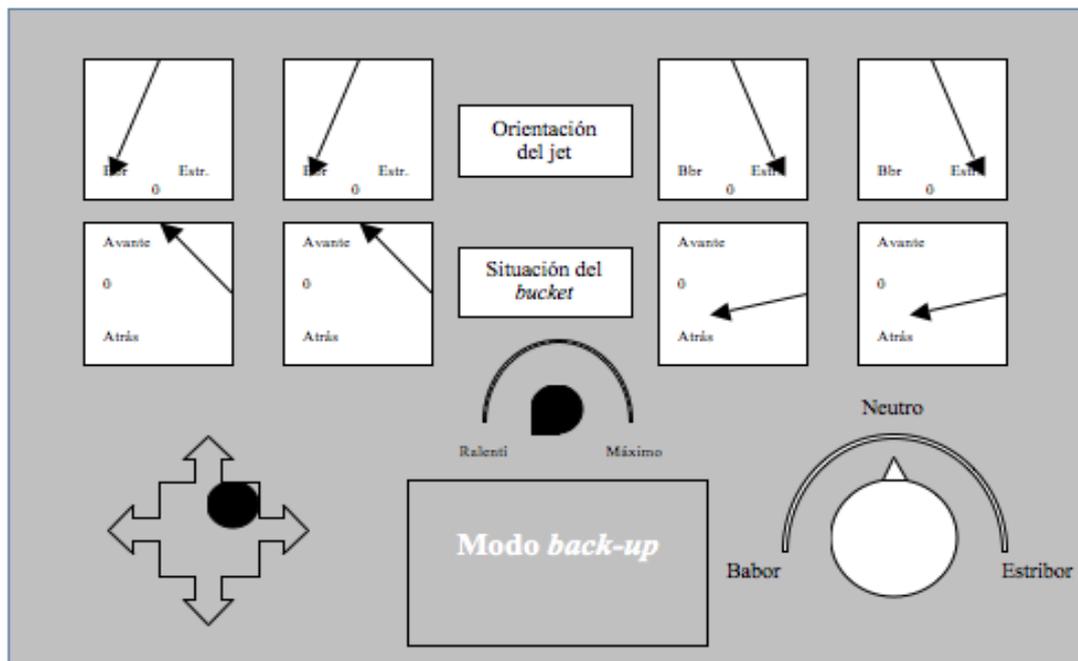
**Fuente:** Autor

### **5.2.1.13. AVANZAR DESPLAZÁNDOSE LATERALMENTE A CUALQUIER BANDA.**

Es una mezcla de dos de las maniobras que hemos visto. Los jets se colocan en la posición en la que el centro de esfuerzo coincide con el centro de rotación. De esta manera conseguiremos nuevamente que no haya momento de giro. Entonces si en vez de abrir o cerrar los buckets del todo, en alguna de las bandas reducimos el régimen, el buque evolucionará hacia la banda contraria a la que hemos reducido el régimen. Veamos, por ejemplo, el caso en el que el buque va adelante y a la vez avanzando lateralmente a estribor. Véase en la figura 33 la posición de los mandos y sobre todo la de los indicadores.

