



TRABAJO DE FIN DE GRADO

CARGA Y ESTIBA EN BUQUES

BULK CARRIER

Alumnos: Adrián Barrera Acosta

Marina Carbonell Casadesús

Tutor: Juan Antonio Rojas Manrique

Grado de Nautica y Transporte Marítimo

Convocatoria: Marzo de 2017

Introducción

Este trabajo surge durante un paseo por el muelle, observamos un buque que curiosamente está cargando maíz, nos llama la atención la simplicidad con la que se efectúa la carga, pues solamente se trata de una cuchara llenando las enormes bodegas del buque. Después de este encuentro empezamos a investigar y profundizar sobre la materia, poco a poco vamos conociendo un poco más sobre los buques graneleros (*bulk carrier*). Nos atrae su simplicidad, pues es como un enorme cajón donde se puede transportar casi de todo. A su vez, esta simplicidad es lo que hace a estos buques complejos. Mucho más allá de la primera impresión de estar cargando un buque con una simple cuchara, hay multitud de factores a tener en cuenta, también unos exhaustivos cálculos de estabilidad, así como de estiba.

Decidimos dedicar nuestro Trabajo de Fin de Grado a este tema, ya que era desconocido para nosotros, esto enriquecería nuestra formación como alumnos. La intención del trabajo es hacer una introducción en el mundo del bulk carrier, hablando de los tipos de buque que encontramos, sus peculiaridades y todos los cálculos esenciales para llevar a cabo un cálculo de estiba y estabilidad completo. Infortunadamente no hemos tenido la oportunidad de estar embarcados en un buque de este tipo, por eso hemos recurrido a publicaciones y manuales de otros autores. Así, entonces, hemos hecho una selección hasta conseguir el resultado deseado, un compendio de información que ayude a cualquier persona, que desconozca la materia, a entenderla en sus fundamentos.

En este trabajo hemos utilizado ejemplos de carga reales, obtenidos de manuales de carga del buque (en servicio) “Spar Lyra”, en ellos nos hemos estibado para ir entendiendo poco a poco los procedimientos y los cálculos a realizar partiendo desde nuestro desconocimiento. Es de notable mención la ayuda que hemos recibido por parte de nuestro tutor del trabajo, así como la constancia del seguimiento del mismo. Desdichadamente, no tuvimos tiempo de agradecer el excelente trabajo y trato recibido por parte del Dr. Enrique Melón Rodríguez, fallecido recientemente. Es para nosotros un confuso encuentro de sentimientos la presentación de este trabajo sin su presencia.

Objetivos

Los objetivos de este trabajo se resumen en los siguientes puntos:

- Conocer la importancia de la estabilidad en los buques *bulk carrier*.
- La interpretación de los planos del buque y saber importar los datos necesarios para los cálculos referentes a la estabilidad y la estiba.
- Importancia de la limpieza de las bodegas y métodos de fumigación.
- Importancia de una buena ventilación de la bodega para las diferentes cargas.
- Conocer los distintos tipos de *bulk carrier* y sus características principales.
- Conocer las peculiaridades de los diferentes tipos de escotillas.
- Conocer las características generales de las cargas más comunes dentro del negocio marítimo.
- Tener las nociones básicas a la hora de realizar un plan de carga.
- Tener los conocimientos básicos para saber a qué legislación acudir en caso de duda.
- Saber realizar un cálculo básico de carga y estiba de un buque *bulk carrier*.

Índice

1. Introducción al <i>bulk carrier</i>	11
1.1. Definición de buque granelero (<i>bulkcarrier</i>)	11
1.2. Origen del buque granelero.	11
2. Clasificación de buques graneleros.	14
2.1. Clasificación según su tonelaje.	14
2.2. Clasificación según eslora máxima.	17
2.3. Clasificación según su cargamento.	18
2.4. <i>Bulk carriers</i> con características propias.	20
3. Bodegas.	22
3.1. Limpieza y lavado de bodegas.	23
3.2. Limpieza de bodegas de carga para embarque de granos.	26
3.3. Fumigación de bodegas.	27
3.3.1. Fumigantes de uso a bordo.	27
3.3.2. Fumigación en puerto.	29
3.3.3. Fumigación continuada en tránsito.	29
3.3.4. Métodos de fumigación.	30
4. Tapas de escotillas.	33
4.1. Tipos de tapas de escotillas.	34
5. Meteorología de las bodegas.	39
5.1. Generalidades.	39
5.2. Sudor del casco y de la carga.	40

5.3.	Evitar daños por condensación.	42
5.4.	Ventilación considerando los tipos de mercancías.	44
5.5.	Ventilación de bodegas.	46
5.6.	Deshumidificadores de bodegas.	47
5.7.	Registro de datos de temperaturas.	47
6.	Estabilidad.	50
6.1.	Conceptos fundamentales en materia de estabilidad.	51
6.1.1.	Calados, asiento, alteración.	52
6.1.2.	Desplazamiento.	52
6.1.3.	Descripción de los datos hidrostáticos.	53
6.1.4.	Conceptos básicos de la estabilidad.	54
6.2.	Francobordo y líneas de carga.	57
6.3.	Criterios de estabilidad.	58
6.4.	Efectos de superficies libres.	60
6.4.1.	Efecto de <i>Sloshing</i> .	62
6.5.	El efecto <i>Squat</i>	62
6.6.	La importancia de la estabilidad en los “ <i>Bulk Carriers</i> ”	64
6.6.1.	Carga máxima autorizada.	66
6.6.2.	Fuerzas que actúan sobre el casco:	67
7.	Carga y estiba.	69
7.1.	Generalidades	69
7.1.1.	Concepto de estiba.	69
7.1.2.	Objetivos de una buena estiba.	69
7.1.3.	Distribución de pesos.	70
7.2.	Factor de estiba.	72

7.3.	Métodos de distribución de la carga en un <i>bulk carrier</i> .	72
7.4.	Métodos de carga y descarga de buques graneleros.	74
7.5.	Métodos alternativos de manipulación de la carga en puerto	77
8. Elaboración de un plan de estiba (plan de carga).		81
8.1.	Órdenes de carga.	81
8.2.	Planificación general.	83
8.3.	Puntos críticos del viaje (<i>limit points</i>).	84
8.4.	Disposición de la carga.	85
9. Legislación específica para buques “<i>bulk carriers</i>”.		90
10. ANEXO		93
10.1.	Definición de términos utilizados	93
10.2.	Cargas sólidas a granel, Licuefacción de la carga y Accidentes.	94
10.3.	Limitaciones estructurales a tener en cuenta al preparar un plan de carga en un <i>bulk carrier</i> .	102
10.4.	Ejemplo plan de carga.	104
10.5.	Cálculo de estiba y estudio de la estabilidad para el buque “SPAR LYRA”.	108
10.6.	Cálculo de cargamento de madera en bodega y en cubierta para el buque “SPAR LYRA”.	118
10.7.	Certificado de escotillas.	125
10.8.	Carta para el cálculo estimado del efecto <i>Squat</i> .	126
Conclusión		126
11. Bibliografía.		128

Pictografía

Imagen 1: Estructura de la bodega del buque *Frank H. Goodyear*.

Imagen 2: Estructura de la bodega del buque *Augustus B. Wolvin*.

Imagen 3: Turret-deck de 1890.

Imagen 4: Buque “Cubore”.

Imagen 5: Buque “Marore” para el transporte de hidrocarburos y mineral.

Imagen 6: Buque “*Nord Hakata*”, de tamaño *Handymax*, 169 m de eslora y 27 m de manga.

Imagen 7: Buque “*May Oldendorff*” de tamaño *Handymax*, en condición de lastre, en operación de atraque en el puerto de Hedland, Australia Oriental.

Imagen 8: Buque “*Scarlet Eagle*”, ejemplo de buque tipo *Panamax*. Con unas dimensiones de 228,99 m de eslora y 32,34 m de manga.

Imagen 9: MV “*Cape Breeze*”, buque con dimensiones de 292m de eslora y 45 m de manga, con sus 9 escotillas y sus 180.203 TPM, entra en la clasificación de *Cape-sized*.

Imagen 10: Buque mineralero “*Berge Stahl*” de 342 m de eslora y 63 m de manga, lo convierte en el buque mineralero mas grande en servicio actualmente.

Imagen 11: Buque multipropósito “LUR” cargando varillas de acero, pero también entra en a la clasificación de *mini-bulker* cuando transporta graneles.

Imagen 12: Buque mineralero “Saar N”.

Imagen 13: Bodega característica de buques mineralero, debido a su bodega inclinada.

Imagen 14: MV “*Athena*”, buque ejemplo de *conbulk*ers.

Imagen 15: Estructura típica de la bodega de un *bulk carrier* convencional.

Imagen 16: Sensores situados en el interior de la bodega, junto a las marcas de calado.

Imagen 17: Ejemplo de limpieza mediante el sistema “*Combi-jet*”.

Imagen 18: Tarjeta de fumigación estándar empelada para informar a la tripulación que no se puede entrar al espacio fumigado hasta la hora indicada.

Imagen 19: Diagrama en el que se muestra el sistema de fumigación de la bodega denominado “*recirculation or J-system*”.

Imagen 20: Corte longitudinal del plano de limpieza y daños de la bodega del buque “*Spar Lyra*”.

Imagen 21: Escotilla tipo “*folding*”, de un bulk carrier tipo *panamax*.

Imagen 22: Ejemplo de escotilla tipo “*Single flap*”.

Imagen 23: Bulk carrier tipo *panamax*, con escotilla tipo “*Rolling*” abiertas al 100%.

Imagen 24: Escotilla tipo piggy back, de buque tipo open bulk carriers.

Imagen 25: Buque multipropósito con el sistema de escotilla “*Lift-away*”.

Imagen 26: Inland “*ISIS*” con escotillas tipo “*colling*”, transportando fardos.

Imagen 27: Imagen esquemática que escenifica el sudor del casco en las condiciones en la que la temperatura del agua y del aire del exterior son más frías que la de la carga.

Imagen 28: Imagen esquemática que escenifica el sudor de la carga. Producida debido a que la temperatura de la carga es mayor que la de la propia bodega y puede llegar a precipitar.

Imagen 29: psicrómetro de Asmman, instrumento utilizado para la medición de la temperatura del punto de rocío en las bodegas.

Imagen 30: Manguerotes de ventilación

Imagen 31: Deshumificador

Imagen 32: Diagrama de flujo en el que se muestra la trayectoria del aire seguida en la bodega hasta las ventilaciones.

Imagen 33: Tabla de las curvas hidrostáticas extraída del manual de estabilidad para asiento=1. Del buque “*SPAR LYRA*”.

Imagen 34: Diagrama de fuerzas del buque en situación de escora, en el que se aprecia el corrimiento del centro de gravedad y da como resultado el par GZ

Imagen 35: Líneas de carga para buques convencionales (a la izquierda), líneas de carga para buques madereros (derecha).

Imagen 36: Variación del centro de gravedad en un tanque con menos del 98% de su capacidad.

Imagen 37: Grafica que muestra las fuerzas de corte y los momentos de flexión sobre el casco del buque “SPAR LYRA” para una condición de carga del 100%.

Imagen 38: Buque en condición de quebranto.

Imagen 39: Buque en condición de arrufo.

Imagen 40: Buque “SPAR LYRA” cargado al 100% con un cargamento de grano.

Imagen 41: Buque SPAR LYRA” en condición de carga “bodegas alternas”, cuyas bodegas 1,3,5 se encuentran al 40% de su capacidad.

Imagen 42: Buque SPAR LYRA” en condición de carga “en bloque”, cuyas bodegas 1,2 y 4,5 se encuentran cargadas al 80% de su capacidad.

Imagen 43: Buque granelero “*IONIC HUNTRESS*” con grúas pedestal en cubierta.

Imagen 44: Buque de carga pesada “*FAIRPARTNER*” equipado con grúas palo en cubierta, es una operación de estiba de buques en cubierta.

Imagen 45: Buque granelero *panamax* en proceso de descarga por el mecanismo de cuchara desde el puerto.

Imagen 46: Tolva poratil en puerto.

Imagen 47: Buque auto descargable “SMT BONTRUP”, en proceso de descarga en puerto, depositando la carga en la denominada “*Stockpiles*”.

Imagen 48: Típico “*Stacker*” en terminal de granel.

Imagen 49: *Reclaimer* en el puerto de *Jorf Lasfar*, Marruecos.

Imagen 50: Proceso de carga de un cargamento de azufre procedente de un silo en un “*Mini Bulker*”.

Imagen 51: Sistema “*railcar dumper*” instalado en la terminal de mineral de hierro de *Saldanha* (Sudáfrica).

Imagen 52: Proceso de traspaso de la carga de mineral de hierro desde el buque *cap sized* “Gran Trader” al “Alfred Oldendorff” en alta mar a unas 30 millas de Abu Dabi. Utilizando las grúas de este último para el traspaso de la carga.

Imagen 53: Dimensiones estandarizadas del “*triángulo equilátero*” para buques que no estén certificados a cargar cargas de alta densidad superior a 1,780 kg/m³. Este se debe colocar de un color llamativo (frecuentemente amarillo) y en ambas bandas del buque.

Imagen 54: Buque mineralero “IRON SOMERSBY” en condición de lastre (utilizado en el ejemplo mencionado).

Imagen 55: Plan de Carga completo de un *bulkcarrier* tipo “*cap size*” de mineral de hierro, procedente de Argentina con destino Japón.

Imagen 56: Proceso de carga de bauxita a bordo de un buque tipo “*inland*” en Río Suapure Venezuela.

Imagen 57: Buque “BULK JUPITER” que sufrió el hundimiento frente a las costas de *Vung Tau* (Vietnam). Después de partir del puerto de *Kuantan* (Malasia) con un cargamento de 46.400 Toneladas de bauxita.

Imagen 58: Cargamento de Alúmina, en el interior de la bodega de un *mini bulker*.

Imagen 59: “*Inland* “RÓMAN” con un cargamento de carbón en sus 4 bodegas.

Imagen 60: Buque “KARTERIA”, el cual sufrió una explosión en sus bodegas cuando transportaba 35.000 toneladas de mineral de hierro, procedente de Nueva Orleans.

Imagen 61: Buque “PURPLE BEACH”, incendiado al prender el fertilizante que se encontraba en sus bodegas. Se encontraba en las costas nortes de Alemania.

Imagen 62: Proceso de carga del “coque de petróleo” a una gabarra en la terminal de carga de Chicago (Estados Unidos).

Imagen 63: *Stockpile* de Espatoflúor.

Imagen 64: Buque “HUI LONG” en el momento del hundimiento debido a la licuefacción de las 5.000 toneladas de carga que llevaba desde el puerto de Sungei Pakning (Indonesia) a la India.

1. Introducción al *bulk carrier*

1.1. Definición de buque granelero (*bulk carrier*)

Un granelero es un tipo de buque encargado del transporte de grandes cantidades de cargas sólidas a granel. Esta carga se carga directamente en bodega, normalmente sin ningún tipo de embalaje específico. Ejemplos de estas cargas son: mineral de hierro, carbón, cereales, bauxita, acero, cemento, azúcar, chatarra... Desde su aparición los buques "*bulkcarriers*" han evolucionado, simplificando las operaciones de carga y descarga.

A pesar de que los buques de carga a granel se han utilizado desde el siglo XIX, su definición no aparece hasta la convención SOLAS de 1999, sin embargo en los últimos años se han añadido nuevas interpretaciones a la definición oficial. El SOLAS proporciona la definición de buque granelero en el capítulo IX del Convenio. Mencionando lo siguiente: "*buque que, en general, se construye con una sola cubierta, tanques en la parte superior de los costados y tanques laterales tipo tolva en los espacios de carga y destinado principalmente al transporte de carga seca a granel, incluso tipos como los mineraleros y los buques de carga combinada*".

1.2. Origen del buque granelero.

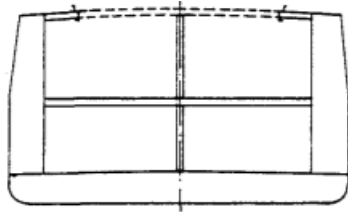
El transporte de mercancías se remonta a la antigüedad, posiblemente los modernos *bulkcarriers* están inspirados en un modelo fenicio. En cuanto a estos posibles primeros *bulkcarriers*, fueron eliminados en cuanto aparecieron los primeros métodos de embalaje. Desde ese momento el arte de la carga y la estiba de la nave se basó en la manipulación de esta carga empaquetada.

Durante todo este tiempo los buques de carga general fueron los principales transportadores de cargas a granel.

Con la introducción del acero en la construcción naval se abren nuevas puertas en la construcción de buques, pues algunos pilares y otras obstrucciones podían ser eliminados de la estructura. Así pudieron ser construidos los primeros graneleros, alrededor de 1890.

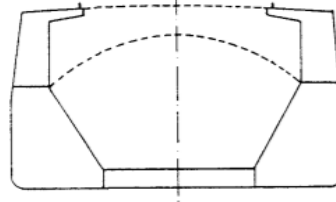
Así mismo, la idea del “*bulkcarrier*” surge para satisfacer una necesidad percibida: era necesario mover grandes volúmenes de carga a granel, por menos coste que en un buque estándar (buque de carga general). Así aparecen los primeros grandes lagos.

Imagen 1:



<http://www.clevelandmemory.org/glihc/oretrade.html>

Imagen 2:

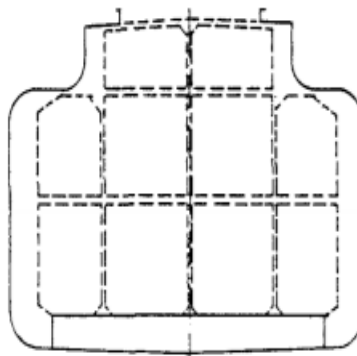


<http://www.clevelandmemory.org/glihc/oretrade.html>

Por ejemplo, encontramos el “*Frank H. Goodyear*” (1902), todavía considerado buque de carga general, pero con un notable cambio en la estructura del casco del “*Augustus B. Wolvin*” (1904), uno de los primeros grandes lagos.

En cuanto al diseño de buques transoceánicos destacan las construcciones de *William Dxford and Sons de Inglaterra*, entre 1890 y 1911 construyen 178 buques. Sus buques tenían máquina a popa, una sola cubierta y una longitud entre perpendiculares de unos 281 pies (alrededor de 85 metros) y unos 38 pies (11,5 metros) de manga. Se pueden considerar como los primeros buques graneleros, ya que para el momento eran la mejor opción para el transporte de cargas a granel. Estos buques fueron llamados como “*turret-deck*”.

Imagen 3:



<http://www.clevelandmemory.org/glihc/oretrade.html>

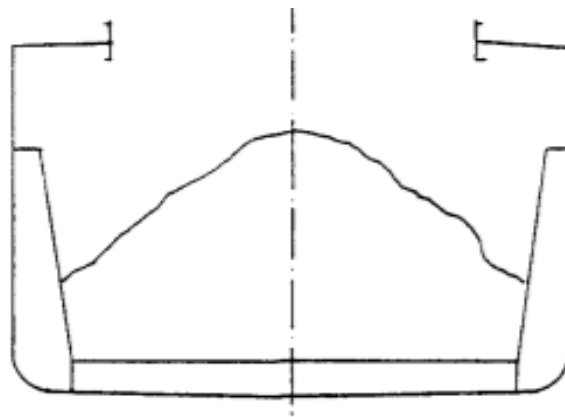
En 1907 se construye en Suecia el “*Polcirkelen*” un buque de 3000 DWT de doble casco construido para el transporte de mineral.

La construcción del “*Sir Ernest Cassel*” se considera de especial interés en cuanto a la evolución del buque granelero. Fue el buque de una sola cubierta más grande del

momento, eso permitía poder transportar grandes cantidades de carga a granel de un lado del océano al otro.

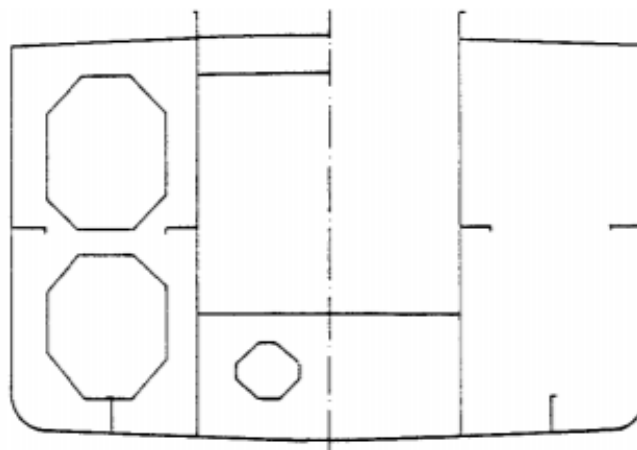
En 1917 es construido el primer buque “*Cubore*”, este buque se diferenciaba por tener el doble de distancia de fondo respecto a la normalidad de la época. Además, tenía tanques laterales estrechos de un 70% de la profundidad de la nave. Su sucesor fue el buque “*Marore*” (1922) diseñado para el transporte de hidrocarburos en los tanques laterales.

Imagen 4:



<http://www.clevelandmemory.org/glihc/oretrade.html>

Imagen 5:



<http://www.clevelandmemory.org/glihc/oretrade.html>

2. Clasificación de buques graneleros.

En este apartado hablaremos de las clasificaciones de los graneleros según su tamaño y también hablaremos de varios tipos de buques especiales.

2.1. Clasificación según su tonelaje.

Los graneleros se describen normalmente en función de su tonelaje de peso muerto (TPM), es decir, según su capacidad de carga. El tamaño más común en los graneleros son el *Handy-sized*, con un peso muerto de 10.000-40.000 TPM y, por lo general, de cuatro o cinco bodegas.

- Un granelero de tamaño *Handy-sized* se llama así porque sus dimensiones son estándar y tiene la capacidad de poder entrar en una gran cantidad de puertos en todo el mundo. Por este motivo son numerosos y una gran parte de la flota mundial de los graneleros son de este tipo. La capacidad de este tipo de buques es en torno a 40.000 TPM. Se emplean principalmente en tráficos entre puertos con restricción de tamaño o de calado, estos buques suelen tener un calado de 10 metros.

Imagen 6:



<http://worldmaritimenews.com/wp-content/uploads/2016/06/NORDEN-Decreases-Its-Handysize-Fleet-by-Four-Ships.jpg>

- Los graneleros *Handymax* se parecen en diseño a los graneleros *Handy-sized*. Este tipo de buques tienen una eslora no superior a los 200 metros. Las capacidades de este tipo de buques oscilan entre 40.000-60.000 TPM. Por lo general son de cinco bodegas y suelen estar equipados con grúas para la carga y descarga.

Imagen 7:



<https://vierlines.files.wordpress.com/2013/08/a211.png>

- Un *bulk carrier* de tamaño *Panamax*: Son mayores que los de tamaño *Handy-sized*, se le conocen como “*Panamax*” debido a que están diseñados con las dimensiones máximas, en particular la manga máxima, que pueden pasar a través del Canal de Panamá¹. Los buques *Panamax* por lo general tienen siete bodegas y, en la práctica, por lo general no más de 225 metros de eslora para cumplir con las restricciones de longitud impuestas por muchas terminales de carga. Son buques que oscilan entre 60,000-85,000 TPM. Esta categoría de buque se emplea ampliamente en el transporte de grandes cargas a granel como el carbón, cereales, bauxita y mineral de hierro.