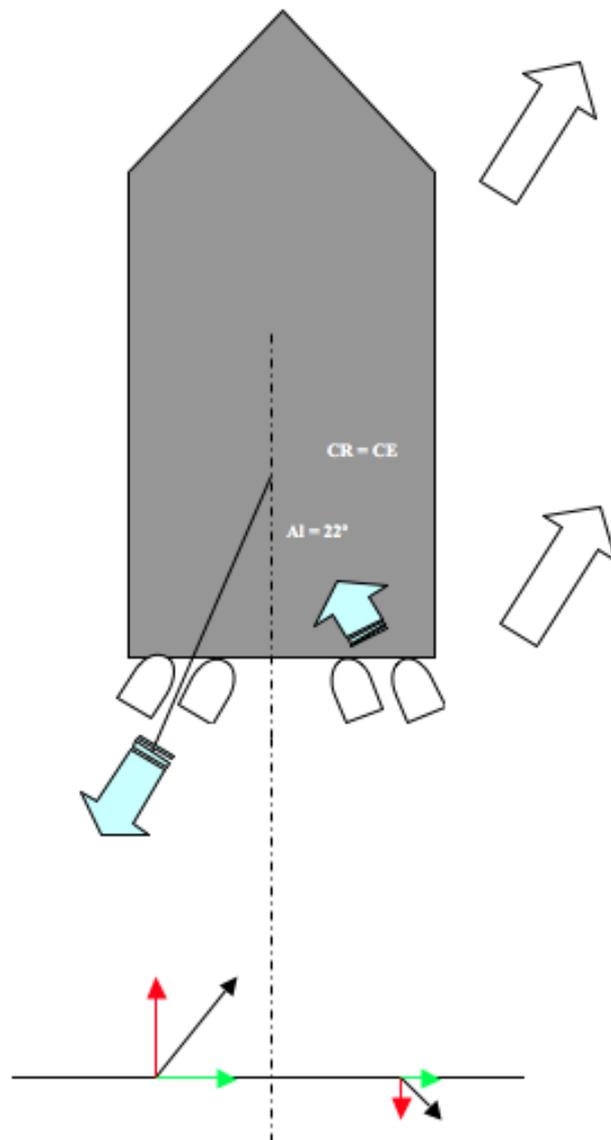
Véase también en la figura 34 la fuerza resultante que al aplicarse directamente en el centro de rotación (el mismo que el centro de esfuerzo) hace avanzar al buque a la vez que se desplaza en paralelo a estribor.

**Fig. 33:** Posición de los mandos y de los indicadores en el movimiento de avance y desplazamiento lateral a la vez.



Fuente: Autor

**Fig. 34:** Fuerzas que actúan en el avance con desplazamiento lateral, descomposición de las fuerzas y resultante. Nótese que en este caso las fuerzas de avance y retroceso (en rojo) no se anulan, siendo la que propulsa el buque a proa mayor que la que lo lleva a popa, lo que hace que la resultante tenga una componente que haga evolucionar el buque avante. Además, las componentes laterales a estribor se suman dando otra componente, que al sumarse a la de avance, hacen al buque desplazarse avante y lateralmente a estribor. Este movimiento es en paralelo a la línea de crujía, ya que el centro de rotación y el centro de esfuerzo coinciden.

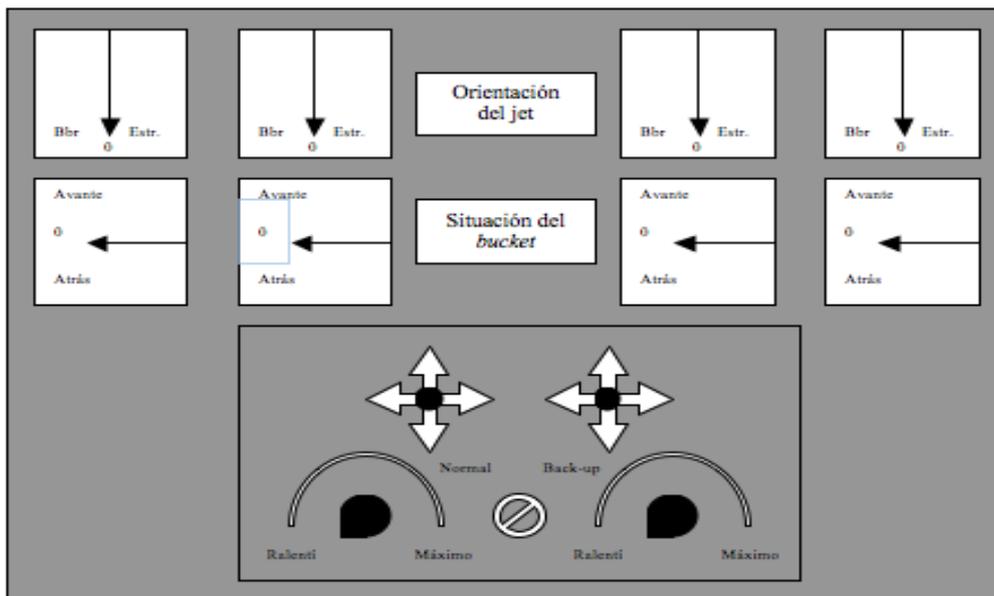


Fuente: Autor

### 5.2.1.14. MANIOBRAS EN BACK-UP.

Para las maniobras en modo back-up hemos de introducir una nueva sección en el panel de control que habíamos omitido en el anterior capítulo. En el centro del panel de control nos encontramos con una pequeña área que incluye dos pequeñas palancas a modo de pequeños joysticks, y asignados a estos, dos pequeños potenciómetros para controlar las revoluciones de los motores. La clavija central selecciona si trabajamos en modo normal o en back-up. Ver figura 35. Podemos elegir cuáles de los propulsores queremos usar en modo back-up. En la consola central tenemos una clavija para cada unidad que nos da a elegir entre modo normal o back-up. Si elegimos los cuatro jets en modo back-up, cada pequeña palanca controlará la orientación de los dos jets de una banda y la posición de sus buckets. En el caso de elegir una sola unidad en modo back-up en una banda, el pequeño joystick controlará solamente esa unidad, quedando la otra de esa banda controlada en modo normal. Este sistema nos da la facilidad de controlar en modo back-up uno, dos, tres o los cuatro propulsores y controlar el resto en modo normal.