Imagen 8:



<http://www.tsuneishi-g.jp/english/wp-content/uploads/sites/2/2014/10/wp-id-1833621320471.jpg>

¹ Las dimensiones máximas de un buque para transitar por el canal de Panamá son: eslora 289,5 m, manga 32,3 m y calado en agua dulce tropical 12,04 m

- Graneleros de tamaño *Cape-sized*, son aquellos graneleros mayores de 85.000 TPM. Muchos de estos buques oscilan entre 100.000 y 200.000 TPM. El buque *cape-sized*, pueden llegar a más de 16,5 metros de calado en su condición de máxima carga, estos buques pueden ser aceptados en pocos puertos del mundo y están dedicados al comercio de mineral de hierro y carbón. Los *cape-sized* de 120.000 TPM son denominados como *Handy-cape* o *Mini-cape*.

Imagen 9:



<http://worldmaritimenews.com/wp-content/uploads/2016/12/vale-sells-four-cape-size-bulkers-to-polaris-shipping.jpg>

- *VLBC (Very Large Bulk Carrier)*: Este tipo de buques son utilizados principalmente en las rutas entre Brasil / Europa y Australia / Japón. Son buques de más de 200.000 toneladas de peso muerto.

Imagen 10:



http://3.bp.blogspot.com/-RqxtxR_6IZQ/VTNMle2lzul/AAAAAAAAABak/_mFw8rFXVfc/s1600/stahl.jpg

Dentro de este tipo de buques encontramos buques denominados *Chinamax* o *Valemax* con un peso muerto de 380.00 a 400.000 TPM y una eslora de 360 a 362 metros, una manga de 62 metros y un calado de 22 a 23 metros.

Algunos de estos buques son de tipos especiales como los mineraleros, buques OBO y graneleros de carga solida/líquida, de este tipo de clases hablaremos a continuación.

- *Mini bulkers*: Además de las categorías *Handymax*, *Panamax*, *Cape-sized* y *VLBC* ya descritas, existen graneleros pequeños de menos de 10.000 TPM que se emplean principalmente en las rutas costeras, en aguas europeas y otras partes del mundo, llevando envíos más pequeños de cargas a granel a puertos más pequeños. Dichos buques tienen una bodega o dos como mucho, y su estructura interna es rectangular. Pueden ser conocidos como *Mini bulkers*, buques de carga seca o buques polivalentes.

Imagen 11



Archivo del autor

2.2. Clasificación según eslora máxima.

Además, se han construido una serie de *bulk carrier* con dimensiones máximas determinadas, para poder cargar y descargar en un puerto determinado aprovechando al máximo su capacidad. Por este hecho estas categorías tienen el nombre del puerto o la zona para lo que se ha construido:

- Los graneleros de *Kamsarmax* son versiones ligeramente más grandes de los buques *Panamax*. Con una longitud total de 229 metros y 82.000 TPM, este tipo de buques son capaces de cargar en el puerto de bauxita más grande del mundo, Port Kamsar en Guinea Ecuatorial.

- Dunkirkmax: Este tipo de buques son *Cape-sized* de 175.00 TPM y con una eslora máxima de 289 metros y una manga de 45 metros para así, poder entrar al puerto francés de Dunquerque, mediante su esclusa.
- Malaccamax: Son denominados a todos los buques de unas 300.00 TPM y una eslora máxima de 400 metros y un calado de 20,5 metros que pueden transitar a través del estrecho de Malaca.
- Setouchmax: Es denominado así a un VLBC de 205.00 TPM con un calado de 16,10 metros y una eslora máxima de 299,9 metros, destinado para el tráfico entre puertos en el Mar de *Stouch* (Japón).
- Seawaymax: Son todos los buques de tamaño máximo que pueden transitar a través de las esclusas del canal de San Lorenzo. Son buques con una eslora máxima de 225,5 metros, una manga de 23,77 metros y un calado de 7,92 metros. Estos buques tienen un peso muerto de entre 20.000 - 28.000 TPM.
- Woxmax: Son graneleros de 250.00 TPM con una eslora de 330 metros, una manga de 57 metros y un calado de 18 metros, que operan en las terminales de mineral de Australia occidental.

Imagen 12:



<http://www.fotosearch.es/IMB002/iblhwe03163169/>

2.3. Clasificación según su cargamento.

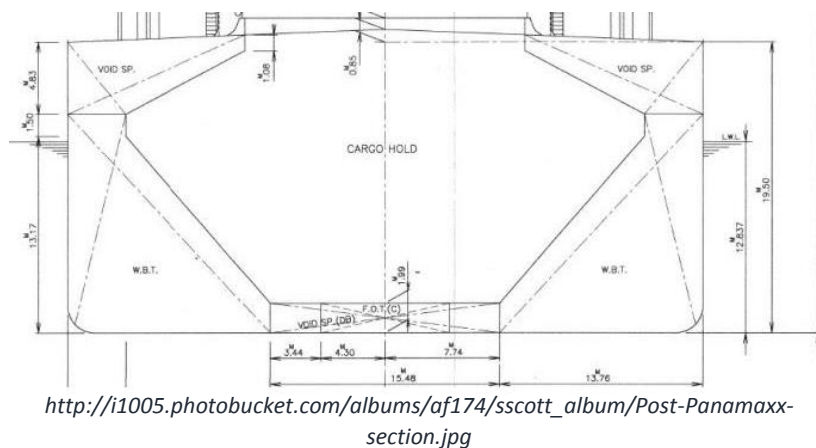
Dependiendo del diseño del buque para diferentes tipos de carga, en los graneleros se puede clasificar estos buques en:

- Mineraleros: Estos buques forman una parte decreciente dentro de la flota del tamaño del *cape-size*: había alrededor de 50 en 2008. Son barcos de una cubierta, dos mamparos longitudinales y bodegas centrales sobre el doble fondo, destinados al

transporte de mineral de hierro y otros minerales pesados. Las bodegas se caracterizan por tener los costados muy inclinados para que la carga fluya hacia el centro de esta, para estar al alcance de las grúas. Pocos Mineraleros han sido construidos en los últimos años. El Berge Stahl, 364.768 dwt, construido en 1986 es el buque mineralero más grande en servicio con una eslora de 342 metros.

- Graneleros de cargas combinada: Este tipo de buques son buques que podían cargar tanto carga solida a granel como líquida, pero no podían cargar ambas cargas en el mismo viaje. En 1975, estos tipos de buque comprendía el 43% de la flota, mientras que en los últimos 10 años solo representa un 5%, además la dificultad de la limpieza de las bodegas y el alto coste de mantenimiento ha favorecido su descenso. El propósito de estos buques es que el buque pueda adaptarse a cargar la carga más beneficiosa para la naviera.

Imagen 13:



- *Open hatch bulk carriers*: Este tipo de granelero, se caracteriza por ser de tamaño *Handy-sized* o *Handymax* y están diseñados para el transporte de madera empacada y pulpa de madera además puede cargar granos y cemento. Algunos tienen eslora suficiente para transportar tubos de perforación de longitud estándar para la industria offshore. Las bodegas de este tipo de buques son rectangulares (tipo *box*) sin ningún tipo de pliegue, al abrirse la escotilla queda toda la bodega al aire sin restricciones. Estos buques, generalmente, tienen medios de carga y descarga propios, mediante el sistema de grúas pórtico.

generalmente cada tapa de escotilla de este tipo de buque tiene una pequeña escotilla circular de 800 a 900 mm de diámetro para la carga de grano y cemento a granel. De este modo se evita el exceso de polvo en cubierta.

- *Wood chip carriers*: Son buques especialmente diseñados para el transporte de astillas de madera a granel para la industria papelera. Las bodegas de este tipo de buques tienen un gran puntal y carecen de tanques altos con el fin de aumentar el volumen de carga, ya que las astillas de madera no pesan y no presentan un corrimiento de carga. Este tipo de buques disponen tanto de grúas convencionales como de cinta transportadora para su descarga.
- *Bulk Carriers BIBO*: Son buques diseñados especialmente para el transporte de azúcar blanco a granel y equipados para descargar la carga granel y ensacarla en el momento de la descarga. Sus bodegas están acondicionadas para el control de humedad y temperatura. Un buque de estas características puede cargar o descargar azúcar en un régimen de 750 toneladas la hora, mediante sus cintas transportadoras y puede ensacar en una hora unas 300 toneladas en sacos de 50 kilos.
- *Bulk carriers Log/Timber*: Son buques diseñados para el transporte de productos forestales como troncos y madera empaquetada. Son buques de tamaño *Handy-sized*. Además de productos forestales, se pueden cargar, carga a granel y cargas pesadas. Existen buques cerrados herméticamente, debido a que están diseñados para la carga de productos forestales como la pulpa de madera. Estos buques se denominan TEFC (*Totally Enclosed Forestry*). Estos buques tienen una capacidad de ventilación elevada en las bodegas.

2.4. Bulk carriers con características propias.

Además de la clasificación por tamaño y por tipo de carga ya mencionada, existen una clase de graneleros con características propias, como son los *self-unloaders* y los *Conbulklers*.

- *Self-unloaders* (autodescargables) : Son graneleros equipados con sistemas de descarga por cintas transportadoras (*conveyor belt*) y con un “brazo” el cual permite descargar desde el buque para depositarlo en tierra. Este equipo es costoso de instalar y reduce el espacio disponible para la carga, pero reduce su estancia en puerto. No se cancela la descarga en circunstancias de lluvia, porque la carga está cubierta durante todo el proceso de descarga. El número de autodescargadores ha aumentado y su papel

probablemente continuará creciendo. Aunque la mayoría se encuentran en las categorías *handysize* y *handymax*, o incluso más pequeñas. Las cargas que transportan este tipo de buques son: carbón, piedra, yeso, fertilizantes, mineral de hierro, grano, arcilla, sal y bauxita.

- *Conbulk*ers: Los graneleros equipados para el transporte de contenedores se desarrollaron a partir de graneleros abiertos, y se demostró que eran adecuados para el transporte de contenedores cuando las circunstancias eran correctas. Las grúas de a bordo son adecuadas para el trabajo con contenedores. Los *conbulk*ers son capaces de llevar una amplia gama de cargas a granel, así como productos forestales, tuberías de perforación y contenedores.

Estadísticamente, los barcos de carga a granel tienen una participación de alrededor del 40% en el sector del transporte marítimo internacional. De ellos el 40% del mercado en términos de propiedades y operaciones son los países del sur de Asia como China, Japón y Corea del Sur. Además de estas naciones, Grecia es otro propietario y operador líder de los graneleros.

Imagen 14:



A partir de 2008 ya no se construyen *bulkcarriers* monocasco, debido a accidentes sufridos en este tipo de buques por problemas de corrosión, mantenimiento, etc... estos cascos tenían un espesor de 1000mm y 760mm.

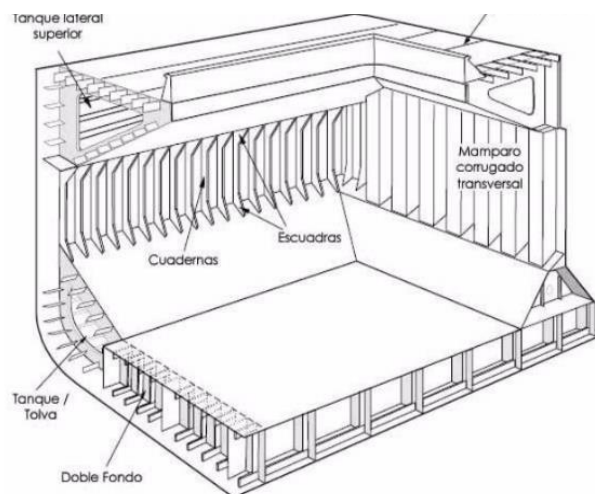
3. Bodegas.

Las bodegas son los espacios del buque destinadas para el transporte de la carga. Se enumeran de proa a popa, siendo la número uno la que se encuentra más a proa. Un buque granelero dispone de una bodega amplia sin entrepuentes y sin serretas en sus costados. Normalmente suele ser una bodega sencilla sin obstrucciones, debido a que se va a cargar un mineral o granos y al haber obstrucciones dificultaría el proceso de estiba.

Debido a que está diseñado para que, al caer el grano, se deslice hacia el fondo de la bodega, tiene forma de “U”, en su interior nunca se pueden dar estructuras que formen ángulos rectos, pues estos harían que el grano se depositara en ellas. Algunos buques tipo multipropósito dispone del denominado “*Tween Deck*” (entrepunte) el cual dificulta la estiba.

Cuando se transporten cargas pesadas, se suele forrar el plan de bodega por un entarimado de tabloncillos gruesos de madera, colocados a modo de tope, esta recibe el nombre de soleras.

Imagen 15:



<http://inspeccionesmaritimas.wikia.com/wiki/File:Bulk-carrier-hold-construction.JPG>

El acceso a las bodegas para la carga y descarga se realiza mediante las denominadas escotillas.

Así mismo las bodegas disponen de manguerotes de ventilación² con una capucha en forma de seta, situados en cubierta, estos aseguran la circulación de aire en el interior de las bodegas de forma natural y/o mediante ventiladores eléctricos.

² Ver página 46 (Manguerotes de ventilación).

En el interior de la bodega, de buques que carguen mercancías peligrosas, habrá detectores de entrada de agua y luces de bodega. Los detectores son unos sensores que detectan la humedad (se puede probar su efectividad acercando un paño húmedo). Estos deberán estar certificados.

El número “estándar” de bodegas de un *bulk carrier* “handymax” es 5, suele estar acompañado por grúas fijas en cubierta o bien con la cubierta despejada. Las grúas fijas sobre cubierta están dispuestas de tal forma que puedan dar servicio a las bodegas que se encuentran entre ellas.

Imagen 16:



<http://www.boatnerd.com/pictures/fleet/algowood.htm>

Debido a que si tenemos 5 escotillas serán 4 grúas, ya que estas tienen una movilidad de 360° sin problemas. Los buques “handymax”, equipados con grúas fijas están equipados para descargar en puertos que no dispongan de mecanismos de descargas propios.

3.1. Limpieza y lavado de bodegas.

Los requerimientos de limpieza y preparación de las bodegas para recibir un determinado cargamento a granel dependerán de la carga transportada anteriormente, así como de la nueva carga a transportar. En todo caso como norma general todas las bodegas deben limpiarse mediante un barrido, fregado o rascado y baldeo con agua salada a alta presión con el fin de remover todos los residuos de la carga anterior. La limpieza deberá ser cuidadosa cuando se embarquen cargas a granel destinadas a la alimentación (bien sea humana o de animales).

Desde el punto de vista de la limpieza se pueden clasificar las cargas en:

- Cargas limpias como granos, fertilizantes y arenas minerales.
- Cargas sucias como carbón o coque de petróleo.
- Cargas corrosivas como azufre o sal.

Normalmente la limpieza de las bodegas comienza con un barrido exhaustivo, después de retirar los restos de la carga anterior se realiza un fregado y un baldeo a presión mediante un sistema convencional de mangueras manejadas manualmente, también, se puede utilizar un sistema combinado de cañón con agua y aire (*Stromme Combijet, Victor Marine VP Watergun*, por ejemplo) o un sistema fijo de lavado.

La limpieza debe empezar siempre por la parte alta de la bodega, de este modo los residuos nunca mancharán las zonas ya baldeadas.

Imagen 17



<http://www.ottargentina.com.ar/eng/images/portfolio/zoom2.jpg>

Es considerado que el sistema combinado de cañón con agua y aire a presión es el que tiene una relación coste-beneficio más eficiente sobre todo cuando se trata de *bulkcarriers* tipo *Panamax* (el sistema más utilizado en este caso es el *Combi-jet*³(cuyo chorro alcanza los 40 metros y tiene un consumo de agua de unos 20m³/hora) o *Capesize* (para este tipo de buque se utilizan los *Maxi-jet*, que llega a alcanzar los 80 metros, tiene un consumo de entre 80 y 120 m³/hora).

Cuando se trata de limpieza de residuos de cargas muy sucias podría ser necesario el uso de equipos de alta presión (normalmente manejados desde una grúa o una plataforma elevada). Para algunas cargas, incluso, puede ser necesario emplear algún producto químico de limpieza que sea ambientalmente adecuado para el medio marino.

³ Sección del plano de limpieza de la bodega en página 32.

Generalmente las bodegas se limpian y baldean durante el viaje en lastre y en alta mar, en zonas que no sean ambientalmente sensibles.

El reachique se realiza, con el buque aporado, mediante el sistema de achique del buque, se utilizan las bombas de reachique o en el caso de los grandes *bulkcarriers* mediante un sistema de eyectores alimentados por una bomba de servicios generales. En el caso que el buque realizará la limpieza en puerto, entonces el agua de lavado deberá ser enviada a un tanque de lastre o un tanque destinado a residuos (si se dispone). Es común que con el reachique del agua de limpieza de algunas cargas el sistema de achique pueda atascarse con las partículas de mayor tamaño. Por tanto, es necesario instalar un cesto portátil de acero que ajuste adecuadamente en el hueco de la tapa del pozo de la sentina, a modo de filtro.

En el transporte de cargas a granel hay que considerar los siguientes estándares de limpieza:

- Limpieza hospital (*Hospital clean*): Es el tipo de limpieza más exigente. Requiere que el estado de la pintura de las bodegas esté 100% intacta. Es un requerimiento para ciertas cargas como el arroz a granel, algunos minerales (como el caolín) o ciertos tipos de pulpa de madera de alta calidad. Generalmente son buques destinados especialmente a este tipo de cargas.
- Limpieza para granos (*Grain clean*): Se requiere este tipo de limpieza en la mayoría de cargas de grano (alúmina, azufre, fertilizantes, cemento...). Suele ser el estándar más común.
- Limpieza normal (*Normal clean*): Generalmente es suficiente con un barrido que recoja todos los residuos de la carga anterior, seguida si es necesario, de un baldeo general de las bodegas. Este tipo de limpieza se aplica cuando se van a embarcar cargas similares o compatibles con la carga anterior.
- Limpieza con palas (*Shovel clean*): Este tipo de limpieza refiere a que las bodegas queden libres de todos aquellos residuos que puedan llegar a ser recogidos por un pequeño *buldócer* o mediante palas y un barrido tosco realizado por los estibadores o la propia tripulación.
- Carga sobre residuos (*Load on top*): Tal como su propio nombre indica su nombre significa que la nueva carga se embarca sobre los residuos de la carga anterior. Esto suele aplicarse a buques que están dedicados a un tráfico específico con la misma carga.

3.2. Limpieza de bodegas de carga para embarque de granos.

Cuando la próxima carga a embarcar sea grano a granel normalmente se requerirá lograr el estándar de limpieza “*Grain clean*”. Según el “*National Cargo Bureau*” de los Estados Unidos requiere:

- Los espacios de carga deberán estar totalmente limpios y libres de residuos de la carga anterior.
- Las bodegas estarán sin pintura desprendida y/o cascarilla de óxido.
- Dado que generalmente será necesario el lavado de las bodegas, es necesario que luego queden completamente secas.
- Las bodegas estarán bien ventiladas para tener la seguridad de que están libres de olores y libres de gases.

Una vez en la mar, primero se procederá a barrer los planos y mamparos de las bodegas y se retirarán todos los residuos mediante puntales, grúas o maquinillas portátiles de residuos (*mucking winckes*). A continuación, se procederá al baldeo de las bodegas con agua salada a alta presión utilizando los medios disponibles a bordo.

Cuando sea seguro abrir las escotillas, se limpiarán a mano y se lavará con agua dulce a alta presión la parte inferior de todos los paneles, las juntas y los carriles de las brazolas. Todos los residuos que se acumulen en los pozos de sentina deben ser removidos, mediante el eductor de achique o de forma manual, así evitaremos que se acumule agua en la popa de las bodegas. Una vez retirados todos los residuos comprobaremos que todas las válvulas funcionan correctamente y que no tienen pérdidas.

Cuando se prepara la bodega para cargar grano puede ser necesario un enjuague de la bodega con agua dulce. Es por eso que conviene llenar de agua dulce algún tanque apropiado para ello en el puerto de descarga anterior.

Una vez terminadas todas las operaciones de limpieza se dejan secar las bodegas mediante ventilación natural, si el tiempo lo permite, o mediante ventilación mecánica o con deshumidificadores. Si es posible, durante el día se abren las escotillas para que las bodegas se mantengan ventiladas y secas.

Cuando es necesario utilizar los tanques altos de lastre para la carga de grano, también deberán ser limpiados y baldeados cuidadosamente para eliminar cualquier residuo de la carga o fango procedente del lastre. Se dejarán abiertos los registros de cubierta y los del fondo para facilitar la circulación de aire y que se sequen lo más rápido posible.

Cuando se van a cargar granos, que sean altamente susceptibles al descoloramiento y al manchado, solamente se podrán embarcar en bodegas que tengan la pintura intacta, sin óxido o acero al descubierto. Hay que tener en cuenta además que las pinturas que se utilicen en las bodegas y en la parte interna de las escotillas deben tener certificado de compatibilidad con el grano a transportar. No se puede pintar ninguna zona de bodega o escotilla durante el viaje, a menos que haya tiempo suficiente para que la pintura seque y quede libre de olores. Normalmente las pinturas requieren un tiempo de curado de al menos una semana.

Algunas cargas requieren de fumigación después de la carga, durante el viaje o antes de iniciar la descarga. Esta operación se puede realizar mediante la introducción de pastillas o un gas desinfectante en la carga.

3.3. Fumigación de bodegas.

La fumigación es un procedimiento utilizado en todo el mundo para combatir plagas que puedan infestar a todo tipo de productos. Se distingue entre los siguientes tipos de infestación.

- Infestación introducida: Insectos y ácaros entran en las bodegas de carga junto a otras mercancías.
- Infestación cruzada: La infestación pasa de un producto a otro.
- Infestación residual: La infestación permanece en el buque después de la descarga de un producto y ataca a la siguiente.

3.3.1. Fumigantes de uso a bordo.

Un fumigante es un producto químico que en determinadas condiciones y en una concentración determinada resulta letal para una serie de plagas. Puede aplicarse en estado sólido o líquido, pero siempre actúa en estado gaseoso, mezclándose con el aire a nivel molecular, así se permite una difusión rápida y la penetración en el producto o espacio fumigado. No se puede confundir un fumigante con un insecticida, que se aplican por pulverización o rociado sobre la plaga a tratar, actuando con los insectos por contacto directo. Los insecticidas no reaccionan con el aire, sino que son partículas sólidas en el aire o bien aerosoles.

La dosis de fumigante a aplicar suele darse en gramos/m³, mientras que la concentración puede expresarse en partes por millón (ppm) o gramos/m³. Para que el gas fumigante actúe con eficacia es necesario considerar los siguientes parámetros:

- Tipo de infestación (roedores, insectos, huevos, larvas...)
- Tipo de fumigante a emplear
- Concentración de gas y método de aplicación
- Temperatura
- Tiempo durante el cual tiene que actuar el fumigante
- Tipo de carga y si se transporta a granel o embalada
- Equipo de detección de gases para el fumigante a utilizar e instrucciones de utilización
- Métodos de ventilación

Existen diferentes tipos de fumigantes, pero los más utilizados para el tratamiento de la carga son:

- Bromuro de metilo (CH₃Br): Utilizado en situaciones en las cuales es necesario proceder a un rápido tratamiento de las mercancías o del espacio de la carga. Este tipo de fumigación solo se permite cuando el buque está anclado o atracado en puerto, con la finalidad de desinfectar al buque antes de realizar la descarga. No debería ser utilizado en espacios en los que los sistemas de ventilación no sean adecuados para que puedan salir todos los gases. Una vez realizada la fumigación, antes de comenzar la descarga, se deben ventilar las bodegas, incluso si fuese necesario con aire a presión. El protocolo de Montreal⁴ ha restringido el uso del bromuro de metilo dado que es un compuesto orgánico halogenado y es una de las sustancias reductoras de la capa de ozono.
- Fosfina: En las fumigaciones a bordo, en buques atracados o en tránsito, se utiliza una variedad de preparados que producen fosfina (fosfuro de hidrógeno). Hay distintos métodos de aplicación entre los que se incluyen; *Surface application* (tratamiento en superficie), *probing, sub-surface treatment or trench-in* (sonda), *perforated tubing laid at the bottom of spaces* (utilización de un tubo perforado que se coloca en el fondo de las bodegas), *recirculation systems and gas-injection systems* (sistemas de recirculación y de

⁴ Protocolo de Montreal: Es un protocolo de la Convención de Viena para la Protección de la Capa de Ozono.

inyección de gas). La periodicidad del tratamiento dependerá de la temperatura, la profundidad de la carga y del método utilizado.