**Fig. 35:** Los joysticks controlan longitudinalmente la posición del bucket y transversalmente la orientación del jet.

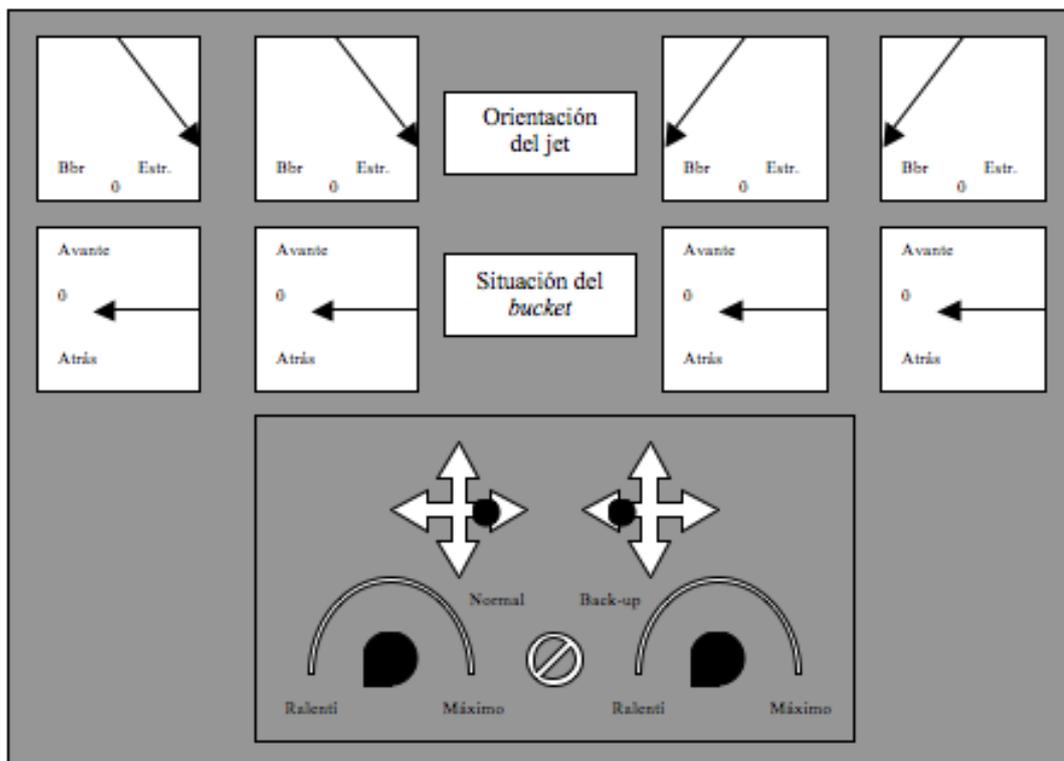


Fuente: Autor

Para entender cómo funciona el sistema en back-up basta con estudiar una de las maniobras anteriores, por ejemplo, la de reviro a estribor. Para ello, en la consola central colocaremos todos los mandos en posición de back-up. También elegiremos esta opción en el panel de control del alerón.

A continuación, procederemos a girar los jets hacia el interior. Para ello moveremos ambos joysticks hacia el interior tal y como muestra la figura 36. Una vez que comprobamos que los indicadores indican que los jets están orientados efectivamente hacia el interior, devolvemos las palancas a su posición original.

**Fig. 36:** Preparando los jets para reviro a estribor orientándolos hacia el Interior.

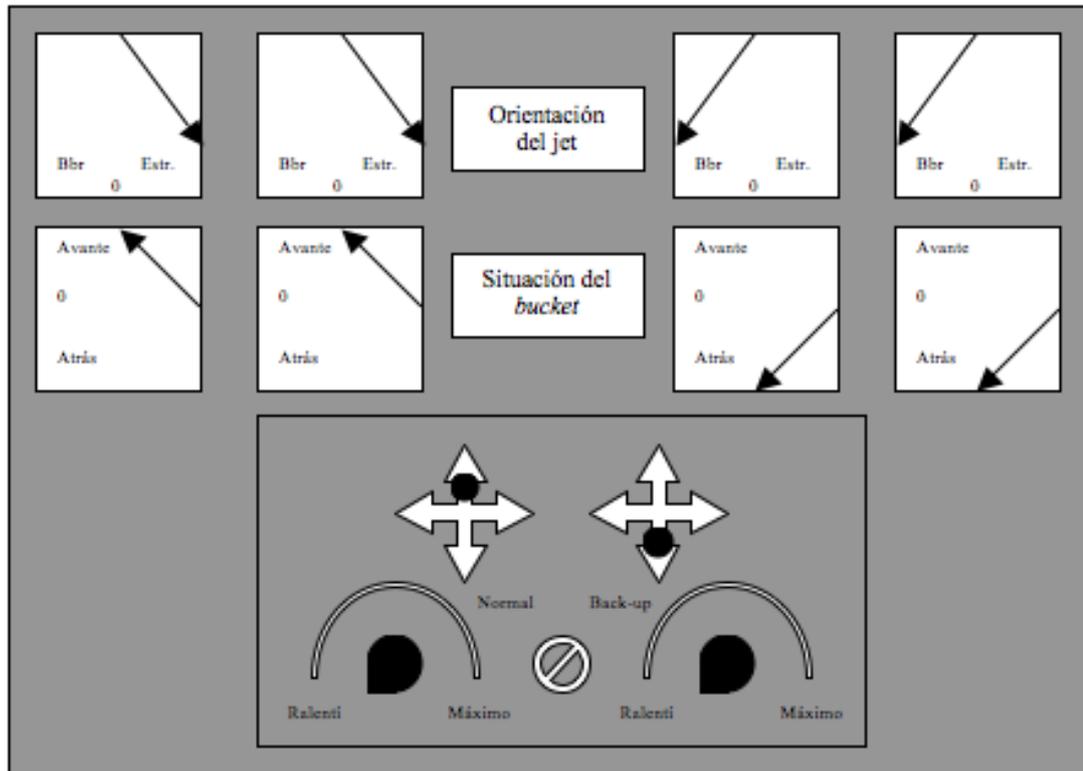


Fuente: Autor

Ahora viene el momento de ajustar los buckets. Como vimos en el punto 2.2.4., para realizar el reviro a estribor el sistema abre totalmente los buckets en babor para dar avance y los cierra totalmente en estribor para dar

todo atrás. Pues bien, eso mismo haremos en sistema back-up. Desplazaremos la palanca de la izquierda hacia delante para abrir los buckets de babor y desplazaremos la otra hacia atrás para cerrar los de estribor como se describe en la figura 37.

Fig. 37: dando babor avante y estribor atrás.



Fuente: Autor

Una vez que los indicadores indiquen que efectivamente los jets están orientados hacia dentro y las unidades de babor dan avante y las de estribor dan atrás, el buque estará realizando un reviro a estribor. Cuando queramos dar la maniobra por finalizada y se quiera volver a la posición de neutro haremos el procedimiento contrario. Primero volveremos los buckets a la posición de neutro para dejar de revirar y posteriormente pondremos los jets a la vía. Para el resto de las maniobras procederemos del mismo modo, orientando primero los jets posteriormente abriendo o cerrando los buckets de la forma adecuada, recordando siempre lo aprendido en la maniobra en modo normal.

### **5.2.1.15. CURVAS DE EVOLUCIÓN.**

Las curvas de evolución son unos gráficos que describen la trayectoria que sigue el buque en viradas a sendas bandas y a máxima velocidad. Son meramente orientativas, es decir, están diseñadas para calcular aproximadamente los radios de giro y el área necesaria para realizar la maniobra. Por supuesto habrá que tener en consideración que ni la velocidad de servicio es la máxima y que siempre hay condiciones climatológicas como corrientes, viento, olas, etc. que hacen variar dichas condiciones de evolución. Estas tablas deben de estar a la vista en el puente y en muchos barcos se encuentran pegadas en un mamparo tras el puesto de mando del Capitán.

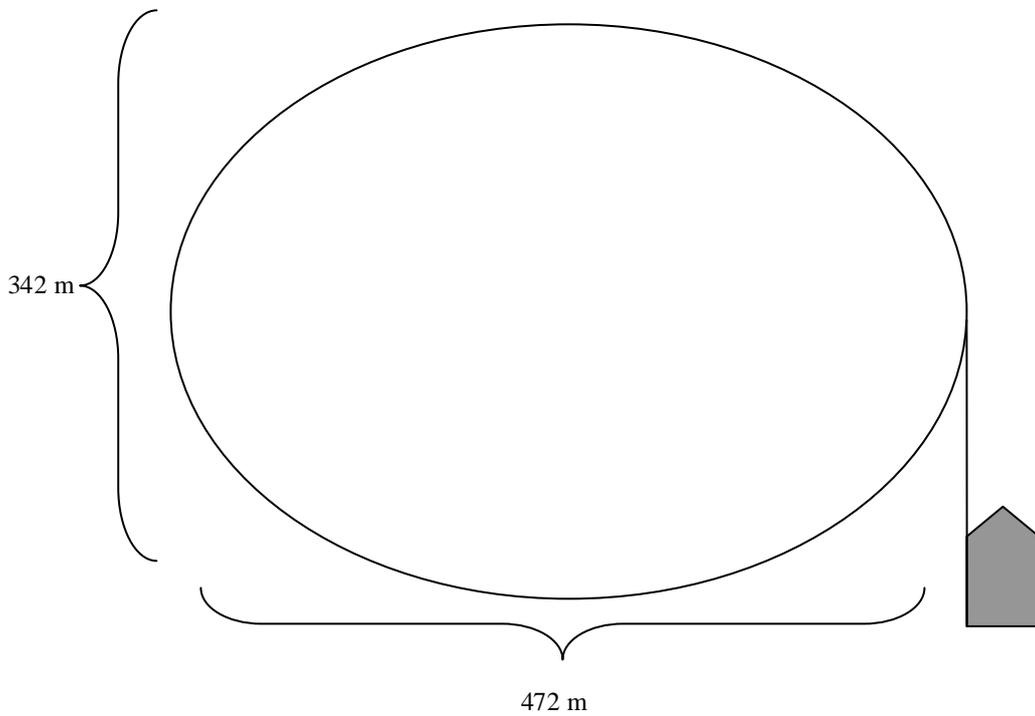
A continuación vamos a ver unas curvas de evolución de un buque de alta velocidad.