Se debe garantizar que todos los desechos y residuos de activos que produzcan gas fosfina, se eliminan de modo apropiado (incinerándolos o eliminándolos en tierra), ya que representan un riesgo importante para las personas que puedan entrar en contacto con ella en la mar.

La fosfina pura es incolora, inodora, tóxica para los insectos, los humanos y otras formas de vida animal e inflamable a temperatura ambiente. La fosfina tiene una tensión de vapor alta lo que permite penetrar fácilmente a través de la carga y dado que es muy tóxica en dosis bajas es muy utilizada como fumigante.

3.3.2. Fumigación en puerto.

La fumigación y ventilación de las bodegas de carga vacías se realiza siempre en puerto, con el buque atracado o fondeado. No se podrá salir del puerto sin un certificado que declare al buque exento de gases. Antes de fumigar hay que desembarcar a todos los tripulantes, hasta que el fumigador responsable emita el certificado conforme el buque se encuentra libre de gases.

3.3.3. Fumigación continuada en tránsito.

La aplicación de la fumigación se debería realizar con aprobación de la Administración del Estado rector del puerto. Hay dos tipos de fumigación en tránsito:

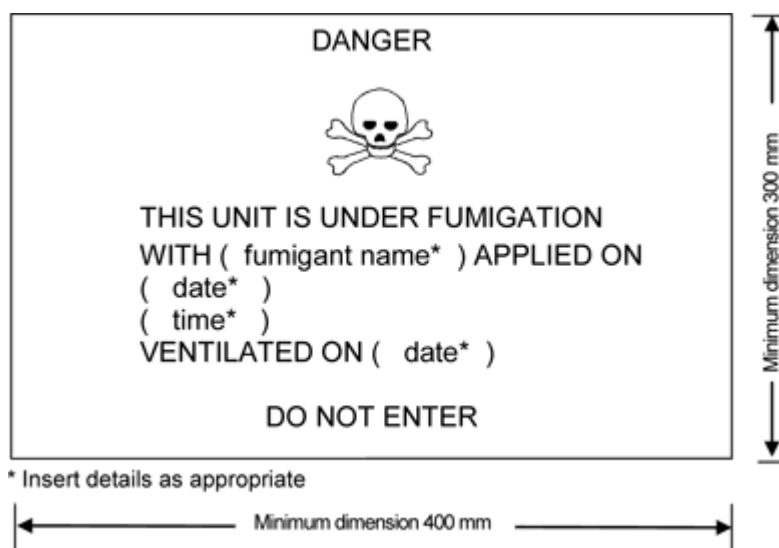
- Durante el viaje se prosigue intencionalmente al tratamiento de un espacio herméticamente cerrado que no ha sido aireado antes.
- Fumigación de carga en puerto tras la cual se ha llevado a cabo cierto grado de aireación, pero sin que haya expedido un certificado de autorización relativo a la bodega. Para iniciar una fumigación en puerto y que deba ser continuada en tránsito, se designarán a dos tripulantes (que hayan recibido la formación adecuada) que asumirán la responsabilidad de garantizar las condiciones de seguridad en todos los espacios del buque.

Estos responsables deben disponer de las fichas de datos de seguridad del fumigante, propiedades peligrosas, recomendaciones de detección del fumigante en el aire, síntomas de envenenamiento y procedimientos de primeros auxilios para casos de emergencia. Además el buque deberá llevar a bordo:

- La "Guía de primeros auxilios para uso en caso de accidentes relacionados con mercancías peligrosas".
- Equipos de detección de gases y repuestos para el fumigante.
- Instrucciones para la eliminación de los residuos del fumigante.
- Un mínimo de cuatro juegos de equipos respiratorios.

Cuando se aplique el fumigante, se deberán colocar señales de advertencia en todas las entradas de los lugares que contienen la carga fumigada y aquellos espacios que se consideren peligrosos durante la fumigación. En las señales figuran el fumigante utilizado y la fecha y hora de fumigación.

Imagen 18:



La fumigación de granos orgánicos y otros productos químicos está prohibida por los organismos de certificación agrícola ecológica.

3.3.4. Métodos de fumigación.

Hay varios métodos de aplicación del fumigante:

- Aplicación de las tabletas o pallets sobre la superficie de la carga (*Surface application*): Se genera una concentración elevada de gas en el espacio vacío de la bodega de modo que resulta letal para los insectos en la parte alta de la carga, pero con poca penetración hacia la parte baja de la carga. Presenta un inconveniente; que puede filtrarse al exterior a través de las escotillas y además no permite recoger los residuos remanentes en forma de polvo.

- Aplicación de las tabletas o pallets mediante sondeo en la carga (*probing or trench-in*): Consiste en introducir tubos metálicos en la carga a granel unos cuantos metros, luego se meten las tabletas en los tubos y éstos se retiran de nuevo. Este método permite una penetración mayor que con el método anterior pero que no suele ser suficientemente efectiva a no ser con bodegas de poco puntal y en viajes largos. Cuanto mayor sea la profundidad, mayor será la efectividad. Tampoco permite recoger los residuos del fumigante.
- Aplicación de las tabletas o pallets introducidas en bolsas mediante sondeo en la carga (*probing or trench-in*): Es similar al método anterior, pero presenta la ventaja que permite retirar las bolsas.
- Aplicación de las tabletas o pallets introducidas en tubos de plástico previamente colocados dentro de la carga: Se colocan unos tubos con orificios hasta el plan de las bodegas y al completar la carga se introducen las tabletas en esos tubos. Este método nos permite una buena distribución del gas entre la carga.
- Aplicación mediante sistemas de recirculación y de inyección de gas (*recirculation or J-system*): El método de recirculación aumenta el ritmo de penetración y disminuye el tiempo de fumigación. Los paquetes de fumigante se colocan sobre la superficie de la carga o enterrados y la fosfina generada se recircula a través de unas tuberías desde la parte superior de la carga hasta el plan de bodega mediante un ventilador de tal modo que se reduce el tiempo de fumigación a prácticamente la mitad.

Imagen 19:

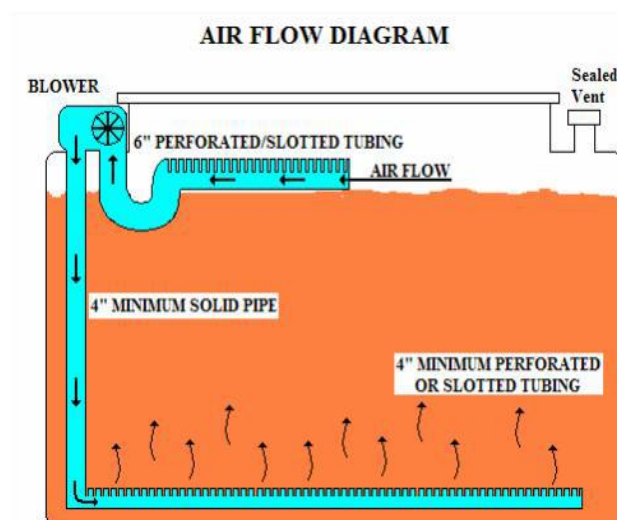
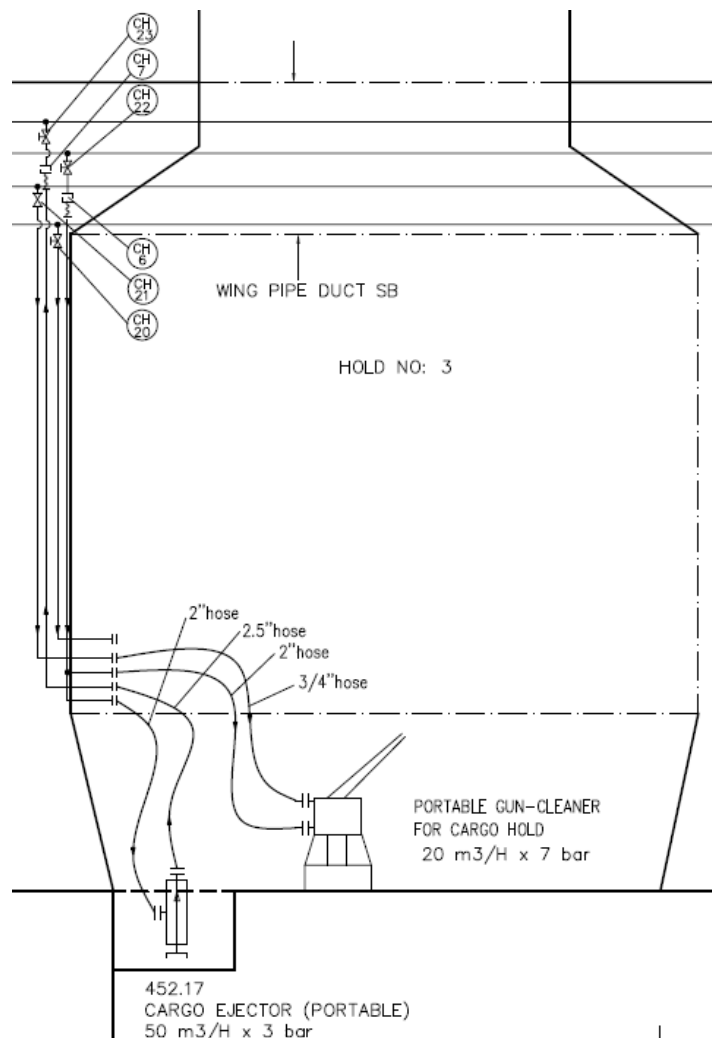


Imagen 19: <http://sailor-ru.narod.ru/chapter2/2-15.htm>

Método de aplicación y cantidad de fosforo de aluminio requerido por 28,3 m ³ de volumen de carga	Profundidad de la carga			
	< 6 m	6 – 12 m	12 – 20 m (Handymax/ Panamax)	>20 m (Capsize)
Superficie: 45 g	9 días	15 días	No aceptable	
Sondeo: 45 g	8 días	15 días	18 días	No aceptable
Recirculación: 33 g	4 días	7 días	9 días	No aceptable
Recirculación: 45 g	3,5 días	3,5 días	3,5 días	3,5 días

Tiempo mínimo de fumigación en días de acuerdo a la altura de la carga (según: USDA Fumigation Handbook).

Imagen 20



Fuente: Planos "SPAR LYRA"

4. Tapas de escotillas.

Las escotillas son la abertura rectangular practicada en la cubierta de buque y a través de las cuales se realizan las operaciones de carga y descarga de las bodegas, las escotillas están formadas por brazolas verticales reforzadas por los barraganetes verticales sobre cubierta y con refuerzos longitudinales que proporcionan rigidez estructural.

Las tapas de escotillas (*hatch covers*) se utilizan para cerrar y tapar las escotillas, evitando la entrada de agua a los espacios de carga. Es decir, cumplen las siguientes funciones:

- En posición abierta proporciona acceso a las bodegas para llevar a cabo la función de carga y descarga.
- En posición cerrada cierran la escotilla de forma que queda estanca a la intemperie.

Las escotillas tienen que cumplir los requerimientos establecidos en el Convenio SOLAS, el Convenio Internacional sobre Líneas de Carga, las reglas de la Sociedad Clasificadora y las recomendaciones de la IMO y la OIT. Además deben estar certificadas⁵.

Actualmente las aperturas de las tapas de bodega se realizan bien con cables, grúas o maquinillas de abordaje, cilindros hidráulicos, motores eléctricos o hidráulicos o incluso mediante grúas en tierra. Las tapas de escotilla deben cumplir una serie de características, entre las cuales destacan:

- Resistencia: La estructura de las tapas tienen que resistir las cargas generadas en el interior de la bodega (como las debidas al *sloshing*) También tienen que resistir las cargas generadas en el exterior de la escotilla (como los golpes de mar).
- Seguridad: Las escotillas deben de poder operarse en condiciones de asiento y escora especificados. Las tapas de escotilla disponen de medios para evitar que se deslicen en sentido transversal y longitudinal.
- Estanqueidad a la intemperie: Las tapas de escotilla tienen que garantizar estanqueidad en todas las condiciones atmosféricas y de mar posibles, además, en caso de tratarse de buques OBO (*Ore Bulk Oil*) y buques OO (*Ore Oil*), tampoco pueden tener pérdidas de carga hacia cubierta.

⁵ Ejemplo certificado de escotillas, ver Anexo página 124.

Las estanquidades entre paneles se consiguen mediante una barra de acero que aprieta contra una junta de goma y entre la junta de la tapa. Esta junta debe ser elástica y de fácil mantenimiento.

El diseño de las tapas de escotilla tiene que ser muy estudiado, debe estudiarse a las deformaciones y flexiones que experimenta el casco durante las operaciones de carga y descarga y en la navegación en condiciones de mal tiempo.

El mantenimiento de las tapas de escotilla es muy importante, hay que llevar a cabo un mantenimiento exhaustivo siguiendo las instrucciones del fabricante. Un mantenimiento inadecuado es una causa importante de muchos defectos en la escotilla.

El medio marino es duro y los graneleros operan en condiciones más fatigadoras que aquellas a las que están expuestas la mayoría de buques. El aire húmedo cargado de sal, el agua sobre la cubierta y las cargas polvorientas, todo esto repercute en la estructura y los elementos del buque, que se deterioran rápidamente si no se toman las medidas preventivas apropiadas.

4.1. Tipos de tapas de escotillas.

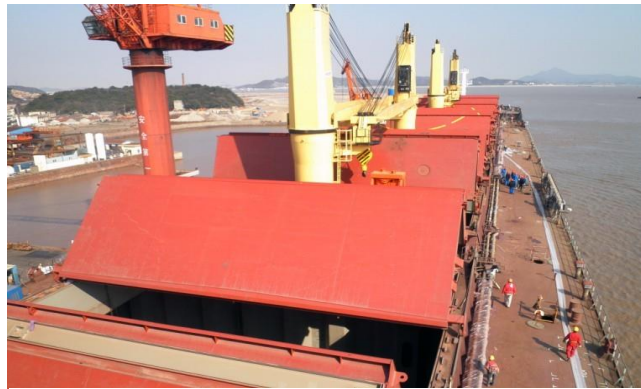
Hay diferentes tipos de tapas de escotilla dependiendo del tipo de buque. En los últimos 30 años se han desarrollado una variedad de tipos de tapa de escotilla para diferentes situaciones. Estos incluyen *pontoon and taurpalin*, *folding*, *single flap*, *piggy-back*, *lift-away*, *coiling* y el *rolling* el cual es el más común a bordo de los *bulk carrier*.

- *Pontoon and taurpalin* (pontón y encerado): Consisten en una serie de pontones colocados transversalmente que abarcan toda la manga de la escotilla, se encuentran arimados entre sí, pero sin ningún sistema de estanqueidad entre juntas. Para asegurar la estanqueidad se cubre todo el conjunto de pontones con dos o más capas de encerados de lona que se aseguran mediante barras metálicas y cuñas de maderas apretadas entre los galápagos y la propia brazola. Para evitar que los encerados se levanten con el viento debido a los golpes de mar estas se cubren con redes y cabos que estas se hacen firmes en los cáncamos dispuestos en la brazola.
- *Folding* (plegables): Este sistema de tapas se utiliza, generalmente, en buques de carga general y pequeños graneleros. Hay que distinguir las tapas de estiba baja (*single pull*) y las de estiba alta (*direct pull*). Las *single pull* están formadas por un conjunto de paneles unidos mediante cadenas o bielas situadas en los laterales de las tapas. Se abren

mediante un cable de acero operado mediante una maquinilla, puntal, grúa o un motor electro-hidráulico, situado en la zona de proa o en la zona de popa. Los paneles son independientes entre sí, están unidos mediante las cadenas laterales y quedan estibados a proa o a popa de la brazola transversal.

Las tapas *direct pull* están formadas generalmente por dos paneles articulados entre sí mediante bisagras, uno de los paneles va acoplado a un sistema de bisagras situado a un extremo de la escotilla. Se abren y cierran de forma manual mediante cables de acero operados por máquinas, grúas o puntales, aunque lo más habitual es que estén operados mediante pistones hidráulicos (*powered folding*) internos o externos. Se trincan de forma automática o manual.

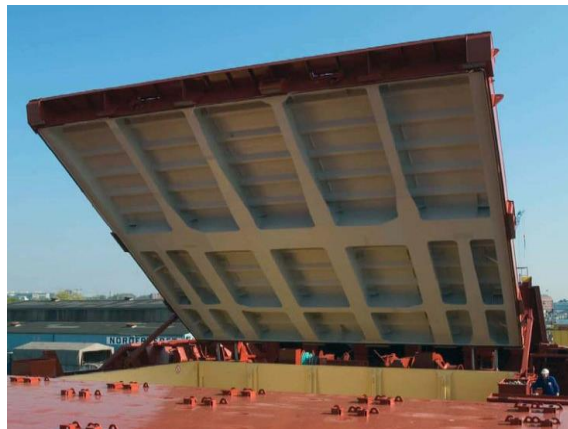
Imagen 21:



<http://www.zrgroup.cn/pic/20125716640527.jpg>

- *Single flap*: Es un tipo de escotilla formado únicamente por una tapa de apertura que mediante potentes cilindros hidráulicos queda totalmente vertical en uno de los extremos de la escotilla.

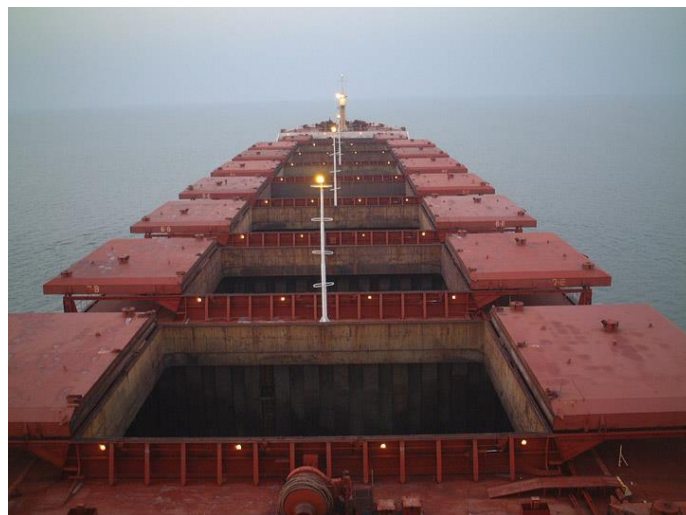
Imagen 22:



<http://www.ttsgroup.com/Products/Single-flap-hatch-cover/>

- *Rolling* (sobre ruedas): Se trata de tapas de apertura lateral formadas por un único panel que se abre hacia un lado de la cubierta, también puede estar formado por dos paneles abriéndose cada uno hacia un costado diferente (*side rolling type*).
- Las hay de apertura longitudinal que abren proa a popa (*end rolling type*). Cada panel tiene cuatro ruedas que giran sobre una guía situada a ambos lados de la brazola y que se extiende hacia los costados. Para abrir las tapas hay que subir los paneles, esta operación se realiza mediante cilindros hidráulicos situados a ambos lados de la brazola, que elevan las ruedas a nivel del carril de rodadura. Los paneles se pueden abrir o cerrar mediante un sistema de cremallera/piñón (*rack and pinion*) donde la cremallera va situada en el centro de la parte inferior de los paneles y el piñón por fuera de a brazola engranado en la cremallera. Otro sistema de apertura es mediante un motor electro-hidráulico que engrana una cadena y abre varias tapas al mismo tiempo. Este sistema es muy utilizado en los grandes graneleros, buques OBO y buques OO. En los buques VLOC (*very large ore carrier*) se instalan tapas formadas por un único panel ya que su cubierta es de gran tamaño.

Imagen 23:



http://www.sms-marinesystem.com/ENG/prod01_3.html

- *Piggy-back* (acuestas): Este sistema de tapas consiste en la estiba de un panel sobre el otro, de modo que un panel se eleva mediante gatos hidráulicos permitiendo que el otro panel (provisto de dos ruedas por cada lado) se pueda estibar debajo. Una vez estibado uno encima del otro, se mueven ambos paneles hacia proa o popa de la escotilla para dejar le hueco libre donde se van a realizar las operaciones de carga y descarga. Los paneles se

mueven mediante un sistema de cadenas accionadas por un cabestrante o por motores eléctricos internos que harán girar las ruedas.

La ventaja de este sistema de escotilla es que no ocupa espacio adicional en cubierta, es por eso que es un sistema muy utilizado en buques como los “*open bulk carriers*” y “*conbulk*ers” que tienen escotillas con una abertura de hasta un 80% de la manga del buque.

Cuando el número de paneles que se pueden apilar es mayor de dos a este tipo de escotillas se les denomina como *stacking* o *multi-piggy-back*, estos tienen la ventaja que dejan un hueco libre mayor que las escotillas de apertura *piggy-back* normales. Un sistema derivado de este y muy utilizado en buques pequeños es el de apertura mediante una grúa de pórtico, que se desplaza a lo largo de la brazola.

Imagen 24:



<http://www.ttsgroup.com/Products/Piggy-back-hatch-cover/>

- *Lift-away* (tapas tipo pontón): Es un sistema de tapas independientes que no se encuentran unidos entre sí ni tienen medios de apertura o cierre. Cada pontón dispone de dispositivos para situarlo fácilmente entre las guías dispuestas en la brazola, además disponen de medios de trinca periféricos. Los pontones se levantan con una grúa y se estiban en cubierta o en el propio muelle, para dejar acceso libre a las bodegas.

Es poco probable que este tipo de tapa de escotilla se encuentre en buques graneleros, exceptuando algunos “*mini bulkers*” y buques de productos forestales.

Imagen 25:



<http://www.cargotec.com/en-global/newsroom/media-bank/solutions/Pages/default.aspx>

- **Coiling (enrollables):** Este sistema de tapa de escotilla es conocido vulgarmente como “*rolltite*”. Este sistema estiba la tapa de escotilla alrededor de un tambor como si se tratara de una persiana. Está formada por varios paneles que cubren todo el hueco de la escotilla y están articulados mediante bisagras. La apertura y cierre se realiza mediante un motor eléctrico o hidráulico que tienen la ventaja de ocupar poco espacio. Se suele emplear en buques de tamaño pequeños o en buques utilizados en la navegación en ríos y canales.