Las siguientes curvas están hechas para una velocidad máxima inicial de 46 nudos y todo el timón a una banda. En el caso de la caída a estribor, la evolución es más rápida que en el caso de la caída a babor a pesar de ser un barco realmente simétrico.

Este buque necesita 338 metros de distancia longitudinal y 458 metros de distancia transversal para una caída a estribor y 342 metros de distancia longitudinal y 472 metros de distancia transversal en el caso de una caída a babor. En la figura 38 se representa la curva de evolución a babor y en la figura 39 la curva de evolución a estribor.

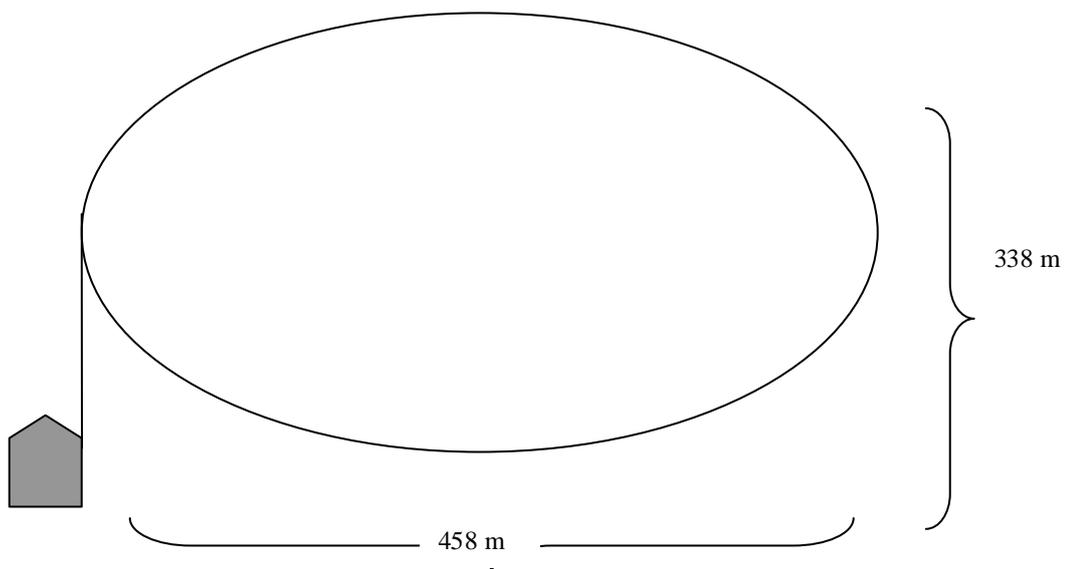
Todas estas medidas transformadas en esloras quieren decir que el buque necesita tener de espacio al menos cuatro esloras a proa y cinco esloras y media a la banda a la que vaya a hacer la virada.

**Fig. 38:** Curva de evolución para una caída todo a babor y velocidad inicial 46 nudos.



**Fuente:** Autor

**Fig. 39:** Curva de evolución para una caída todo a estribor con una velocidad inicial de 46 nudos.



**Fuente:** Autor.

**CONCLUSIONES.**

## **CONCLUSIONES.**

**PRIMERA:** Los buques de alta velocidad tienen una regulación más estricta y rigurosa que los buques convencionales, con una legislación solo aplicable a este tipo de buques. A lo que hay que, sumarle la dificultad de las maniobras tanto en los atraques como en la navegación.