Imagen 26:



<http://www.blommaertalu.com/nl/producten-voor-de-scheepvaart/friesche-kap-luiken>

5. Meteorología de las bodegas.

La ventilación tiene como finalidad el cambiar el aire que se encuentra confinado en un espacio de carga o cualquier otro tipo de compartimiento, por aire más puro y fresco. La falta de ventilación puede causar que ciertas mercancías se dañen por humedad, calor, sudor de la carga, o que por la exhalación se acumulen gases nocivos perjudiciales para ciertas mercancías e incluso gases tóxicos o inflamables peligrosos para la seguridad de las personas o el propio buque. Una buena ventilación necesita de una circulación constante de aire en las bodegas, que permita que el calor, gases, humedad, olores, etc... puedan ser enviados al exterior mediante los manguerotes.

5.1. Generalidades.

- Composición del aire: El aire atmosférico es una mezcla de nitrógeno (N) 78,03%; oxígeno (O) 21%; dióxido de carbono (CO₂) 0,03% y alrededor de un 0,93% de gases inertes como el neón (Ne), helio (He), criptón (Kr), xenón (Xe), ozono (O₃), vapor de agua (H₂O)... En cuanto al estudio de la meteorología en las bodegas el componente más importante a tener en cuenta es el vapor de agua, su porcentaje puede variar desde un ambiente muy seco a un ambiente muy húmedo.
- Humedad de saturación (H_s): Se trata de la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener un metro cúbico de aire en unas condiciones determinadas de presión y temperatura. Este valor aumenta si la temperatura aumenta, cuando baja la temperatura el vapor condensa formando pequeñas gotas de agua líquida.
- Humedad absoluta (H_a): Es la cantidad de vapor de agua que contiene un metro cúbico de aire a una temperatura determinada.
- Humedad relativa (H_r): Es la relación entre la humedad absoluta del aire y el que podría llegar a contener si estuviera saturado. Este valor se presenta en tanto por cien.
- Punto de rocío: Es la temperatura a partir de la cual comienza a condensar el vapor de agua, produciendo una especie de neblina o si la temperatura fuese inferior a 0°C escarcha. Cuando el aire se satura (H_r =100%) se alcanza el punto de rocío.

El psicrómetro sirve para determinar el punto de rocío, consiste en dos termómetros; uno seco que mide la temperatura real, y otro húmedo o mojado. Su bulbo está rodeado por una muselina colocada dentro de un pequeño recipiente de agua que la humedece.

El viento que circula alrededor de los termómetros hace que parte del agua se evapore y enfríe el termómetro, ya que el agua, para evaporarse, toma calor del termómetro húmedo y esto hace que descienda su temperatura, de este modo cuanto más seco esté el aire, más rápido se evaporará el agua y más se enfriará el termómetro. Cuando las lecturas de ambos termómetros sean iguales, el aire estará saturado.

5.2. Sudor del casco y de la carga.

Llamamos sudor a la condensación que se forma sobre las superficies y sobre las mercancías transportadas debido a la incapacidad del aire frío para almacenar tanto vapor de agua en suspensión. Hay que tener en cuenta que cuanto mayor es la temperatura, mayor cantidad de vapor de agua admitirá. Si tenemos una bodega a 25°C y una humedad relativa de 80%, sabemos que todavía admitirá un 20% más de humedad hasta que sature. Si la temperatura de esta bodega fuese disminuyendo, aunque la humedad absoluta permanecería constante, la humedad relativa aumentaría, hasta alcanzar el 100% (saturación), si continuara enfriando el vapor de agua empezaría a precipitar.

Sudor del casco

El sudor del casco ocurre cuando la condensación se produce sobre el casco del buque. Se genera cuando la temperatura del punto de rocío de un espacio de carga es mayor a la temperatura de la estructura que lo rodea. Eso acostumbra a ocurrir cuando se embarcan mercancías en climas tropicales o bien cargas que desprenden calor, de este modo las bodegas también están más calientes.

En estas bodegas habrá mucho vapor de agua de modo que si se navega hacia zonas más frías, se originará una bajada de temperatura en la bodega, esto provocará una condensación del aire de la bodega, mojando el casco, planchas y cielo de la bodega.

Este efecto empeora cuando las cargas transportadas son higroscópicas ya que al enfriarse también desprenden vapor de agua, contribuyendo a la formación de sudor del casco. Este efecto se puede evitar o minimizar creando una fuerte circulación en los espacios de carga.

Imagen 27:



<http://www.american-club.com/page/rice1>

Sudor de la carga:

El sudor de la carga se produce cuando la condensación se produce directamente sobre la carga y se genera debido al contraste entre la temperatura de la carga cuando es más baja que la del aire de la bodega. Esto ocurre generalmente en mercancías metálicas, lo cual les puede causar graves daños por oxidación, decoloración...

Suele ocurrir cuando se embarca la carga en zonas de clima frío y se va a navegar por zonas más cálidas. Cuando el buque alcanza una zona de mayor temperatura, la humedad que se evapora de otras cargas o de la misma madera de estiba, sube el punto de rocío del aire por encima de la temperatura de la carga metálica, originándose condensación sobre esta.

Imagen 28:



<http://www.american-club.com/page/rice1>

5.3. Evitar daños por condensación.

Si se logra mantener la temperatura del punto de rocío del aire de las bodegas por debajo de la temperatura del casco y de la carga, entonces no se formará condensación. Es por eso que es tan importante controlar el punto de rocío de las bodegas o espacios de carga. Normalmente el buque lleva psicrómetros situados en las inmediaciones del puente, es fácil hallar la temperatura del punto de rocío del aire exterior. Sin embarco hallar la temperatura del punto de rocío de una bodega es más complicado. Se puede conseguir mediante la medición con psicrómetros o higrómetros colocados en distintos puntos de la bodega alejados de las entradas de aire. Pero para hallar el punto de rocío es necesario que haya una circulación de aire en la bodega (ya que este debe circular a través de la muselina del termómetro húmedo). En las bodegas se suele utilizar un psicrómetro de aspiración (Assman) o de giro.

Imagen 29



<http://museovirtual.csic.es/csic75/instrumentos/psicrometro/img/psicrometro2.jpg>

Este consta de un armazón, que sujeta a los dos termómetros y que va montada a un mango que gira libremente. Este se puede utilizar con la ventilación de la bodega parada, girándolo por encima de la cabeza hasta que la temperatura del termómetro húmedo es constante.

Si la temperatura del punto de rocío en el interior de la bodega es superior a la temperatura del aire exterior, entonces habrá que renovar inmediatamente el aire de la bodega

introduciendo aire seco del exterior, o bien reducir la humedad de la bodega utilizando deshumificadores. Es decir:

- Hay que ventilar si la temperatura del punto de rocío del aire en el interior de la bodega es superior a la temperatura de punto de rocío del aire exterior.
- No hay que ventilar con aire exterior si la temperatura del punto de rocío del aire en el interior de la bodega es menor que la temperatura del punto de rocío del aire exterior. Cuando no es posible medir la temperatura del punto de rocío en el interior de la bodega, entonces la necesidad de ventilación se determinará comparando la temperatura de la carga en el momento de su embarque con la temperatura del aire exterior a lo largo del viaje. Se aplicará entonces la regla de los tres grados.

Regla de los tres grados:

- Ventilar: Si la temperatura del termómetro seco del aire exterior es al menos 3°C inferior a la temperatura media de la carga en el momento del embarque.
- No ventilar: Si la temperatura del termómetro seco del aire exterior es menos de 3°C más fría que la temperatura media de la carga en el momento del embarque.

Fecha	Hora	Aire exterior			Bodega N° __			Bodega N° __			Vent. (S/N)	T° agua mar	Anota- ciones
		Ts	Th	Pr	Ts	Th	Pr	Ts	Ph	Pr			
	00:00												
	04:00												
	08:00												
	12:00												
	16:00												
	20:00												
Temperatura de la carga en el puerto de embarque: _____°C													
El Primer Oficial: _____						El Capitán: _____							
Ts=Temperatura Termómetro seco				Th=Temperatura Termómetro húmedo				Pr= Punto de rocío					

Elaboración Propia

La ventilación basada en la regla de los tres grados tiene como ventaja que solo se requiere medir la temperatura de la carga en el momento del embarque y la temperatura exterior cuando se estime la necesidad de ventilación. Ambos datos son fáciles de obtener y además no es necesario entrar al espacio a ventilar.

5.4. Ventilación considerando los tipos de mercancías.

Las cargas transportadas por vía marítima se pueden clasificar en higroscópicas y no higroscópicas.

Las condiciones del viaje pueden variar por un cambio de las condiciones atmosféricas o incluso por un cambio de rumbo que origine entrada de rociones en cubierta. Por tanto hay que estar atento a cualquier cambio que se produzca y que requiera una parada de la ventilación, bien porque la temperatura del punto de rocío del aire exterior ha aumentado o porque entra agua en cubierta.

En este caso si utilizamos la regla de los tres grados es más sencillo:

T^a de la carga – T^a del aire exterior $< 3^{\circ}\text{C}$ □ Parar la ventilación

- Cargas higroscópicas: Estas cargas tienen un contenido de humedad que puede interactuar con el aire. Son cargas principalmente de naturaleza orgánica tales como granos, harina, azúcar, algodón, lana, tabaco, café, té, cacao, frutos secos, piensos, maderas y productos de la madera, queso, leche en polvo, pieles de animal y otros productos de origen vegetal y animal que tienen la propiedad de retener, desprender o absorber humedad del aire atmosférico. Estas mercancías originan sudor en el casco, sobre todo al pasar de una zona cálida a una más fría.
- Paso de una zona fría a otra más cálida: cuando una carga fría se transporta a un clima más cálido no es necesaria la ventilación. Incluso, en ciertas circunstancias la ventilación podría ocasionar daños a la carga.
- Paso de una zona cálida a otra más fría: En este caso se producirá un descenso gradual de la temperatura del punto de rocío y del aire exterior, con el peligro de fuerte condensación sobre el casco del buque y las cubiertas. El aire dentro de las bodegas recibirá grandes cantidades de humedad de las mercancías higroscópicas (ya que

desprende vapor al enfriarse) y por tanto será necesaria una ventilación eficiente para evitar la condensación.

- Cargas no higroscópicas: Se trata generalmente de cargas de naturaleza sólida, no contienen agua. Algunas de estas cargas son metales, cristal, maquinaria, artículos enlatados... y pueden dañarse en un ambiente húmedo por el sudor de la carga o por la condensación, esta puede llegar a causar oxidación, manchado o decoloración.
- Paso de una zona fría a otra más cálida: En estas condiciones la temperatura de la carga en el momento del embarque será inferior a la temperatura del punto de rocío del aire a través del cual transita el buque hacia climas más cálidos. En este caso no es necesario ventilar. Será necesario mantener las bodegas bien selladas.
- Paso de una zona cálida a otra más fría: No hay riesgo de sudor de la carga ya que esta está más caliente, aunque si existe una mínima posibilidad de que se produzca sudor del casco que puede evitarse mediante una ligera ventilación.

La estiba de este tipo de cargas se realiza teniendo en cuenta las propiedades de las mismas, sobre todo cuando se embarcan en zonas cálidas y el buque pasará a navegar por zonas más frías, se deberán tomar medidas para que la carga no haga contacto con el casco del buque. Cuando se embarcan estas mercancías se preparará la bodega mediante una doble hilada de madera de estiba o cañas de bambú en el plan de las bodegas y entrepuentes, costados y mamparos. La primera hilada se colocará en sentido longitudinal, para facilitar el drenaje de agua. La segunda, se colocará formando un ángulo de 90° con la primera.

Para algunas cargas, algunos fletadores incluso pueden requerir la construcción de canales de ventilación en la estiba.

- Cargas combinadas: Esto refiere a embarcar en el mismo espacio cargas higroscópicas y cargas no higroscópicas, cada una con temperaturas propias diferentes, esto puede ocasionar problemas de condensación. Los requerimientos de ventilación suelen ser diferentes, de modo que se producen daños diferentes a las cargas. Es por ello,

que, se intentará no estibar en el mismo espacio mercancías higroscópicas y mercancías no higroscópicas.

5.5. Ventilación de bodegas.

Los buques graneleros van generalmente provistos de dos a cuatro manguerotes de ventilación por bodega. Dentro de la bodega cada manguerote termina en una abertura circular o rectangular, e incluso el manguerote puede continuar hacia abajo y con aberturas en distintas zonas para dirigir el aire a varios niveles.

El extremo superior de los manguerotes suele terminar en una capucha tipo seta, que proporciona protección ante los rociones de la lluvia o de mar y de la fuerza directa del viento.

Además, muchos buques van provistos de ventiladores, generalmente accionados por un motor eléctrico, estos se colocan con la finalidad de disponer de ventilación mecánica o forzada.

Imagen 30:



<http://articles.maritimepropulsion.com/?page=53>

5.6. Deshumidificadores de bodegas.

Algunos buques van provistos de deshumidificadores de bodegas (sobre todo los más modernos). También existen deshumidificadores portátiles que se pueden colocar en la cubierta o en las escotillas y que disponen de mangueras flexibles que pueden introducirse en las bodegas de carga a través de los manguerotes de ventilación o por los mismos portillos de inspección.

Además de controlar la atmósfera de las bodegas, un deshumidificador es beneficioso para reducir la corrosión del buque y de las cargas de productos metálicos, para detectar la entrada de agua a través de las escotillas mediante su propio sistema de alarmas, también es útil para facilitar el secado de las bodegas después del lavado y evidentemente para controlar los daños producidos a la carga por el sudor del casco o de la misma carga. Además, este permitirá que se puedan cargar cargas higroscópicas y cargas no-higroscópicas juntas.

Imagen 31:



<http://www.cbrothers.com/dehumidifiers/>

5.7. Registro de datos de temperaturas.

Es importante que se registren los datos acerca de la ventilación, toma de temperatura y determinación del punto de rocío para que en caso de daño por humedad se pueda

demostrar que el buque llevó a cabo los procedimientos adecuados de ventilación de las bodegas.

En ocasiones puede darse que debido a condiciones meteorológicas adversas no se puede realizar una óptima ventilación de la carga, eso también debe quedar anotado.

Cuando se siguen las “reglas del punto de rocío” deberán registrarse en cada guardia los siguientes datos:

- Temperatura de los termómetros secos y húmedos.
- Puntos de rocío de la bodega y del exterior.
- Temperatura del agua de mar.

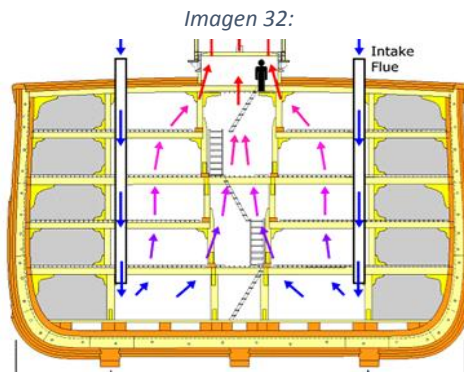
Si se sigue la “regla de los tres grados” se debe registrar en cada guardia:

- Temperatura del aire exterior.
- Temperatura del agua de mar.
- Temperatura media de la carga en el momento del embarque.
- Además se registrarán detalles de ventilación.

Generalmente la capacidad de ventilación se mide en “cambios de aire por hora” (*air changes per hour*). Esto refiere a cuantas veces pueden los ventiladores de una bodega renovar el volumen total del espacio vacío en una hora. Por ejemplo, si la capacidad de ventilación es de 10 cambios por hora en una bodega de 2.000 m³, significa que el aire de esa bodega puede ser cambiado continuamente a razón de 10 cambios por hora, en sistema abierto, los ventiladores generarán $10 \cdot 2.000 = 20.000$ m³ de aire por hora. La ventilación se puede llevar a cabo mediante dos sistemas:

- Ventilación natural: Es la ventilación que se realiza sin la ayuda de ventiladores creando una circulación de aire en la bodega y a través de los huecos entre la carga. La circulación de aire se realiza a través de los manguerotes de ventilación, convenientemente orientados y abiertos a la atmósfera, de manera que entre aire fresco

del exterior que diluye el aire de la bodega y sale de nuevo al exterior arrastrando la humedad, gases y olores.



<http://worldwideflood.com/ark/ventilation/ventilat>

- Ventilación mecánica o forzada: Este tipo de ventilación emplea ventiladores accionados por un motor (normalmente, eléctrico), que puede inyectar aire de la bodega, recircularlo o extraerlo. Dentro de este sistema se consideran tres modos:
- Circuito abierto: Se trata de un sistema donde el aire se introduce a la bodega mediante ventiladores y se extrae mediante extractores. También se incluye como circuito abierto cuando se inyecta aire o se extrae de forma mecánica. Con este modo de ventilación siempre se cambiará aire de la bodega por aire exterior.
- Circuito cerrado: El sistema trata la recirculación de aire frío, producido en una planta de refrigeración, forzado mediante ventiladores a los espacios de carga. Este sistema es típico en buques que transporten cargas refrigeradas.
- Circuito cerrado con entrada de aire fresco: Cuando se transportan cargas vivas (como frutas y hortalizas) que desprenden dióxido de carbono (CO_2), etileno (C_2H_4), calor y vapor de agua que pueden deteriorar la carga, además de controlar la temperatura del aire dentro de las bodegas, es necesario extraer los gases y la humedad desprendida por el proceso de respiración de las mercancías. Estos buques tienen un sistema de ventilación para introducir aire fresco a los espacios de carga y así controlar y extraer los gases generados. Esto se logra mediante troncos de ventilación cuya entrada de aire se pueda regular.

6. Estabilidad.

El ingeniero naval y matemático ruso Krylov define, en 1958, la estabilidad como la habilidad de un buque para flotar en posición recta y, en caso de inclinarse a razón de una causa externa, volver a la posición mencionada después de que dicha acción externa haya cesado.

Una vez visto el concepto de estabilidad podemos diferenciar entre:

- Estabilidad estática: Es la resultante del par de fuerzas a la que está sometido el buque en condición de equilibrio.
- Estabilidad dinámica: Es el trabajo efectuado por el par de fuerzas a la que está sometido el buque en condición de equilibrio.

Estabilidad Transversal:

Estabilidad estática	Inicial ($\theta < 10^\circ$)	Variación en la escora
	Grandes Inclinaciones	
Estabilidad dinámica (Movimiento de balance)		

Elaboración propia

Estabilidad Longitudinal:

Estabilidad estática inicial (Cambios de asiento)
Estabilidad dinámica (Movimientos de cabeceo)

Elaboración propia

Los buques graneleros tienen una estabilidad muy compleja y esta se estudia de igual manera tanto la estática y la dinámica.

Algunos puertos son muy exigentes con respecto a la estabilidad de buques de carga a granel, por eso requieren que se les notifique, con todo el estudio de la estabilidad antes de su llegada a puerto. Esto pasa en los puertos tanto de Estados Unidos como de Australia, cuya legislación es muy exigente.

6.1. Conceptos fundamentales en materia de estabilidad.

Los buques se componen por tres medidas de medicinamiento distintas:

- **Eslora:** Se diferencia cuatro tipos de eslora según la construcción naval (eslora entre perpendiculares, eslora de flotación, eslora máxima y eslora total) como sujeto de interés en este trabajo definiremos la eslora total del buque; Es la longitud total del buque medida entre sus extremos de proa y popa teniendo en cuenta, también, los elementos no estructurales del buque como pudiera ser el púlpito de proa también, la eslora entre perpendiculares, que se define como la distancia longitudinal comprendida entre las perpendiculares de proa y popa.
- **Manga:** Se define la manga como la anchura de un buque medida en la sección transversal de área máxima o cuaderna maestra. Es destacable el conector de manga de trazado, que define como la manga total restándole el espesor del forro del casco.
- **Puntal:** Pues si bien el puntal puede ser el dispositivo que se utiliza para la carga y descarga de mercancías, en construcción naval se utiliza este término para denominar la altura total del buque tomada desde la parte superior de la quilla hasta la parte superior de la cubierta. En este sentido el puntal mide el calado más el francobordo.

En cuanto al dimensionamiento del buque diferenciamos entre dos partes:

- **Obra muerta:** Es la parte que se encuentra por encima del plano de flotación. En esta parte del buque encontramos el francobordo, que se define como la distancia medida desde el costado de la cara superior de la cubierta principal hasta la línea de flotación.
- **Carena (Obra viva):** Es la parte que se encuentra por debajo de la línea de flotación, es decir: la parte sumergida. La altura de la quilla a la línea de flotación es el denominado calado.

6.1.1. Calados, asiento, alteración.

Se le denomina **calado**: a la amplitud vertical de la parte sumergida del buque, ya sea a proa, a popa o en el centro del buque. Si nos referimos al calado de proa se expresa con un C_{pr} mientras que al calado de popa se expresa con un C_{pp} . El calado medio es la semisuma de calados, es decir:

$$C_m = \frac{C_{pr} + C_{pp}}{2}$$

Llamamos **asiento**, a la diferencia que existe entre el calado de proa y el calado de popa, se representa con la letra "A" ("*Trim*"), este será positivo cuando $C_{pp} > C_{pr}$ y negativo cuando $C_{pp} < C_{pr}$.

$$A = C_{pp} - C_{pr}$$

Cuando el buque tiene un asiento positivo, el buque cuanta con mayor calado en popa que en proa y se dice que el buque está aporado, por lo contrario, si el buque tiene un mayor asiento en proa que en popa entonces decimos que el buque está aproado. También puede ser que el buque tenga los mismos calados tanto en proa como en popa, en ese caso estamos en aguas iguales "*even keel*". La variación del asiento se denomina alteración y se produce por un traslado de pesos a bordo, se representa con la letra α y será positiva si es apopante y negativa si es aproante.

$$A = A_f - A_i$$

Generalmente los buques *bulk carrier* suelen tener un asiento positivo (aproante) para favorecer la inmersión de la hélice y el timón.

6.1.2. Desplazamiento.

Desplazamiento en rosca "*Lightweight*": Es el peso del buque construido sin ningún peso extra (sin pertrechos, ni tripulación y todos los tanques vacíos)

Desplazamiento en lastre: Peso del buque en rosca más el peso del combustible, tripulación y pertrechos.

Desplazamiento en carga: Desplazamiento en lastre más la carga que se tiene a bordo.

Peso muerto: Se denomina a la cantidad de carga máxima que puede transportar el buque. Aparece como DWT (Dead Weight Tonnes). Así, por ejemplo, cuando un buque tiene un DWT de 150.000 Tm, es posible que el buque tenga un desplazamiento de 200.000 Tm.

6.1.3. Descripción de los datos hidrostáticos.

- Calado, expresado con la letra “*T*” y medido en metros.
- Desplazamiento del buque “*DISP*” (expresado en toneladas): Equivale al peso total de un buque para una condición de carga determinada. Es igual al volumen sumergido multiplicado por la densidad del agua, es decir, equivale al peso del agua desplazada por el volumen del buque.

$$\Delta = V \cdot \mu$$

Dónde:

Δ : Desplazamiento

V: Volumen sumergido en m³

μ : Densidad del agua en Tm/m³

El peso total o desplazamiento de un buque se determinan mediante las marcas de calado o el mismo plano de formas del buque.