**SEGUNDA:** Este trabajo cumple con el objetivo de realizar una guía de formación y adaptación, para que los tripulantes que dispongan de unos conocimientos en buques convencionales, al incorporarse a este tipo de barcos completamente diferentes a los que navegaban, puedan adaptarse con la mayor prontitud y seguridad sus funciones en este tipo de embarcaciones.

**TERCERA:** Son buques con peculiaridades hidrodinámicas e hidrostáticas, muy diferentes a los buques convencionales, tienen ciertos peligros que no sufren habitualmente los buques convencionales como son:

- Son contruidos en acero inoxidable frente a la construcción habitual que es en acero.
- Son buques con una gran maniobrabilidad gracias a la utilización de jets marinos, no utilizan hélices convencionales ni timones, y jets orientables. Esto es una gran ventaja frente al resto buques ya que es posible ahorrar mucho tiempo en las maniobras.

**CUARTA:** El consumo de estos barcos es muy elevado frente al consumo de los barcos convencionales que es mas moderado. Son barcos que les afecta mucho las condiciones meteorológicas, por lo que este tipo de embarcaciones son más eficientes en rutas cortas que navegaciones largas.

**BIBLIOGRAFÍA.**

Bureau Veritas (1997), Cuaderno de estabilidad “ Jaume III” Eurolinies Maritimes SAU Balearia.

Bureau Veritas (2001), Cuaderno de estabilidad “ Tarifa Jet”, FRS Iberia.

(Bureau Veritas, 2001)

Eurolineas Maritimes SAU, (1998), Manual de Formación “Jaume III”.

(Eurolineas Maritimes SAU, 1998)

FRS Iberia, (2002), Manual de formación HSC “Tarifa Jet”.

González J. M. (2010) “Hidrodinámica de embarcaciones rápidas”. Tomo I.”- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, UPM. Departamento de Artes Graficas.

González J. M. (2010) “Hidrodinámica de embarcaciones rápidas”. Tomo II.”- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, UPM. Departamento de Artes Graficas.

Madariaga, E., Ortega, E., Martínez, J.E., Díaz, E., Sotés, I., Oria, J.M., Blanco, B., Sánchez, L. (2014) How the Manila Amendments to the STCW code enhance training in maritime safety and security. 6th International Conference on Maritime Transport. Conference Proceedings. Barcelona, España. pp 182-197.

MASMAR, 2008. La Carena. Los Redanes. En: MASMAR tu portal náutico. [Www.masmar.net](http://www.masmar.net). 05 mayo 2008 [Consulta: 15 septiembre 2014]. Disponible en: <http://www.masmar.net/esl/N%C3%A1utica/Barcos-a-Motor/Conceptos-b%C3%A1sicos-para-la-compra-de-una-embarcaci%C3%B3n-a-motor/La-Carena.-Los-Redanes>.

Montes de Oca, R., Martínez, J.E., Martínez de Osés F., Madariaga E. (2014) Induced maritime accidents. 6th International Conference on Maritime Transport. Conference Proceedings. Barcelona, España..pp 198-225.

OMI, (2014), Organización Marítima Internacional, “Código de Naves de Gran Velocidad. “HSC, 1994””.

(OMI, 2014)

OMI. (2014) Código de Embarcaciones de Sustentación Dinámica “NSD.

OMI, (2014) Código de Naves de Gran Velocidad “HSC”,

OMI., (2014) Convenio SOLAS Edición Refundada 2014.

R.D. 1247/1999 publicado en el BOE 187 de 6 de agosto de 1999. Sobre

reglas y normas de seguridad aplicables a los buques de pasaje que realicen travesías entre puertos españoles.