- Peso Muerto “*DW*” (expresado en toneladas)
- Posición longitudinal del centro de flotación, “*LCB*” (m)
- Posición vertical del centro de flotación, “*VCG*” (m)
- Posición longitudinal del centro de flotación “*LCF*” (m)
- Altura del metacentro transversal “*KMT*” (m)
- Toneladas por centímetros de inmersión, “*TCP*” (Tm / Cm)
- Momento de asiento unitario “*MCT*” (Tm · m / cm)
- Coeficiente de bloque, “*CB*”
- Área de superficie mojada “*WLA*” (m²)
- Área de la línea de flotación “*WSA*” (m²)

Imagen 33

T	DISP	DW	LCB	VCB	LCF	KMT	MCT	TPC	CB	WLA	WSA
m	t	t	m	m	m	m	t/cm	t/cm		m ²	m ²
2.50	11203	159	101.38	1.29	100.70	33.47	493.3	48.0	0.734	4681	5164
2.60	11683	639	101.35	1.34	100.66	32.35	497.1	48.1	0.736	4696	5207
2.70	12165	1121	101.32	1.39	100.62	31.32	500.8	48.3	0.738	4710	5250
2.80	12649	1605	101.29	1.44	100.57	30.36	504.4	48.4	0.740	4724	5293
2.90	13134	2090	101.26	1.49	100.53	29.48	508.0	48.6	0.742	4738	5336
3.00	13620	2576	101.24	1.55	100.49	28.65	511.6	48.7	0.744	4751	5379
3.10	14108	3064	101.21	1.60	100.45	27.88	514.9	48.8	0.746	4764	5422
3.20	14597	3553	101.18	1.65	100.41	27.16	518.2	49.0	0.748	4776	5464
3.30	15087	4043	101.16	1.70	100.37	26.49	521.4	49.1	0.750	4788	5507
3.40	15578	4534	101.13	1.75	100.35	25.86	524.4	49.2	0.752	4800	5549

FUENTE: Fragmento obtenido del manual de estabilidad del buque "SPAR LYRA"

6.1.4. Conceptos básicos de la estabilidad.

Centro de Gravedad

Llamamos centro de gravedad, al punto de aplicación del conjunto de pesos que conforman el buque y se representa con la letra "G". Este punto queda reflejado en las tres dimensiones espaciales del mismo. Las cuales son:

- **KG⁶**: Coordenada vertical medida desde la línea base hacia arriba. (VCG)
- **XG⁷**: Coordenada longitudinal, se mide desde la cuaderna maestra o perpendicular media hacia popa (negativa) o hacia proa (positiva).
- **LcG**: Coordenada transversal medida desde el plano de crujía o sección longitudinal medida hacia babor (negativa) o hacia estribor (positiva).

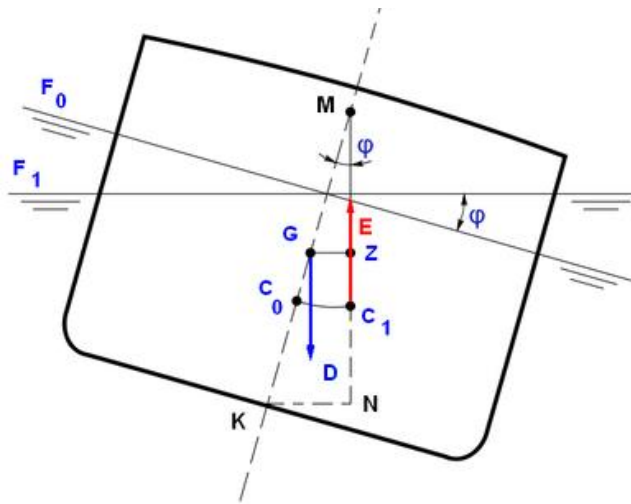
Si al estudiar las tres coordenadas obtenemos que KG viene determinada por la experiencia de la estabilidad y son valores de los que disponen todos los buques en su libro de estabilidad o en las curvas hidrostáticas. La coordenada XG deberá ser cero ya que el buque se encuentra adrizado, mientras que la coordenada LcG se determina observando los calados.

⁶ KG: VCG en ingles Vertical Centre of Gravity

⁷ XG: LCG en inglés: Longitudinal Centre of Gravity

Las operaciones básicas que modifican la posición del centro de gravedad (G) son la carga, la descarga y el traslado de pesos. En este apartado estudiaremos brevemente cómo se comporta un buque cuando se ve sometido a un peso y como su centro de gravedad varía.

Imagen 34



http://4.bp.blogspot.com/-il8jfnj7sv8/TiLkdbq-5_/AAAAAAAAAVk/AfjWkGM44/s1600/metacentro.jpg

Metacentro.

El metacentro (M) es el punto de intersección de las líneas verticales trazadas desde el centro de carena (C) a pequeños ángulos de escora consecutivos, y se puede equiparar a un eje central cuando el buque está inclinado a pequeños ángulos de escora. Su altura se mide desde el punto de referencia (K) y, por consiguiente, se denomina KM.

Altura metacéntrica GM

Se define como a la diferencia que existe entre el centro de gravedad (G) y el metacentro (M).

$$GM = KM - KG$$

El GM influye directamente en el periodo de balanceo (Rolling) el cual el buque experimenta, un alto valor del GM, significará que buque será más estable. Pero una estabilidad demasiado elevada es incómoda para la navegación, en los buques de carga a granel se suele tener una estabilidad elevada, siempre dependiendo del tipo de carga que se lleve a bordo.

Una manera sencilla y bastante aproximada de calcular el GM es con la fórmula del “periodo del doble balance”, que es el tiempo que tarda el buque en realizar un balance

completo, si está en estribor pues será el tiempo que tarda de ir a babor y consecutivamente a la banda de estribor.

La medición del Periodo de doble balance, y del cálculo del GM se puede realizar a la salida del puerto, debido al poco oleaje que existe siempre que las condiciones meteorológicas de viento y más sean favorables. Va dada por la siguiente formula:

$$GM = \frac{f^2 \cdot M^2}{T^2}$$

M= Manga del Buque (m)

T= Periodo de balance (s)

f=factor que depende del buque, condición de carga y disposición.

GZ (Brazo Adrizante)

El GZ es el parámetro el cual muestra el valor numérico de la separación del par de fuerzas que va a adrizar el buque, es decir, el valor en el que el buque vuelve a su posición de equilibrio. El valor del brazo adrizante viene determinado por la formula siguiente:

$$GZ = GM \times \text{sen } \theta.$$

El estudio se hace mediante la siguiente tabla para así obtener la curva GZ.

Escoras	0°	10°	20°	30°	40°	50°	50°	70°	80°
KN									
KG x sen Θ									
GZ									

Elaboración propia

Al realizar los cálculos de estabilidad de un granelero, antes de su salida del puerto se deben realizar el estudio del brazo adrizante, para ver hasta que escoras el buque mantiene su estabilidad.

6.2. Francobordo y líneas de carga.

A todos los buques mercantes se les asigna unas líneas de carga en función al tipo de buque y a su construcción, las cuales deberán ser cumplidas en todas las zonas de navegación. Estas líneas se encuentran en el francobordo, el cual se define como la distancia vertical medida desde el canto superior de la cubierta principal o del francobordo al canto superior del disco Plimsoll en la flotación de verano, de este modo obtendremos la flotación de verano.

Las líneas de carga serán aquellas que determinen la máxima carga que nos produzca una inmersión tal que sumerja el canto superior de las mismas. Así tendremos:

- Línea de máxima carga de verano. Pasa por el canto superior de la línea que divide el disco Plimsoll.
- Línea de invierno. Línea correspondiente al canto superior de la indicada por una I o una “W” en buques extranjeros.
- Tropical. Indicada por la letra T, sobre la línea de verano.
- Invierno Atlántico Norte⁸: Situado sobre la línea de invierno (ANI o WNA).
- Agua dulce: Situada en el lado opuesto, y ligeramente sobre la línea de verano.
- Tropical dulce: Situada sobre la línea de agua dulce. (TD/TF).

Calado de Verano	Calado Tropical	Calado de Agua dulce, Tropical	Calado ANI, Invierno
C_V	$C_T = C_V + \frac{C_V}{48}$	$C_{DT} = C_D + \frac{C_V}{48}$	$C_{ANI}^9 = C_I - 50MM$ $C_{ANI} = C_I$

Elaboración propia

En los buques que se dedican al transporte de madera o troncos en cubiertas, tienen una lectura diferente de las líneas de carga, ya que se puede considerar que el transporte de madera proporciona al buque una flotabilidad adicional y una mayor protección contra el mar. Por esto a los buques que transporten madera en cubierta se le podrá conceder una reducción en el francobordo, y se calculará según lo establecido en el reglamento conocido como Convenio Internacional de Líneas de Carga. Se marcará en ambos

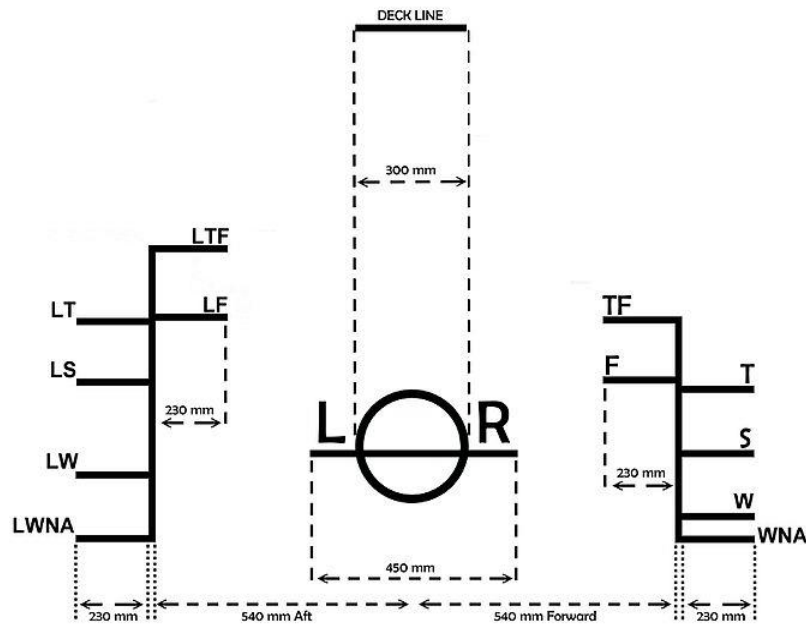
⁸ ANI: Solo en buques menores de 100m de eslora.

⁹ Solo aplicable a buques de eslora no superior a 100m.

costados del buque. Pero para que este francobordo especial pueda concederse el buque deberá cumplir unos requisitos especiales que se explican en el reglamento.

Se deberá prever un margen alto de estabilidad (GM) en todos los momentos del viaje debido a que la madera puede absorber agua, formación de hielo y consumo de agua o combustible.

Imagen 35



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b0/Load_line.jpg/220px-Load_line.jpg

6.3. Criterios de estabilidad.

Los buques deben cumplir con unas condiciones mínimas de estabilidad, estos mínimos no pueden ser establecidos por los operadores, pues estos podrían responder a criterios comerciales poco conservadores en lo relativo a la seguridad del buque. Son las administraciones de los países la que se encarga de mantener una regulación adaptando las directrices de la OMI.

Antiguamente en España se utilizaban los criterios de Rahola¹⁰ que exigía las siguientes condiciones:

¹⁰ Jaako Rahola: Ingeniero finlandés que basó su criterio de estabilidad en el estudio de las condiciones de estabilidad en 34 buques pesqueros.

- Valores de los brazos adrizantes GZ para las siguientes escoras:

20°	0,14 m
30°	0,20 m
40°	0,20 m

Elaboración propia

- El GZ máximo se encuentra comprendido entre los 30° y los 40° de escora.
- El valor mínimo del brazo de estabilidad dinámico debía ser de 0,08m/rad para una escora de 40°.

Actualmente la OMI publica el *Código de Estabilidad sin Avería*, este establece las directrices de estabilidad para diversos tipos de buques y artefactos flotantes, además determina unos mínimos de información de seguridad con los que contará la tripulación del buque, también recomendaciones para llevar a cabo la experiencia de estabilidad. Como criterios generales para todos los buques mercantes figura lo siguiente (aunque con numerosas excepciones y peculiaridades):

- El GZ mínimo será de 0,20 m para escoras iguales o superiores a 30°.
- El GZ máximo corresponderá a una escora de entre 30° y 25°.
- La altura metacéntrica inicial (GM) nunca será menor de 0,15m.
- El área que se encuentre por debajo de la curva de brazos adrizantes dinámicos no será menor de 0,055m/rad hasta 30°, ni menor de 0,09 hasta 40° o hasta el ángulo de escora de inundación si este es menor de 40°.

El área bajo la curva de brazos adrizantes dinámicos entre 30° y 40° o 30° y la escora de inundación (si esta es menor de 40°). No será inferior a 0,03m/rad.

Además de los criterios de estabilidad mencionados anteriormente, en los *bulk carriers*, se debe aplicar una serie limitaciones cuando se encuentren navegando en condición de cargado con una carga a granel. También en los casos en los que el buque esté diseñado para la carga de madera en cubierta, y cuya eslora sea inferior a 100 metros se deberá aplicar los límites para buques que transportan cargamento de madera en cubierta, esto se presenta en el “*Código de Seguridad para buques que transportan cargamento de madera en cubierta y son de eslora inferior a 100 metros.*”

A continuación, se presenta un cuadro en el que se expresan de forma clara los límites para cada condición.

Criterios de estabilidad	Criterios mínimos IMO	
	Buques de carga	Requerimientos adicionales cuando se transporta grano
GM Inicial corregido	No inferior a 0,15 m (Si se transporta cobertura en madera 0,1 m)	No inferior a 0,30 m
Área curva brazos GZ: 0°-30°	No inferior a 0,055	
Área curva brazos GZ: 0°-40° (o ángulo de inundación Θ_f si este es inferior a 40 Θ_f)	No inferior a 0,09 mxrad	
Área curva brazos GZ: 0°-40° (o ángulo de inundación Θ_f si este es inferior a 40 Θ_f)	N/A	No inferior a 0,075 mxrad
Área curva brazos GZ: 0°-40° (o ángulo de inundación Θ_f si este es inferior a 40 Θ_f)	No inferior a 0,03 mxrad	
Brazo adrizante GZ a $\Theta \geq 30^\circ$	Al menos 0,20 m	
Ángulo de escora máx. GZ	$\geq 25^\circ$	
Escora debida a un corrimiento del grano	N/A	El menor de: →10° como máximo; o →Buques construidos después del 1-01-1994, el ángulo de inmersión del borde de la cubierta, si este es menor.
Antes de hacerse a la mar	N/A	Buque adrizado

Elaboración propia

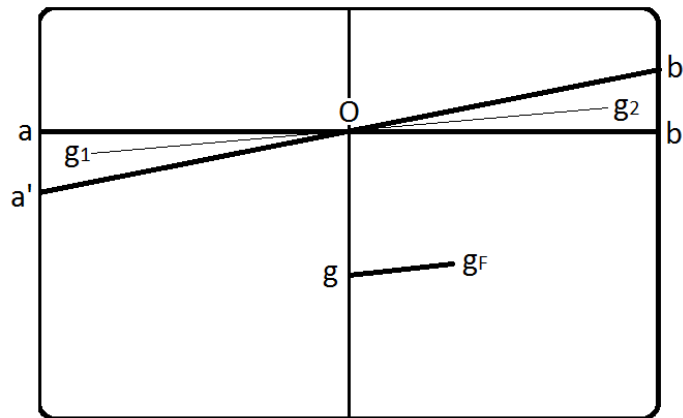
6.4. Efectos de superficies libres.

Cuando un buque transporta líquidos, como petróleo o derivados, productos químicos o aceites vegetales, vinos, zumos de frutas y agua dulce entre otros es importante tener en cuenta el efecto de superficies libres. Es necesario predecir el comportamiento que tendrán los líquidos en el interior de los tanques. Cuando un tanque está cargado por debajo del 98% del total de su capacidad máxima, el líquido de su interior no ocupará la totalidad del receptáculo. Este cuerpo líquido se moverá en el interior del tanque. El

tanque mostrará una interface entre el líquido y el vacío, que tomará siempre la horizontal, independiente de la inclinación longitudinal y transversal del buque. Esta interface se conoce como superficie libre.

El efecto de superficies libres es el cambio del centro de gravedad del líquido en el interior del tanque, afectando este cambio al centro de gravedad del buque.

Imagen 36



Elaboración Propia

- O: Centro
- ab: Superficie libre en reposo con buque adrizado
- a'b': Superficie libre tras la inclinación transversal del buque.
- g: Centro de gravedad del líquido en el tanque
- g_F: Centro de gravedad tras el movimiento del líquido
- g₁: Centro de gravedad de la cuña de emersión
- g₂: Centro de gravedad de la cuña de inmersión

El efecto de superficies libres se debe aplicar a cada tanque, y establecer una resultante a aplicar al centro de gravedad del buque. El buque variará su centro de gravedad GG_F en la dirección g₁g₂ o GG_F en una cantidad tal que:

$$GG_F = \frac{I \cdot \rho \cdot t g \theta}{D}$$

Vista la formula comprobamos que el desplazamiento del centro de gravedad (GG_F) no depende de la cantidad del líquido contenido en el interior del tanque, sino de la forma del mismo (momento de inercia de la superficie), la densidad del líquido, escora y el desplazamiento total del buque.

Todo movimiento del centro de gravedad se compone por una componente vertical y otra transversal y ambas conllevan una pérdida de estabilidad.

Efectos en la estabilidad inicial:

$$GM_{Csl} = GM_{real} - Csl$$

Cuando se realizan los cálculos con el centro de gravedad del buque que tiene los tanques o bodegas parcialmente llenos utilizamos siempre el G (centro de gravedad) corregido por superficies libres. El GM_{Csl} también se conoce como GM_{real} o como GM fluido¹¹.

6.4.1. Efecto de *Sloshing*.

Cuando un tanque va parcialmente lleno de líquido y el buque se encuentra en movimiento, la superficie del líquido se mueve de manera ondulatoria. El líquido se moverá de una banda a otra o en sentido proa-popa (dependiendo de si el buque da balances o cabeceos).

Cuando un *bulkcarrier* experimenta la inundación de una bodega (a veces necesaria ó por avería) es más probable que sufra un daño estructural por “*sloshing*” que lleve a los mamparos estancos de la bodega a colapsar, lo cual conllevaría a una grave pérdida de estabilidad, e incluso a volcar. Debido a que las bodegas no están diseñadas para el transporte de líquido (en el caso más común agua).

Los efectos de “*sloshing*” son más violentos cuando el tanque se encuentra parcialmente lleno entre el 20-90% de su capacidad total. El zarpeamiento del líquido dentro de los tanques de lastre es menos problemático que el movimiento del mismo dentro de las bodegas ya que la estructura de los tanques de lastre tiene un efecto de amortiguación sustancial, es decir, están específicamente diseñados para ello.

6.5. El efecto *Squat*

Durante los últimos 30 años, se ha producido numerosos cambios en el diseño y en la construcción del buque. Los buques *bulkcarrier* han ido incrementado sus dimensiones hasta alcanzar, hace tiempo ya, las 260.000, 300.000 y más de 500.000 toneladas. Lo importante o crítico del problema no es el tamaño de los buques, sino la dificultad de maniobrarlos en condiciones o zonas restringidas. Haciendo compleja su maniobrabilidad

¹¹ Del inglés *GM fluid*

en aguas profundas, pero mucho más en aguas restringidas donde se deja sentir el efecto del *squat* y del *sinkage*.

Cuando un buque se encuentra en navegación desplaza el agua que se encuentra en sus costados y debajo de su quilla. Este movimiento del agua provoca una caída de presión que hace que el buque caiga verticalmente disminuyendo el *UKC* (*Under Keel Clearance*) pero sin alterar el calado medio del buque. A este efecto se le llama *Sinkage*. Entonces se puede considerar que el buque navega en una depresión directamente proporcional a su velocidad e inversamente proporcional a sus márgenes de seguridad respecto al fondo y los costados. Debido a los cambios producidos en las distintas zonas de la obra viva el buque puede llegar a sufrir un cambio de asiento. El efecto *squat* es, entonces, el resultado de ambas alteraciones. Es decir; el *squat* es la suma algebraica del *sinkage* y el incremento de calado producido por el cambio de asiento.

Existen tres formas bajas las cuales actúan el *squat* y el *sinkage*:

- Con restricciones de fondo y sin restricciones de manga.
- Con restricciones de fondo y con aguas someras cerradas.
- *Squat* transversal o interacción entre buques, cuando dos o más buques se cruzan y/o alcanzan en condiciones de aguas restringidas.

Factores que afectan al *sinkage* y al *squat*:

- Velocidad del buque: Es el factor principal debido a que, según diversos autores, el *sinkage* varía en función del cuadrado de la velocidad. Esto implica que una reducción de velocidad conlleva a una disminución considerable del *sinkage*.
- Relación sonda-calado: Si la relación es mayor a 6 se puede considerar que el buque navega en aguas libres. Entre 3 y 6 partes aumenta la interacción, el buque ya no se comporta como en aguas libres. Las olas generadas por el son más cortas y la respuesta al timón es menor. Cuando la relación es menor a 3 partes el control depende fundamentalmente de la velocidad y de la relación entre el ancho del canal y la manga del buque.
- Factor de bloqueo o factor de ocupación del canal: En canales cerrados estos factores influyen notablemente en los efectos de *sinkage* y *squat*, llegando a duplicarlos.
- Como calcular el factor de bloqueo (F_b):

$$F_b = \frac{M \cdot C}{B \cdot s}$$

- Como calcular de factor de ocupación del canal (F_{oc}):

$$F_{oc} = \frac{B \cdot s}{M \cdot C}$$

Donde:

M: Manga del buque

C: Calado del buque

s: Sonda del canal

B: Ancho del canal

- Formas del casco (concretamente el coeficiente de bloque): Un buque con un coeficiente de bloque mayor a 0,7 tiene un asiento a proa como consecuencia del *squat*. Los graneleros son buques con coeficiente de bloque de 0,8 o superior, por lo cual son susceptibles a este efecto.

Cuando se navega en aguas restringidas se pueden obtener valores aproximados del *squat* para buques de carga a granel mediante las tablas de *squat* (NMI *squat chart*)¹².

6.6. La importancia de la estabilidad en los “*Bulk Carriers*”

En 2001, tras la investigación del caso del ‘Derbyshire’¹³ se registraron distintas deficiencias en los graneleros “*Capsize*” de la época. Se construían con un francobordo del tipo B-60, por lo que era muy probable que la escotilla de la bodega N° 1 faltase cuando se navegaba en olas mayores a 10 metros. Estos estudios han permitido a la Organización Marítima Internacional (OMI), considerar un seguido de enmiendas como por ejemplo la obligación del “*Castillo de Proa*” en la construcción de los buques posteriores (Protocolo de ICLL¹⁴ de 1988). Las cargas a granel son delicadas en lo que refiere a su estabilidad debido a que, en condiciones de fuertes oscilaciones transversales la carga puede desplazarse. Dejando al buque con una escora permanente hacia la banda del corrimiento. Esto implica riesgos de pérdida de estabilidad hacia la banda de la escora, inundación por embarque de agua por las aperturas de la cubierta, roturas de elementos de cubierta por golpes de mar, etc...

Recordando la definición de estabilidad consideramos los dos siguientes casos:

¹² NMI Squat Chart, presentad en el anexo, pagina 125.

¹³ Derbyshire: Buque granelero ‘Capsize’ hundido en 1980 durante un tifón.

¹⁴ ICLL: Convención internacional de líneas de carga (International Convention on Load Lines).

- Buque estable: Aquel que vuelve a la posición inicial cuando este se ve sometido a una fuerza externa.
- Buque inestable: Aquel que en cuanto tiene una escora, tiende a aumentarla.

Uno de los trabajos de la oficialidad del buque será asegurar que su buque permanezca estable durante toda su vida.

Para poder hacer un cálculo aproximado de la estabilidad del buque es fundamental conocer el valor de la altura metacéntrica (GM), que se calcula fácilmente conociendo todos los pesos del buque. El GM deberá ser corregido para efecto de superficies libres descrito a continuación, y así obtenemos el GM real, “*GM fluid*”.

Cuando el GM fluido sea más elevado, el barco será más estable. Este fenómeno es conocido con el término “*Stiff*” (rigidez). Una nave rígida, con exceso de estabilidad, es una nave incómoda. Sus movimientos de balanceo son rápidos y violentos. Esta condición es común en los graneleros cuando se transportan cargas de alta densidad, tales como: minerales pesados y el acero.

Cuando el valor de GM fluido es bajo es menos estable, esta condición es conocida como “*Tender*” (blando) se inclina más fácilmente y puede rodar más fácilmente. Este GM es común cuando se transportan cargas de menor densidad como: Carbón o granos.

La condición de estabilidad ideal para un buque es el término medio entre “*Stiff*” y “*Tender*”.

En los buques graneleros la rigidez se determina fundamentalmente por la naturaleza de la carga transportada en relación al diseño que ha recibido el buque.

Un buque debe cumplir los criterios mínimos de estabilidad durante todas las etapas del viaje, no podrá navegar en unas condiciones de “*Tender*” extremas, pero no hay regulaciones que especifiquen que no se puede navegar en condiciones de “*Stiff*”. A menudo los buques “*bulk carriers*” requieren hacerlo.

Antes de que un buque salga a la mar debe asegurarse de cumplir con los requisitos del Convenio Internacional de Líneas de Carga, entre otros. Que, entre otras cosas, requieren, una evaluación más amplia de su estabilidad que la proporcionada por el cálculo del GM fluido.

En el ‘Manual de carga del buque’ y el ‘Manual de estabilidad’ se proporcionan los detalles de los cálculos requeridos. El manual de estabilidad también indica los valores mínimos permitidos para las áreas que se encuentran bajo la curva de estabilidad estática, para el par adrizante y el GM fluido.

Si en algún momento los cálculos demostraran que el buque pueda experimentar una pérdida de estabilidad a lo largo de la travesía, se deberán efectuar los ajustes pertinentes para reajustar la estabilidad. Estos ajustes podrían ser, por ejemplo; trasladar los pesos que se encuentran más bajos en cuanto a la distribución del buque, reorganización del contenido en los tanques de combustible y/o lastre (para reducir el efecto de superficies libres), reducir la cantidad de carga que el buque puede admitir (en un caso extremo). Estos requisitos se establecen con el único propósito de garantizar la seguridad de la estabilidad del buque y evitar la pérdida la misma.

6.6.1. Carga máxima autorizada.

En el 'Plano de capacidad del buque', así como en el 'Manual de carga del buque' encontramos la carga máxima autorizada. Este máximo, por supuesto, se debe consultar y cumplir.

Estos valores son calculados según el supuesto que la carga es uniforme, pero en la realidad no siempre es así; por ejemplo: Estos valores serán válidos para cargas a granel como maíz, carbón, soja... pero no para cargas como las bobinas de acero. En este último caso el tonelaje de carga permitido dependerá de unos cálculos que deberán tener en cuenta la superficie de la bodega y el espacio de separación con el doble fondo y sus vigas.

Un *bulk carrier* se puede cargar en cubierta siempre y cuando la carga sea uniforme y nunca sobrepase el peso máximo admitido sobre la escotilla y/o cubierta. Este peso máximo viene dado en Toneladas / metro².

En el buque existen sensores de estabilidad en las bodegas, que nos ayudarán a determinar los efectos de la carga en la estabilidad, sobre todo en los momentos más delicados: la carga y la descarga. Estos sensores no se encuentran en cubierta por lo cual cuando se cargue en ella (ejemplo de carga de madera) se realizarán los cálculos pertinentes a la estabilidad de forma manual.

A bordo es obligatorio estar dotado de un Manual de Aseguramiento de Carga, aprobado por la autoridad competente, que cubra con las cargas que ese buque va a transportar.

6.6.2. Fuerzas que actúan sobre el casco: Fuerzas de corte y momentos de flexión.

- Fuerzas de corte:
- Momentos de flexión:

Todos los graneleros “*Panamax*” o de mayor tamaño, así como todos aquellos que tienen sus bodegas reforzadas para cargar siguiendo el modelo de bodegas alternativas¹⁵, tienen unos valores máximos de momentos de corte y momentos de flexión los cuales se proporcionan por sus Sociedades de Clasificación¹⁶. Estos valores se encontrarán en los Manuales de estabilidad y en la Guía de Carga del buque, también vienen dados en el software de carga. Nunca se debe sobrepasar o exceder de estos valores, ya que este será el máximo que garantizará que un buque no sufra daños estructurales a pesar de una mala estiba.

Normalmente se indican de dos a tres conjuntos de valores máximos. Los valores en puerto para los momentos de corte y flexión son los máximos a los que llega a someterse el buque en aguas tranquilas, dónde no está expuesto a las condiciones adversas de alta mar. Es por eso que estos valores son mayores en puerto que en mar abierto dónde sobre el buque actúan más fuerzas.

Los buques que han sido reforzados para el transporte de cargas pesadas pueden estar provistos de dos conjuntos de valores máximos admisibles para sus momentos flexión para mar abierto o en navegación; una para condición de carga en bodegas alternas (los valores críticos en esta situación de carga disminuyen ya que se crean mayores tensiones de flexión) y otra para condición de navegación en Lastre o para modelos de carga uniformes¹⁷.

Estos valores se deben calcular para las siguientes situaciones:

- Durante la carga y deslastre.
- Durante la descarga y el lastrado.
- Para cualquier cambio en el lastre.
- Para cambios en el proceso de carga o descarga.
- Durante el proceso de hacer combustible.

¹⁵ Explicación en el apartado “métodos de carga” en la página 72.

¹⁶ Sociedad de Clasificación: Organización que agrupa un seguido de profesionales marítimos con el objetivo de promover la seguridad de la vida humana en la mar y de los propios buques (ej: Lloyd’s Register)

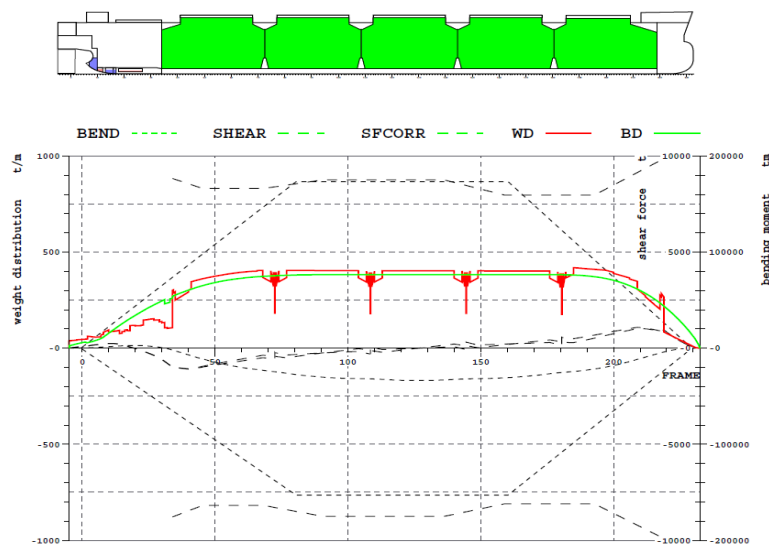
¹⁷ Explicación en “métodos de carga” en la página 73.

Si en algún caso se sobrepasarán los valores máximos existe el riesgo de que la estructura del buque se dañe de forma irreversible, es posible que el buque llegará a partirse en dos. Es importante comprender y revisar los cálculos para así asegurarse que no se excedan los esfuerzos. Algunas de las razones por las cuales se suelen exceder los límites son:

- No comprender los cálculos.
- Datos proporcionados en un idioma desconocido.
- Fallo en el sistema informático.
- Incapacidad de realizar los cálculos de forma manual si el equipo informático se ha estropeado.
- Presión Comercial
- Procedimiento rutinario realizado sin planificación.

Los buques de menor tamaño hasta “Handysize” puede que no tengan otorgados unos valores máximos para los momentos de corte y flexión, eso se debe a su corta eslora, esto hace imposible someterlo a valores excesivos de momentos de corte y flexión a menos que estos buques sean cargados siguiendo el método de bodegas alternas. En la siguiente imagen se muestran los datos tanto de las fuerzas de corte como las fuerzas de flexión del buque “SPAR LYRA” en una condición de carga de grano al 100% de su capacidad.

Imagen 37



Fuente: Fragmento obtenido del Manual de estabilidad del buque “SPAR LYRA”

7. Carga y estiba.

7.1. Generalidades

6.1.1. Concepto de estiba.

La estiba es el arte de colocar la carga a bordo para ser transportada con la máxima seguridad para el buque y para la tripulación. En la estiba es esencial la optimización del volumen disponible, evitar que se produzcan averías en la carga y el buque y tratar de reducir al mínimo las demoras en los puertos de carga y descarga.

La distribución y colocación de mercancías a bordo debe realizarse de tal forma que la estructura del buque no sufra, que este quede con suficiente estabilidad y en unas condiciones óptimas para que el buque pueda navegar de forma segura en las peores condiciones de mar y viento que se puedan dar durante la travesía.

Una estiba deficiente de la carga puede conllevar averías y comprometer la seguridad del buque y a su tripulación, poniendo además en riesgo al medio marino.

6.1.2. Objetivos de una buena estiba.

Los principales objetivos que se intentan conseguir mediante una buena estiba son:

- Proteger al buque de daños y averías: La carga debe ser distribuida de forma adecuada vertical, longitudinal y transversalmente sin que la estructura sufra esfuerzos excesivos. Esto implica que la carga se estibe teniendo en cuenta el tiempo previsto que se espera durante la travesía.
- Proteger la carga de daños y averías: La carga puede sufrir daños por un número considerable de circunstancias y es necesario tomar una serie de medidas para evitar estos daños, debido sobre todo a las siguientes causas; estiba inadecuada, distribución desigual, manejo de la carga por medios mecánicos sin el debido cuidado (carretillas elevadoras), manejo de pesos con grúas o puntales descuidados, contaminación de la carga, ventilación inadecuada, control inadecuado de la temperatura de cargas refrigeradas...
- Seguridad de la tripulación y estibadores: Una estiba correcta de la carga permitirá una adecuada manipulación de la misma, al mismo tiempo asegurará la integridad física de todas las personas que intervienen en el proceso (estibadores y dotación del buque). Es por ello que cuando se planifica la estiba se tiene en cuenta la circulación de las personas y el acceso a los medios de seguridad y salvamento del buque. Las zonas poco seguras son acordonadas, la iluminación debe ser la adecuada, también se colocan señales de advertencia donde se concierne de lo necesario.

- Aprovechar al máximo el volumen disponible: La carga se estiba a bordo de modo que se aprovecha el máximo volumen disponible, con el fin de embarcar la mayor cantidad de carga. Se evitará, en medida de lo posible, la pérdida de estiba (*broken stowage*) rellenando los huecos entre las mercancías grandes con bultos más pequeños. En la carga a granel la pérdida de estiba suele ser pequeña, aunque principalmente ocurre en las bodegas extremas, por su forma prácticamente triangular, no permite una estiba compacta y uniforme.
- Carga y descarga rápida: la posición de la carga a bordo debe ser tal que permita una descarga fácil y rápida, se debe realizar la estiba de forma que se logre el mayor número posible de manos por bodega con el fin de reducir la estancia en puerto. Esto se puede conseguir repartiendo la cantidad destinada a un puerto entre un número adecuado de escotillas.

6.1.3. Distribución de pesos.

- Distribución vertical de pesos: Los pesos se distribuyen a bordo de forma que el buque tenga en todo momento una estabilidad positiva adecuada. Cuando se estiban cargas pesadas en los planes de bodega, los buques tienen un exceso de estabilidad y será entonces un buque rígido (también denominado "*stiff*") sin embargo si se estiba las cargas pesadas en los entrepuentes de cubierta se reduce la estabilidad, es entonces un buque blando. Un buque rígido tiene un periodo de doble balance pequeño, resulta muy incómodo y peligroso para la tripulación en condiciones de mal tiempo. Si es excesivamente duro los balances son tan violentos que pueden causar daños en el buque que pueden causar vibraciones y posibles corrimientos de carga.

Los buques blandos tienen un periodo de doble balance grande, serán más confortables, pero más inestables.

Los pesos deben distribuirse de forma que no se exceda la carga admisible por metro cuadrado (*Permissible Surface Load*). Este dato figura en los planos del buque y en el manual de carga del buque.

- Distribución longitudinal de pesos: La planificación de la carga se realiza de forma que el buque quede con unos calados apropiados para tener una buena maniobrabilidad y teniendo en cuenta no sobrepasar la línea de máxima carga por fecha y zona en todo momento del viaje, también hay que tener en cuenta las restricciones de calado de los puertos de carga, descarga y recalada, considerando la densidad del agua. La distribución

longitudinal de pesos afecta al asiento del buque, así como los esfuerzos cortantes y momentos flectores, estos últimos son los que originan las condiciones de arrufo y quebranto. Generalmente cuando se embarca un cargamento completo se hace la estiba para navegar en aguas iguales o ligeramente apopado, siempre se evita un asiento aproante (el buque gobernaría peor y habría más posibilidades de que embarcara agua en condiciones de mal tiempo). Cuando se realiza una carga parcial del buque se navega con asiento apopante, de forma que la hélice siempre este totalmente sumergida. La carga debe repartirse de la forma más uniforme posible, de este modo los momentos flectores y esfuerzos cortantes estén dentro de los límites máximos permitidos durante todas las fases del viaje. Cuando se estiba la carga mayormente en el centro del buque, se produce la condición de arrufo (*sagged*) de forma que el calado en el medio es mayor que el calado medio en los extremos, por lo contrario, si se cargan mayormente los extremos y hay poca carga en el centro, se produce la condición de quebranto (*hogged*). Un arrufo o quebranto excesivo puede originar graves daños o grietas en la estructura del buque, de echo esta ha sido la causa de que algunos buques se hayan partido en dos.

Es sabido que hace años algunos capitanes cargaban conscientemente el buque en quebranto con cargas pesadas, para provocar que el buque se doblara adoptando permanentemente esta condición. De este modo podían conseguir, para futuras cargas, un calado en el medio menor para así, poder cargar más el buque. Eso podía llegar a ocurrir cuando los buques eran más pequeños por construcción y debido a que estos buques tenían unos altos márgenes de seguridad que los actuales.

Imagen 38



Fuente: "Bulk Carrier Practice"

Imagen 39



Fuente: "Bulk Carrier Practice"

- Distribución transversal de los pesos: La carga debe repartirse de forma simétrica a ambos lados de la línea central, de forma que no se forman escoras excesivas durante las operaciones de carga y descarga (estas se deben realizar con el buque adrizado). Dependiendo de la carga, se comenzará a cargar partiendo de la línea central y se irá

estibando hacia las bandas o bien, se comenzará en una banda, luego en la otra y así simultáneamente hacia el centro.

6.2. Factor de estiba.

En el sistema métrico se denomina factor de estiba (Fe ó ST¹⁸) al volumen en metros cúbicos que ocupa una tonelada métrica de carga una vez estibada. En el sistema inglés el factor de estiba se expresa como el volumen en pies cúbicos que ocupa una tonelada larga (2240 lb) de carga una vez estibada.

El factor de estiba no representa exactamente el volumen de la tonelada de carga, sino que también tiene en cuenta el embalaje de la mercancía. De este modo una misma mercancía puede tener diferente factor de estiba dependiendo del embalaje utilizado, el factor de estiba también puede variar dependiendo de la bodega de carga, ya que en una bodega de forma irregular hay más pérdida de estiba. Dependiendo del factor de estiba, los cargamentos se pueden clasificar en ligeros y en pesados. Las mercancías que cubican entre 49 y 59 pies cúbicos o de 1,39 a 1,67 m³/Tm se consideran ligeras y las que cubican menos pesadas.

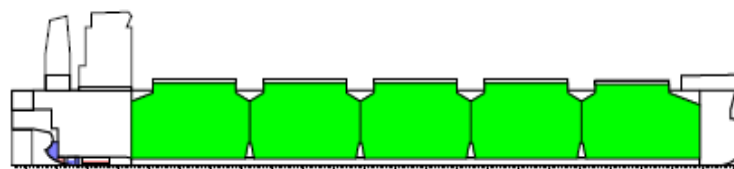
6.3. Métodos de distribución de la carga en un *bulk carrier*.

Carga completa homogénea (Homogeneous hold loading)

Se denomina como método de carga homogénea, la distribución uniforme de la carga en todas las bodegas del buque. Este método se emplea cuando se embarcan graneles de densidad baja, como por ejemplo el grano y el carbón. Aunque también se pueden emplear en cargamentos pesados como mineral de hierro y graneles de alta densidad.

PLOT OF SHIP MODEL

Imagen 40



Grain Manual "SPAR LYRA"

¹⁸ Stowage Factor (Factor de estiba)

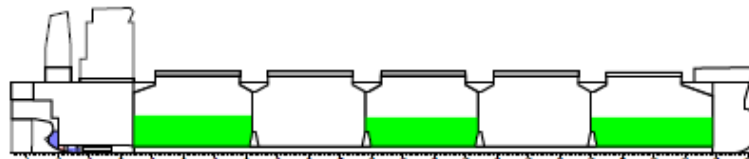
Carga completa en bodegas alternas (*Alternate hold loading*)

Es un método que se aplica en los buques bulkcarrier cuando se transporta productos pesados como el mineral de hierro o concentrados. Generalmente se cargan en bodegas impares (1,3,5,7,9) (en el caso de un cape-sized) y las demás vacías. De esta manera la carga que se lleva en cada bodega es aproximadamente el doble que, si se repartiera en todas las bodegas, por tanto el centro de gravedad de cada pila en la bodega es mayor por lo que se eleva el centro de gravedad del buque. Así se consigue que el buque sea menos duro (“*stiff*”), consiguiendo que los balances sean menos violentos.

Por otra parte, para poder transportar cargas pesadas en bodegas alternas es necesario que la estructura del buque haya sido diseñada con ese fin y que las bodegas a cargar queden especialmente reforzadas. Estos buques deben estar aprobados por la Sociedad Clasificadora correspondiente y de acuerdo al manual de carga.

PLOT OF SHIP MODEL

Imagen 41



Stability Manual "SPAR LYRA"

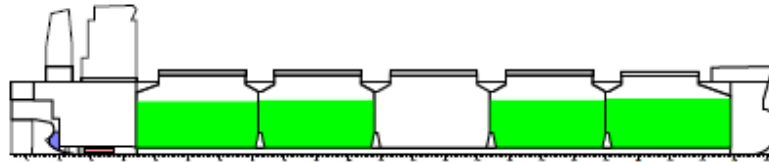
Carga en bloque (*Block Loading*)

Se conoce como *Block Loading* a la estiba de la carga de forma que la carga se estiba en dos bodegas o más, y las bodegas adyacentes a las cargadas van vacías. De esta forma se crea un bloque de bodegas cargadas que puede producir esfuerzos locales elevados. Este método de carga solo se puede llevar a cabo cuando el buque haya sido aprobado. La carga máxima permitida en dos bodegas adyacentes, cuando se utiliza este método de carga, siempre será menor a la suma de la carga máxima autorizada de ambas bodegas. En el siguiente diagrama se presenta un diagrama para determinar la carga máxima

permitida en boque en dos bodegas adyacentes, en función del calado en condiciones de puerto y en la mar, para un granelero de 54.000 TPM.

PLOT OF SHIP MODEL

Imagen 42



Stability Manual "SPAR LYRA"

Carga parcial (*Part loading*)

El método de carga parcial, se realiza cuando el cargamento a cargar es inferior al peso muerto disponible o cuando hay que cargar en un puerto una partida y luego se completará en otro puerto, con la misma carga o diferente carga. La distribución de la carga siempre hay que tener en cuenta las instrucciones del manual de carga, y comprobar los calados, asiento, momentos flectores y esfuerzos cortantes estén dentro de los límites permitidos.

6.4. Métodos de carga y descarga de buques graneleros.

A bordo de los graneleros existen diferentes métodos de carga y descarga que son utilizados cuando no se dispone de medios terrestres. Estos medios trabajan de manera más lenta que los terrestres, pero realizan la misma función. Los medios a bordo son:

- Grúas: La mayoría de buques *Handy-sized* disponen de grúas en cubierta, estas grúas pueden ser de tres tipos principalmente: Grúas de pedestal, grúas de palo y grúas pórtico. Una característica común es la capacidad de rotación que tienen de 360°, aunque disponen de sensores de seguridad para limitar los arcos de giro. Estas grúas se operan desde una cabina, al cual está situada en el frontal de la estructura rotatoria.

Los tipos de grúas a bordo son: Grúas de pedestal (*pedestal cranes*), Grúas de palo (*mast cranes*), Grúas pórtico

- Grúas de pedestal: Son las grúas más comunes encontradas en buques de carga a granel, se caracterizan porque su cabina va montada y gira en sentido horizontal sobre un mecanismo con rodamientos situado sobre una fuerte base unida a la estructura del buque y denominada como pedestal. Tienen la ventaja de que pueden dar la vuelta completamente y que las maquinillas, bombas hidráulicas, tambores de cables y demás

mecanismos se encuentran protegidos en el interior de la estructura rotatoria. En las grúas pedestal, la cabina va situada en la parte frontal superior de la estructura rotatoria, lo cual permite tener una visión libre de obstáculos y de la zona de trabajo.

- Grúas de palo: Este tipo de grúas son menos comunes, debido a que se instalan en buques diseñados para cargas pesadas. Este tipo de grúas se montan alrededor de una estructura la cual va soldada a la estructura del buque. Algunas grúas de este tipo no disponen de cabina para el operador de manera que pueden manejarse desde un panel de control o bien con un control móvil. La maquinaria y tambores de los cables pueden ir instalados dentro de la propia estructura de la grúa (como las grúas de pedestal) o también bajo cubierta.

- Grúas pórtico: Este tipo de grúas se instalan en los buques a granel tipo *open hatch* (escotilla abierta) los cuales pueden transportar, tanto carga a granel como contenedores. Este tipo de grúas está formado por una estructura metálica de cuatro patas con ruedas, lo que le permite su desplazamiento a lo largo de la cubierta. Las patas van unidas por dos fuertes vigas en sentido babor – estribor, en donde se encuentra unos railes fijos a estas vigas, lo que permite desplazar un *spreader* de babor a estribor. En la parte inferior se sitúa la cabina del operador de la grúa.

Hay distintos tipos de grúas pórtico: grúas tipo “U”, “C” y “L” con los brazos telescópicos o abatibles, que se despliegan cuando se realiza las operaciones de carga o descarga, y grúas tipo “A” que llevan un brazo giratorio situado sobre el pórtico.

Imagen 43



Fuente: <http://worldmaritimeneews.com/wp-content/uploads/2012/06/South-Korea-Dae-Sun-Delivers-New-Bulk-Carrier-IONIC-HUNTRESS.jpg>

Imagen 44

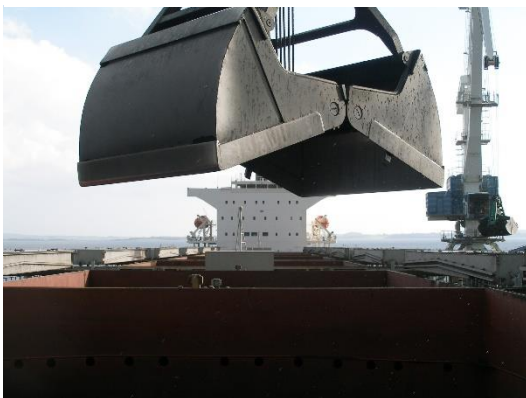


Fuente: <http://www.bouwmachines.nl/public/image/Jumbo-02.jpg>

A parte de las grúas, existen una serie de sistemas los cuales son complementos de estas, como son las cucharas y la tolva.

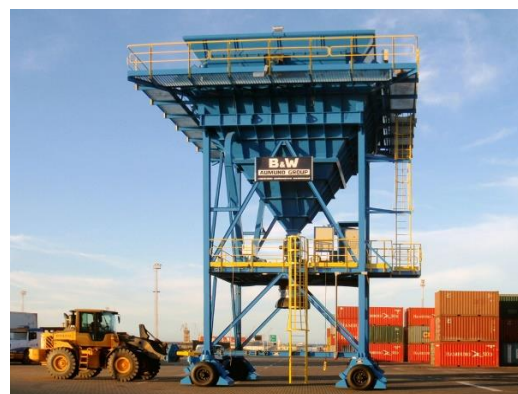
- Tolva (*Hopper*): La tolva es un elemento utilizado para la descarga de granos o minerales. Consiste en un gran embudo en el que la cuchara vierte su contenido en su interior y al pasar por la tolva el contenido se vierte sobre el lugar deseado.
- Cuchara (*Grab*): Es un dispositivo que suelen tener tanto los puertos como los buques de carga a granel (aquellos que tienen grúas). La cuchara va estibada en cubierta y en los buques tamaño *handysized* disponen de 1 cuchara por grúa. El mecanismo de apertura y cerrado se realiza por medio del operador de grúa desde la cabina.

Imagen 45



Fuente: <http://mazayahshipping.ae/wp-content/uploads/2014/02/Panamaxgrabdeckrgb-635x476.jpg>

Imagen 46



Fuente: http://samson-mh.com/content/img/samson/sized_pictures/Apodi

También hay que tener en cuenta el sistema de auto carga/descarga de los buques *self-unloading*. Estos se componen por una cinta transportadora que se extienden a lo largo de la línea de crujía. Las bodegas disponen de unas puertas en su parte inferior, las cuales al abrirse parcialmente vierten el contenido de la bodega sobre a la cinta. Estas cintas se desplazan hacia el *loop belt*, la cual coge la carga, mediante un sistema de compresión de la carga y la lleva hacia su parte superior para ser expulsada por el brazo o *boom length*. El brazo, que tiene una longitud de 40 m y un alcance máximo de 30 m.

Imagen 47



Fuente: <http://photos.marinetraffic.com/ais/showphoto.aspx?mmsi=311936000&size=>

6.5. Métodos alternativos de manipulación de la carga a granel en puerto.

Existe una serie de mecanismos y lugares en los cuales la carga es depositada y tratada cuando se realiza la descarga del buque. En este apartado discutiremos los siguientes:

- *Stockpiles*: La carga puede almacenarse en una pila al aire libre. Las *Stockpiles* son grandes montones de carga a granel (a menudo pesando miles de toneladas), apiladas sobre un área de terreno llano, a menudo asfalto u hormigón. Los mayores astilleros europeos tienen una capacidad de almacenamiento de más de 5 millones de toneladas en un área de 80 hectáreas.

Si la mercancía es de alto valor, o si existe preocupación de que la carga se contamine, es probable que la reserva esté protegida con aerosoles de agua dulce. La Terminal de Carbón de Richards Bay, por ejemplo, usa aerosoles para mantener un contenido de humedad superficial del 6-9 por ciento en sus *Stockpiles*.

En el momento que la carga llegue a los *Stockpiles* es probable que se coloque en la pila por medio de una grúa o un apilador¹⁹.

La carga a granel es retirada de los *Stockpiles* por un recuperador²⁰, el cual lleva la carga para que el *conveyor belt* la deposite en la bodega del buque. A menudo, solamente existe una unidad para funcionar como un apilador / recuperador que pondrá la carga en una pila o retirará la carga de la pila. En algunas terminales de carga, como en Stjern0y, en Noruega, donde la mina está adyacente al muelle de carga, las *Stockpiles* se encuentran en el interior de la mina.

Imagen 48



Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c8/Krupp_stackер_rtca_kestrel_mine.jpg/270px-Krupp_stackер_rtca_kestrel_mine.jpg

Imagen 49



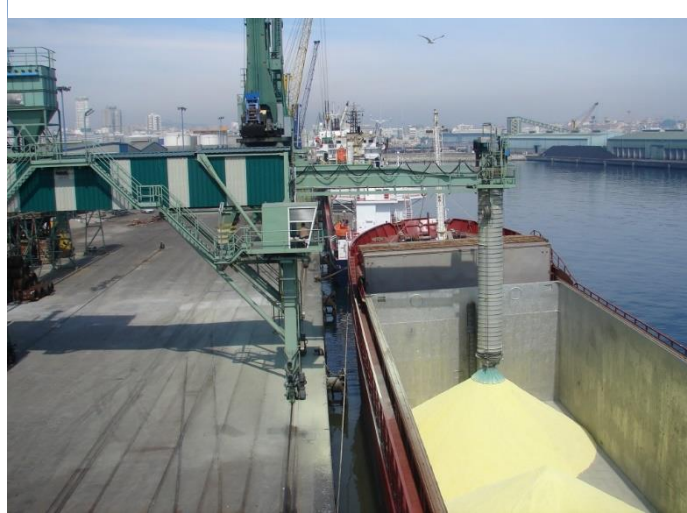
Fuente: <http://www.ameco.eu.com/wp-content/uploads/2016/11/Reclaimer-Maroc-5-300x225.jpg>

- Silos: Se utilizan principalmente para guardar granos a granel, alimentos para animales y para cargas minerales como cemento con valores altos o características polvorientas. El llenado y vaciado de los mismos se puede conseguir por medios mecánicos asistidos por gravedad o por medios neumáticos. Cuando un buque es cargado desde un silo, la carga será normalmente entregada por medio de un tubo o manguera suspendida en forma de brazo. Los silos son estructuras grandes, que pueden subdividirse en un gran número de compartimentos. El contenido completo de un compartimento puede ser el mínimo que se puede entregar.

¹⁹ Un apilador (stacker) es un dispositivo compuesto por una serie de correas transportadoras.

²⁰ Un recuperador (*reclaimer*) es una máquina que utiliza un cinturón rascador para retirar la carga de una *Stockpile* y dársela a un *conveyor belt*.

Imagen 50



Fuente: <http://abradesist.net/clevelandcascades/cargadebuques.html>

- Vagones de ferrocarril: Cuando los cargamentos de carga a granel son llevados directamente al muelle por vagones de ferrocarril, es normal usar el sistema conocido como *railcar dumper* para volcar los vagones, a veces dos en dos para así volcar el grano en la tolva o en tolvas situadas debajo de ellos. Desde la tolva la carga será transportada al buque o al silo.

La Terminal de Carbón de Richards Bay, tiene tres sistemas de descargadores de vagones en tándem, lo que da una tasa de carga de 15.000 t / h.

Imagen 51



Fuente:

http://www.overendstudio.co.za/online_reports/transnet_ar2011/imagenes/pg84_pic1.jpg

- Camiones: Los camiones que entregan la carga a granel a una terminal normalmente despliegan una rampa e inclinan su contenido en la tolva o en suelo.
- Barcazas: Cuando los cargamentos a granel son entregados a la terminal de carga mediante barcazas. La transferencia al buque de carga se realizará por medio de grúas de pórtico. Estas grúas también pueden utilizarse para cargar los buques, transfiriendo la carga desde la pila a la bodega del buque.
- Transferencia de la carga en alta mar: Cuando el comercio se desarrolla más rápido que la capacidad portuaria, como pasa en el comercio de carbón entre Indonesia e India, existe un lugar para el traspaso de la carga desde buques grandes a buques más pequeños. Esta transferencia de la carga se hace con los medios de descarga del propio buque, como las grúas pórtico, o por cintas si es un buque *self-unloading*.

Imagen 52



Fuente: <https://www.oldendorff.com/assets/images/sections/transshipment/arabian-gulf/gallery/oldendorff-arabian-gulf-transshipment-14.jpg>

8. Elaboración de un plan de estiba (plan de carga).

Un plano de estiba es un dibujo esquemático de la distribución de la carga en las bodegas, entrepuentes, escotillas y cubierta. Su función principal es obtener un buen aprovechamiento del volumen disponible de las bodegas, identificar la ubicación de las distintas partidas de carga con sus correspondientes marcas, pesos, número de bultos y espacio ocupado. También es esencial para asegurar que la carga llega a su destino sin daños y de forma segura.

- Antes de confeccionar un plan de estiba se tendrá en cuenta:
- Las mercancías destinadas al último puerto deberán estibarse antes que las demás. Del mismo modo, las mercancías destinadas al primer puerto se estibarán al final.
- Las mercancías más pesadas se deben estibar en el plan de bodega, las más ligeras y/o frágiles encima o en los entrepuentes o escotillas.
- Nunca se debe exceder la máxima carga permisible por metro cuadrado.
- No estibar juntas las mercancías que puedan desprender olores con las que puedan ser dañadas por esos olores. Tampoco las que desprendan humedad con las que son sensibles a ella.
- Si se estiban cajas, se estibarán con los números y marcas hacia arriba.
- Hay que evitar la pérdida de estiba o *broken stowage*.
- Se tiene que planificar la estiba para, así, reducir el tiempo de las operaciones de carga y descarga.

8.1. Órdenes de carga.

Las órdenes de carga llegan al buque mediante los propietarios de la carga o por los mismos fletadores del buque. La orden de carga siempre será en inglés y con el mínimo de abreviaturas posibles.

En la orden de carga se ve reflejada toda la información que se requiere para poder planificar el viaje y para calcular la cantidad de carga que será transportada. Un viaje que involucre distintas cargas y puertos, requerirá más información que un viaje que solo envíe una carga de un puerto de carga a otro de descarga.

Re: Next voyage

Intention is to load full cargo coal Hampton Roads/Richards Bay for discharge Kwangyang or Kwangyang and Pohang. Your v/1 will be supplied with capacity bunkers at Flushing after completion discharge Redcar, thereafter will top off to capacity with bunkers at Hampton Roads.

Routeing Richards Bay - Korea will be via Malacca Straits with possibility additional bunkers up to max loadable supplied at Singapore. Will revert with confirmation Singapore bunkering during voyage once price diff for bunkers Singapore/Korea established.

Please advise your bunker requirements
Flushing.

Charterers request you load following: AA About 60,000 Ltons Clintwood grade

coal at Norfolk BB About 40,000 Ltons Pittston grade coal
at Newport News CC About 38,000 Ltons Witbank grade
coal at Richards Bay Assume SF 42 all grades.

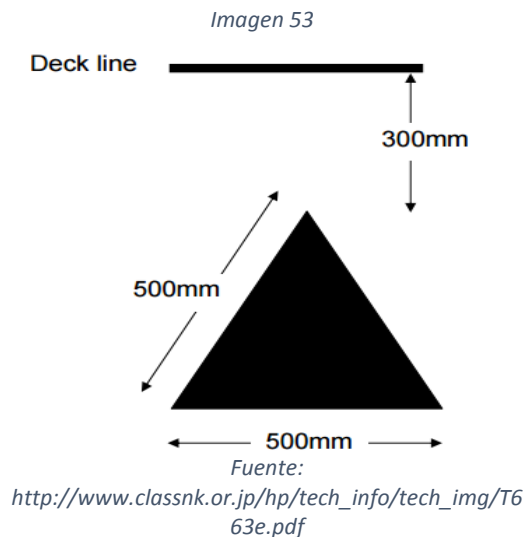
HamptonRoads/Newport News holds to be filled to capacity.

Assume V/1 proceeds 46/47 mt per day ballast/laden.

Please advise soonest provisional holdwise/gradewise stowplan.

FUENTE: Ejemplo de correo del fletador al capitán del buque extraído del libro "Bulkcarrier Practice"

Algunos buques tienen restricciones SOLAS para cargar (por ejemplo; algunas embarcaciones más antiguas y de más de 150m de eslora tienen prohibido transportar cargas de alta densidad). Los graneleros a los cuales se apliquen algunas de estas restricciones SOLAS las tendrán especificadas en el folleto de estabilidad del buque, además se marcarán (de forma permanente) en el costado del buque (a la banda de babor y de estribor), con un triángulo equilátero.



La cantidad de carga que se puede transportar en el buque puede darse por su peso muerto o por el volumen de sus espacios de carga. Cuando se transportan cargas de alta densidad, como el mineral de hierro, el buque llegará a sus marcas antes de que se llenen las bodegas. Mientras que si se transportan cargas de baja densidad, como la mayoría de productos agrícolas, los espacios de carga se llenarán antes de que el barco llegue a sus calados. Para saber si el buque llegará a sus calados antes de lo establecido o no, se debe calcular el factor de estiba (m^3/mt).

8.2. Planificación general.

Tanto si planificamos la carga de un *Very Large Bulk Carrier* o un *minibulker* los principios para planificar la carga son los mismos.

- Primero será necesario determinar la cantidad máxima de carga que el buque puede transportar.
- Seguidamente, el viaje debe ser estudiado, etapa por etapa, para identificar los puntos críticos (*limit point*) que restrinjan todavía más la cantidad de carga a transportar.
- A continuación, se determinará la disposición de la carga a bordo.

- Finalmente, se planeará el programa de descarga para asegurarnos que la carga podrá ser descargada con seguridad.

El plan de estiba debe realizarse teniendo en cuenta que el buque debe mantener siempre una estabilidad positiva satisfactoria, esfuerzos dentro de los límites máximos permitidos, calados adecuados que permitan una maniobrabilidad óptima y que el buque se haga al mar totalmente adrizado. El plano final debe contener al menos la siguiente información:

- La posición de cada partida de carga y una breve descripción.
- El peso total de cada partida.
- El puerto de carga y descarga de cada partida (generalmente eso se indicara utilizando un mismo color).
- Cualquier otra información que pueda facilitar la descarga.

8.3. Puntos críticos del viaje (*limit points*).

En varios puntos del viaje, los límites pueden restringir la cantidad de carga que puede transportar el buque. Dichos límites incluyen el calado máximo permitido del buque en cada etapa del viaje, dependiendo de la zona geográfica y la época del año, las restricciones de calado en el puerto de carga, puerto de descarga o algún punto intermedio como un canal o vía navegable. También se tiene en consideración el hecho que durante el viaje se transportan distintas cantidades de combustible y de agua de consumo durante el transcurso del viaje. Es necesario considerar todos estos límites e identificar cuál es el más restrictivo.

Estos límites anteriores se dividen en dos categorías:

- Los límites impuestos por las Reglas de líneas de carga: Estos afectan al francobordo del buque y al calado medio, pero no imponen restricciones en su asiento.
- Límites impuestos por las sondas y la densidad de agua en los puertos, y canales de navegación.

En algunos casos, el tonelaje a ser transportado puede estar estipulado en la carta de fletamento. Por ejemplo; si el fletador nos pide que se cargue hasta un máximo de 25.000 toneladas más un 5% opcional, el tonelaje de carga no excederá nunca de las 26.250 toneladas. A este tonelaje, habrá que sumarle el peso del combustible y los *pertrechos*.

Cuando ya se ha calculado la carga máxima a transportar, tendremos que comprobar que ese tonelaje de carga puede ser transportado en todas las etapas del viaje.

8.4. Disposición de la carga.

Una vez calculado el tonelaje total a transportar nos disponemos a elegir el mejor modo de disposición de la carga. Se tendrán distintos factores en cuenta:

- Cuántas bodegas se van a cargar: Si se va a llevar una carga completa de baja densidad, se cargarán todas las bodegas. Si se va a transportar una carga de alta densidad completa y el buque se ha reforzado adecuadamente, la carga puede estar en bodegas alternas.
- División de la carga total entre las bodegas: La primera tentativa puede ser experimental, también se puede dividir la carga entre las bodegas basándose en una estándar del manual de estabilidad, los tonelajes utilizados en un viaje anterior, o una división en base a la proporción (por ejemplo; una bodega que contenga el 30% de la capacidad cúbica del buque podrá recibir el 30% de la carga total).
- Colocar combustible, agua dulce y otros pesos en las posiciones previstas para la salida del puerto de carga: En el cálculo debe utilizarse una posición para el centro de gravedad de cada peso.
- Calcular el calado y el asiento del buque a la salida y asegurar que son aceptables: El calado medio será el requerido, a menos que se haya cometido un error. Si el asiento no es el requerido, se debe realizar un reordenamiento de la carga entre las bodegas.
- Calcular las características de estabilidad del barco a la salida y asegúrese de que son aceptables: No serán aceptables si no cumplen con los requisitos mínimos estipulados en el manual de carga del buque.
- Calcular las fuerzas de corte y los momentos de flexión a la salida y asegúrese de que no sean excesivos. En el manual de carga se indicarán los momentos máximos admisibles de flexión y las fuerzas de cizallamiento. En caso de que se proporcionen dos valores alternativos, uno para la carga alterna de bodegas y otro para el lastre o para una carga uniforme, debe utilizarse el conjunto apropiado.
- Verificar que el tonelaje asignado a cada bodega no sea mayor que el que permite la sociedad de clasificación: Esta comprobación es importante para asegurar que el buque no está sobrecargado, pero a menudo el requisito no se indica claramente en el manual de carga.

- Comprobar que las cargas de la bodega *tank top* o de doble fondo no sean excesivas cuando la carga es de alta densidad (como bobinas de acero): Es importante que no hay un exceso de carga en cubierta o en sobre las escotillas.
- Si el buque va a ser cargado en bloque, hay que asegurarse de que las cargas de las bodegas individuales se mantengan dentro de los límites especiales de carga de bloques establecidos por la sociedad de clasificación: Una condición de carga en bloque se refiere a la estiba de la carga en un bloque de dos o más bodegas adyacentes. Se propondrá la carga en bloque cuando se carguen o descarguen varias parcelas de carga estrecha en diferentes amarraderos o en diferentes puertos. También puede proponerse como un medio para reducir las tensiones longitudinales que se producen cuando un buque se carga en bodegas alternas.
- Trabajar paso a paso el viaje: Ajustando las cantidades de combustible para la llegada y salida de cada puerto.
- Si cualquiera de los pasos anteriores da un resultado inaceptable; los tonelajes de carga u otros pesos deben ser redistribuidos y el cálculo debe repetirse.
- Cuando se haya producido una distribución aceptable de la carga, debe reconsiderarse cuidadosamente para ver si se han introducido errores; Por ejemplo, ¿hay espacio en la bodega para el tonelaje modificado que se le asigna? ¿Puede modificarse de nuevo la distribución del tonelaje entre las bodegas de cualquier forma que ayude a acelerar la carga o descarga?

Hay casos en los cuales tras cargar nos encontramos con que el buque presenta estabilidad positiva insuficiente, fuerzas de cizallamiento excesivas o momentos de flexión, en la bodega o *tank top*. También sería inaceptable un asiento a popa excesivo para entrar o salir de un puerto. Durante la navegación un asiento apopante es deseable ya que los barcos están diseñados para navegar con la hélice totalmente sumergida.

Directrices para modificar la distribución del tonelaje:

Es muy improbable que el primer intento de distribución de la carga cumpla con todos los requisitos. Normalmente tras los cálculos se demuestra que el asiento, la estabilidad o tensiones del barco serán inaceptables para alguna de las etapas del viaje. Cuando esto ocurre hay distintas pautas a tener en cuenta antes de redistribuir los pesos nuevamente.

- Un asiento inaceptable debe ser corregido reposicionando la carga, sin mover el combustible.

- Durante el viaje el buque podrá tomar lastre, para mejorar el asiento o la estabilidad sin exceder el calado permitido.
- En los buques graneleros destinado al transporte de mercancías forestales suele darse una estabilidad positiva insuficiente. Esto se suele solucionar manteniendo los tanques de lastre llenos.
- Cuando la carga, abordó, se reorganiza para alterar el asiento o las tensiones a popa se hace un traslado del peso a popa.

A bordo de buques *Panamax* y *Cape-sized*, donde las bodegas tienen la misma longitud, normalmente es posible reducir las tensiones longitudinales manteniendo el mismo asiento, moviendo dos pesos iguales en direcciones opuestas y en los extremos opuestos del buque (Ejemplo: para reducir la fuerza de cizallamiento de la bodega N° 9, se mueven 200 toneladas de carga de la bodega N° 9 a la bodega N° 7).

Una vez se ha obtenido una distribución satisfactoria de la carga, debe diseñarse un plan para realizar la carga, siempre manteniendo los esfuerzos dentro de los límites permitidos. El plan de carga deberá proporcionar toda la información requerida por los oficiales de cubierta y el personal de carga, presentada de una manera clara y lógica (formulario IMO110). Copias del plan completado deben estar disponibles como documentos de trabajo en tierra y a bordo, y una copia debe ser presentada a bordo del buque como un registro real de la operación de carga y / o lastrado.

En el plan de carga se enumera cada paso del proceso de carga, así como los diferentes “*POUR*” (esto corresponde a la cantidad de carga vertida en una bodega). Así, un buque de cinco bodegas que cargue 30.000 podría cargarse con una primera tirada de 3.000 toneladas en cada bodega. Después se repartirían otras 15.000 toneladas más entre las cinco bodegas. Finalmente 3.000 toneladas más en cada bodega.

Normalmente cada vertido consistirá en aproximadamente la mitad del tonelaje total que se va a cargar en una bodega determinada. A veces este proceso se realizará en tres etapas. La secuencia de carga dependerá del tamaño del buque y del número de bodegas a cargar.

- En la medida de lo posible, el primer vertido debe hacerse en el centro de la bodega.
- Normalmente, el lastre debe ser descargado desde una posición cercana a la que está cargando la carga en ese momento.

<i>Tirada</i>	<i>Bodega</i>	<i>Toneladas</i>	Procedimiento de carga por un cargador, del buque “IRON SOMERSBY”
1	9	8.000	
2	5	10.000	
3	3	10.000	
4	7	12.000	
5	1	12.000	
6	9	7.000	
7	5	8.000	
8	3	8.000	
9	7	6.000	
10	1	5.500	
11	9	7.000	
12	5	4.700	
13	3	2.500	
14	7	3.000	
		103.700	

FUENTE: Tabla elaborada a partir del ejemplo expuesto en el libro “Bulk carrier Practice”

La Sociedad de Clasificación puede imponer reglas que serán citadas en el manual de carga (estas pueden ser restrictivas).

Imagen 55

Example Loading Plan

The loading or unloading plan should be prepared in a form such as shown below. A different form may be used provided it contains the essential information enclosed in the heavy line box.

LOADING OR UNLOADING PLAN Version No.		Date 15.05.09		Vessel CAPESIZE				Voyage No. 27																					
Load/Unload Port	BOCA GRANDE		Cargo(es)	IRON ORE FINES IRON ORE LUMP		Assumed stowage factor of cargoes	Both 0.39m ³ /mt		Balast pumping rate	4000 t/h		Dock water density	1.025		Max draught available (HW)	17.88		Max air draught in berth											
To/From Port	JAPAN F O		Last cargo	IRON ORE/COAL		No. of loaders/dischargers	One		Load/discharge rate	4500 th		Min draught available (LW)	9.42		Max sailing/arrival draught	17.88													
Tonnes Grade	11	10	9	14765	FINES	8	17000	LUMP	7	17380	LUMP	6	16382	LUMP	5	16382	LUMP	4	16900	FINES	3	15382	LUMP	2	15766	LUMP	1	13050	FINES
Totals:	Grade: FINES 44706 Tonnes		Grade: LUMP 98294 Tonnes		Tonnes: Total 143,000		Tonnes																						
Pour No.	Cargo		Ballast operations	Time required (hours)	Comments	Calculated Values				Calculated Values			Observed Values																
	Hold No.	Tonnes				Draught		Maximum		Air draught	Draught mid	Trim	Draught																
						Fwd	Aft	BM*	SF*				Fwd	Aft	Mid														
1	4	10000	GO 1 and 3 UWTS	2.22	Fines	9.99	10.77	73	49	10.38	0.78																		
2	1	7000	GO Upper FP, PO 2 Hold	1.56	Fines. Changeover 2 Hold	10.14	10.48	66	53	10.31	0.34																		
3	9	8000	GO 5 UWTS, PO A Peak	1.78	Fines	9.42	12.15	63	59	10.79	2.73																		
4	4	6900	PO 1 DBs	1.53	Fines	10.12	12.50	80	43	11.31	2.38																		
5	9	6756	PO 5 DBs	1.50	Fines	9.56	13.74	80	45	11.65	4.18																		
6	1	6050	PO Lower F Pk, GO 2 UWTS	1.34	Fines	9.61	13.57	75	49	11.59	3.96																		
Change grade to Lump																													
7	7	10000	GO 6 Hold to 50%	2.22	Lump	8.94	14.38	-58	55	11.66	5.43																		
8	5	10000	PO 6 Hold	2.22	Lump	8.63	13.63	-67	49	11.63	4.00																		
9	7	7382	Educt 6 Hold	1.64	Lump. Changeover 6 Hold	9.57	15.24	-64	47	12.41	5.67																		
10	3	10000	PO 2 and 3 DBs	2.22	Lump	10.41	14.65	-49	38	12.53	4.28																		
11	8	10000	GO 4 UWTS	2.22	Lump	9.58	16.66	-50	43	13.12	7.08																		
12	5	6382	PO 4 DBs	1.42	Lump	10.28	16.24	58	37	13.26	5.96																		
13	8	6000	Educt as required	1.33	Lump	9.90	17.88	53	38	13.89	7.98																		
14	2	8000	Educt as required	1.78	Lump	12.51	16.68	-65	46	14.60	4.17																		
15	6	9000	Educt as required	2.00	Lump	13.14	17.80	42	-21	15.47	4.66																		
16	2	6000	Educt as required	1.33	Lump	15.06	16.98	33	-14	16.02	1.92																		
17	6	3782	Educt ballast lines	1.64	Lump	15.59	17.88	48	-30	16.74	2.29																		
18	3	5382	Shut down ballast	1.20	Lump	16.95	17.54	44	-27	17.02	0.59																		
Trim check																													
19	8	1000		0.22	Lump	16.94	17.72	49	-30	17.33	0.79																		
20	2	1766		0.39	Lump	17.51	17.51	46	-27	17.51	0.00																		
Draft survey																													
Seagoing condition:						17.51	17.51	62	-36	17.51	0.00																		
KEEP CARGO TRIMMED LEVEL IN HOLDS **KEEP SHIP UPRIGHT AT ALL TIMES**																													
TOTAL		143000																											

NO DEVIATION FROM ABOVE PLAN WITHOUT PRIOR APPROVAL OF CHIEF MATE
 Pours to be numbered 1A, 1B, 2A, 2B, etc when using two loaders.
 Abbreviations: P = Pump In G = Gravitate In F = Full PO = Gravitate Out MT = Empty
 All entries within the box must be completed as far as possible. The entries outside the box are optional.

Signed Terminal	
Signed Ship	

*Bending moments (BM) and shear forces (SF) are to be expressed as a percentage of maximum permitted in port values for intermediate stages, and of maximum permitted at sea values for the final stage. Every step in the loading/unloading plan must remain within the allowable limits for hull girder shear forces, bending moments and tonnage per hold where applicable. Loading/unloading operations may have to be paused to allow for ballasting/delballasting in order to keep actual values within limits.

FUENTE: "Bulk carrier Practice"

9. Legislación específica para buques “*bulk carriers*”.

La alta siniestralidad registrada en buques graneleros, ha llevado a las distintas Sociedades de Clasificación a reforzar los reglamentos específicos. Algunos de estos reglamentos son:

- Parte A y B del capítulo VI, “*Transporte de cargas*” del Convenio SOLAS: Este capítulo trata el transporte de cargas sólidas a granel. También define el concepto de carga sólida a granel como: “*cualquier carga no líquida ni gaseosa constituida por una combinación de partículas, gránulos o trozos más grandes de materias, generalmente de composición homogénea, y que se embarca directamente en los espacios de carga del buque sin utilizar para ello ningún elemento intermedio de contención*”.
- Parte C del capítulo VI, “*Transporte de cargas*” del Convenio SOLAS: En este capítulo se habla del transporte de grano.
- Capítulo VII, “*Transporte de mercancías peligrosas*” del Convenio SOLAS: En el capítulo se trata el transporte de mercancías peligrosas a granel. También define el concepto de mercancías peligrosas sólidas a granel como: “*cualquier materia no líquida ni gaseosa constituida por una combinación de partículas, gránulos o trozos más grandes de materias, generalmente de composición homogénea, contemplada en el Código IMDG y que se embarca directamente en los espacios de carga del buque sin utilizar para ello ninguna forma intermedia de contención, incluidas las materias transportadas en gabarras*”.
- Reglas de la IACS para graneleros: Este reglamento engloba unas reglas estructurales comunes para graneleros y petroleros. Algunos de las normas que establece son las siguientes.
- Establece una vida de diseño de 25 años (calculados a efecto de fatiga para las condiciones más severas, es decir, Atlántico Norte).
- Establece unos criterios de resistencia estructural límite del buque-viga y unas condiciones de carga unificadas en cuanto a la posibilidad de carga en bodegas alternas y al peso específico de la misma.

- Se establecen medios de acceso consistentes en plataformas y escaleras para garantizar la facilidad de acceso e inspección de al menos 25% de las cuadernas en la zona de carga.
- Se han establecido sobre-espesores por corrosión para cada zona de la estructura teniendo en cuenta las zonas de mayor riesgo.
- Código IMSBC (*International Maritime Solid Bulk Cargoes*): El transporte de cargas sólidas a granel que no sean grano se ajusta a las disposiciones pertinentes a este código. Este nuevo código fue aprobado en 2008 por el Comité de Seguridad Marítima de la Organización.

La expedición de cargas sólidas a granel entraña una serie de peligros como daños en la estructura del buque debidos a una distribución inadecuada de la carga, la pérdida o disminución de la estabilidad durante el viaje debido a la licuefacción de la carga o las reacciones químicas de la carga. El código tiene como objetivo facilitar la seguridad en la estiba y transporte de cargas sólidas a granel, mediante la difusión de información sobre los peligros que entraña la expedición de determinados tipos de cargas sólidas a granel y de instrucciones sobre los procedimientos que han de adoptarse cuando se proyecte dicha expedición.

- Código IGC (*International Grain Code*): Este código recoge las normas y reglas que deben cumplir los buques que transportan grano a granel (trigo, maíz, avena, centeno, cebada...). Se aplica a todos los buques que transportan grano. Independientemente de su tamaño.
- Código IMDG (*International Maritime Dangerous Goods*): El código fue adoptado por el Comité de Seguridad Marítima de la Organización. Este refiere al transporte de mercancías peligrosas y abarca cuestiones relacionadas con la clasificación, el embalaje, los riesgos y procedimientos de emergencia, la estiba y la separación entre sustancias incompatibles.
- Código TDC 2011 (*Code of Safe Practice for Ships Carrying Timber Deck Cargoes*): El código proporciona las recomendaciones de estib, trincaje y otras medidas de seguridad diseñadas para el transporte seguro de cargamentos de madera, sobre todo si va estibada en cubierta.

- Código BLU (*Bulk Loading and Unloading*): Al embarcar o desembarcar cargas sólidas a granel hay, que tener en cuenta las recomendaciones del Código de prácticas para la seguridad de las operaciones de carga y descarga de graneleros que ha sido elaborado por la OMI con el objetivo de reducir al mínimo las pérdidas de buques graneleros. El Código recoge recomendaciones que sirven de orientación a los propietarios, tripulación, armadores, fletadores y empresas explotadoras de terminales para realizar sin riesgos las operaciones de manipulación, embarque y desembarque de cargas sólidas a granel.
- Anexo V Revisado del Convenio MARPOL: Esta parte del convenio trata los requerimientos para la descarga de residuos clasificados como perjudiciales para el medio marino.

10. ANEXO

10.1. Definición de términos utilizados:

- DISP: Desplazamiento
- Lpp: Eslora entre perpendiculares.
- KMT: Altura metacentro trasversal.
- LCB: Posición longitudinal del centro de flotabilidad.
- LCF: Posición longitudinal del centro de flotación.
- TPC: Toneladas por centímetro de inmersión.
- MCT: Momento longitudinal requerido para el cambio de asiento en 1 cm.
- FSM: *Free Surface Moment* , Momento de superficie libre.
- T: Calado.
- T_{aft}: Calado medido a popa.
- T _{fwd}: Calado medido a proa.
- TRIM: Asiento del buque.
- TK: Calado en el medio.
- t_a: Calado medido en las marcas de popa.
- t_f: Calado medido en las marcas de proa.
- L_a: Distancia desde la primera cuaderna de proa hasta las marcas de calado de popa
- L_m: Distancia desde el disco plinssol hasta las marcas de calado en el medio.
- L_f: Distancia desde la perpendicular de proa a las marcas de calado de proa.
- GSM: Momento volumétrico escorante del grano.
- VCG_{Sólido}: Altura del centro de gravedad vertical, sin incluir la corrección por superficie libre.
- VCG_{Fluido}: Altura del centro de gravedad vertical, corregida por superficie libre.
- GM_{Fluido}: Altura metacéntrica, corregida por superficie libre.
- GM_{Sólido}: Altura metacéntrica, sin incluir la corrección por superficie libre.
- BL: Buoyancy Line (Línea de flotación).

10.2. Cargas sólidas a granel, Licuefacción de la carga y Accidentes.

El capítulo VI del SOLAS una carga a granel es:

“Cualquier carga no líquida ni gaseosa constituida por una combinación de partículas, gránulos o trozos más grandes de materias, generalmente de composición homogénea, y que se embarca directamente en los espacios de carga del buque sin utilizar para ello ningún elemento intermedio de contención”.

El transporte de cargas sólidas a granel conlleva una serie de riesgos que incluyen, desde una disminución de la estabilidad, licuefacción de la carga, corrimiento de carga, daños estructurales en el buque, auto-calentamiento de la carga (esto puede incluso llevar a una explosión o incendio a bordo), combustión espontánea, generación de gases tóxicos, entre otros.

Antes de embarcar cualquier carga a granel es recomendable consultar el Código IMSBC y la ficha correspondiente a la carga.

A continuación, se explican algunas de las cargas más comunes transportadas en buques graneleros.

- Bauxita: Se trata de un mineral arcilloso y terroso compuesto mayormente por alúmina, óxido de hierro y sílice. Con un bajo contenido en humedad (0-10%), tamaños de entre 2,5 y 500 mm. Es una carga que no suele licuarse (aunque puede ocurrir) ni entraña riesgos de naturaleza química.

Imagen: 56



https://pbs.twimg.com/media/CnQm_VPXgAANS9d.jpg

En enero de 2015 el buque granelero “*Bulk Jupiter*”, se hundió cuando transportaba 46.400 Tm de bauxita (embarcada en Kuantan, Malasia) en 5 de sus bodegas. El hundimiento se debió (presuntamente) a la licuefacción de la carga, ya que su humedad llegó al 21,3%.

Imagen: 57



<http://gcaptain.com/bulk-jupiter-investigation-prompts-imo-bauxite-liquefaction-warning/>

- Alúmina: Se obtiene de la bauxita y es un elemento vital para la obtención del aluminio. Se encuentra en forma de polvo fino, blanco y sin olor. Su contenido en humedad es muy bajo (0 – 5%) e insoluble en agua. El polvo de alúmina es muy abrasivo e irritante (para ojos y mucosas). Algunos países requieren que los espacios de carga estén perfectamente limpios y libres de restos.

Imagen 58



https://i.ytimg.com/vi/Qxj_EAd18eo/maxresdefault.jpg

- Carbón: Se trata de una materia natural, sólida y combustible (compuesto por carbón amorfo y combustible). Se suelen transportar de países como Australia, Canadá, USA, Sudáfrica y Polonia a puertos de Europa y Japón. El transporte de carbón supone los siguientes riesgos:

- Atmósfera inflamable: con riesgo de explosión y fuego debido a que puede desprender metano (CH_4).
- Auto-calentamiento: pudiendo llegar a causar una combustión espontánea en el espacio de carga.
- Oxidación: reduce el oxígeno y aumenta el dióxido de carbono en la atmósfera.
- Corrosión del casco.
- Licuefacción.

Imagen 59



https://pixabay.com/p-101679/?no_redirect

- Mineral obtenido por reducción directa: tiene una superficie muy porosa, propenso a la re-oxidación en contacto con el aire (reacciona con el oxígeno del aire produciendo calor) y la humedad (generando hidrógeno).

En agosto de 1999 el *bulk carrier* “Karteria” cargado con 35.000 Tm de mineral de hierro sufrió una explosión en dos de sus bodegas.

Imagen 60



https://img4.fleetmon.com/originals/karteria_9236092_1588475.jpg

- Abonos: Se trata de graneles sólidos en forma de polvo o granular, solubles en agua y que se utilizan para aportar nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio...) al suelo. Los abonos a base de nitrato amónico (NA) son los más peligrosos ya que pueden ser activadores de combustión, si se calientan pueden liberar humos y gases tóxicos.

Antes de embarcar fertilizantes las bodegas deben estar limpias y secas.

En mayo de 2015 el buque “*Purple Beach*” tuvo que ser evacuado debido a que una carga de 5.000 Tm de fertilizantes se calentara y formara na enorme nube de humo con peligro de explosión.

Imagen 61



<http://abcnews.go.com/International/explosion-narrowly-avoided-fire-engulfs-ship-off-coast/story?id=31336440>

- Concentrados de minerales: Son materias obtenidas a partir de un mineral natural mediante un proceso de enriquecimiento. Es decir, son los minerales ya refinados cuyos componentes de valor han sido enriquecidos mediante la eliminación de la mayor parte de las materias de desecho. Son cargas que, en su mayoría, pueden licuarse. Algunas de estas cargas son:

Elaboración propia

Hierro (cenizas piritosas)	Concentrado de manganeso
Cobre de cementación	Concentrado de cinc
Piritas	Concentrado de plata y plomo
Escorias piritosas	Concentrado de plomo
Mineral de hierro (<i>slig</i>)	Mixto de plomo y cinc
Concentrado de plomo	Residuos de mineral de plomo
Concentrado de hierro	Cinc sintetizado
Calcinado de plomo y cinc	Sienita nefelínica

- **Coque de petróleo:** Se trata de un producto sólido carbonoso, que contiene una elevada concentración de carbono (84 – 97%), se obtiene durante una descomposición térmica de hidrocarburos pesados en las refinerías de petróleo. Tiene un poder calorífico elevado y se suele utilizar como combustible en la industria cementera y de cerámica, también, en algunas centrales térmicas de generación eléctrica. Esta carga es susceptible de calentarse e inflamarse espontáneamente. Es una carga especialmente sucia (es difícil de limpiar las bodegas tras ser descargada).

Imagen 62



<http://www.democraticunderground.com/10024063848>

- **Espatoflúor (*fluorspar*):** Es un mineral en forma de polvo grueso que contiene hasta un 45% de fluoruro cálcico (CaF_2). En su forma pura es incoloro (transparente o translúcido). Puede licuarse si su contenido en humedad excede el límite, además, es irritante si se inhala el polvo.

Imagen 63



<http://www.kgk-co.com/en/shop/commodity/1/11/Fluorspar-Fluorite>

En mayo de 2005 el buque “*Hui Long*” adquirió una escora de 15° después de que las 5.000 Tm de espatoflúor de sus bodegas se licuara. La escora aumentó y finalmente el buque se hundió.

Imagen 64



http://samlib.ru/img/u/uilxjam_d_d/pb002/

- Harina de pescado (*fishmeal*): Se trata de la mejor fuente de energía concentrada para la alimentación de animales. El 65% del producto es proteína y grasa digerible, indispensable para el rápido crecimiento rápido de los animales. Los principales productores son Perú y Chile.

Esta carga requiere un espacio de carga limpio, seco y libre de cualquier residuo.

La harina de pescado puede reaccionar con el oxígeno amentando la temperatura y por tanto de que se inflame espontáneamente.

Cargas que pueden licuarse.

Estas cargas se definen en el código IMSBC como; “*cargas que contienen cierta proporción de partículas finas y cierta cantidad de humedad. Pueden licuarse si se embarcan con un contenido de humedad superior al límite de humedad admisible a efectos de transporte*”.

Las más conocidas son los concentrados de mineral, espatoflúor, carbón, piritas, bauxita...

En el momento de la carga estas cargas están en estado sólido, hay contacto directo entre las partículas (que se mantienen unidas debido a la fricción y la cohesión). Durante la navegación, debido al movimiento del buque, el aire entre partículas va disminuyendo, acercando más a las partículas. Si la compactación llega a niveles elevados, el agua que contiene la carga también se somete a una fuerza de compactación. Si la cantidad de humedad es elevada, esto hará que la fuerza de fricción y cohesión entre partículas disminuya, llegando a licuar la carga y llevándola a comportarse como un líquido. Es por eso que es importante conocer el punto de fluidización de la carga.

10.3. Limitaciones estructurales a tener en cuenta al preparar un plan de carga en un *bulk carrier*.

Cuando se vaya a proceder a la realización de un plan de carga, debemos saber cual es la carga máxima permitida por metro cuadrado. Estos datos están representados en el plano del buque y han sido obtenidos por la Sociedad de Clasificación.

Para calcular el número máximo de toneladas que se pueden cargar en un plan de bodega sin que se sobrepasa la carga máxima autorizada, se multiplicará el área del plan de bodega por el número de toneladas permitidas por metro cuadrado. Ahora se mostrará un ejemplo del cálculo para obtener el cargamento máximo a cargar de mineral de hierro.

Dimensiones de la bodega:	Densidad Fe= 3 m ³ / Tm	
Manga (B) = 24 m	Max. Allowable Load (MAL) = 12 Tm/m ²	
Eslora (L) = 28 m		
Máxima carga a embarcar= L x B x MAL		
Máxima carga a embarcar= 24 x 28 x 12 = 8064 Toneladas		
Volumen Máximo de carga a embarcar (VMC)	$\frac{Peso}{Densidad} = \frac{8064}{3} = 2688 \text{ m}^3$	
Altura de la Estiba	$\frac{VMC}{(L \times B)} = \frac{2688}{(24 \times 28)} = 4,0 \text{ m}$	

En el caso del mineral de hierro que es una carga homogénea esta se puede apilarse sobre el plan de bodega y sobre los tanques hopper, entonces se produce una distribución de pesos debidos a los tanques hopper, por lo que se podría cargar un tonelaje extra. En el ejemplo mencionado, los tanques hopper, tienen las dimensiones siguientes:

Dimensiones de los tanques hopper:	Densidad Fe= 3 m ³ / Tm	
Manga (B) = 4 m	Max. Allowable Load (MAL) = 12 Tm/m ²	
Eslora (L) = 4 m		

Peso= 0,5 x 4 x 4 x 12 =96 Tm en cada lado	Peso= 0,5 x L x B x MAL
Volumen	$\frac{Peso}{Densidad} = \frac{96}{(3)} = 32 \text{ m}^3$
Carga (Plan de bodega y Hopper)	TOTAL TOTAL= 8064 + 96 + 96= 8226 Tn

10.4. Ejemplo plan de carga.

Para comprender mejor el proceso de planificación del plan de carga supondremos un buque que carga un solo producto a granel en un solo muelle para un único puerto de descarga. Ya que hemos conseguido los datos del buque “*Regina Oldendorff*”, lo consideraremos como ejemplo: Para el ejemplo el buque cargará fosfato calcinado en Fremantle (Australia) y descargará en Avonmouth (Reino Unido). Durante el viaje navegará por el Canal de Suez y hará combustible en el puerto de Adén.

La capacidad total de las bodegas del “*Regina Oldendorff*” es de 34.977,9 m³. El factor de estiba del fosfato calcinado es 1,10. Con esto m³/Tn. Con esto:

$$\frac{34.977,9}{1,10} = 31.798,1 \text{ Tn}$$

31.798,1 Tn es la carga que el buque puede contener. Como esta es mayor a la máxima que el buque puede llevar en calados de verano (28.031 Tn), sabemos que la roca fosfórica se trata de una carga pesada que llevará al buque a sus marcas de calado antes de que las bodegas estén llenas.

Punto límite del viaje:

Observamos los distintos puntos del viaje (*point in voyage*) en los cuales las condiciones cambian, son lo que tendremos que tener en cuenta. Para nuestro hipotético viaje (de Fremantle a Avonmouth) son los siguientes:

<i>Point in Voyage</i>	Limitación	Calado máximo (m)
Máxima carga autorizada	Marcas de verano	10,24
Salida de Fremantle	Calado máximo del puerto	12,65
Entrada a Zona Tropical	Marcas de verano	10,24
Llegada a Aden	Calado máximo del puerto	11,50
Salida de Aden	Marcas tropicales	10,45
Navegación por el Canal de Suez	Máximo calado del canal	16,20
Salida de Port Said	Marcas de verano	10,24
Entrada a zonas de invierno	Marcas de invierno	10,03 (punto límite)
Llegada a Avonmouth	Calado máximo del puerto	10,38

El punto más restrictivo del viaje se encuentra a la entrada de la zona de invierno, coincidiendo con el través de Cabo Toriñana (España). Se tiene que llegar a este punto con nuestro calado coincidiendo con las marcas de invierno, por tanto, desde nuestra salida tendremos que consumir suficiente combustible para que se cumplan estos requisitos.

Fuel	273 Tn
Diesel	25
Agua dulce	70
Pertrechos	37
Residuos de lastre	50
Otros	170
Peso total	625 Tn
Máximo para marca de invierno	27.212
Peso de la carga	26.587 Tn

El siguiente paso es asegurar que el tonelaje de la carga se puede transportar en todas las etapas del viaje, sin exceder los límites.

A continuación, calculamos la distancia aproximada y los tiempos necesarios entre los distintos puntos del viaje (se hace el cálculo estimando 350 millas náuticas por día):

Fremantle - Aden	4.920 nm	14 días
Aden - Suez	1.310 nm	4 días
Canal de Suez	100 nm	1 día
Port Said – Cabo de Toriñana	2.475 nm	7 días
Cabo de Toriñana - Avonmouth	630 nm	2 días

El consumo aproximado del “*Regina Oldendorff*” es de 37 Tn de fuel y 2 Tn de diésel por día. Suponemos, también, que el volumen de agua dulce es constante (el buque tiene planta potabilizadora). La diferencia de desplazamiento del buque entre Cabo Toriñana y Puerto Said es de:

$$39 \cdot 7 = 273 \text{ Tn}$$

El valor de inmersión del buque es 38,5 (Tn /cm). Por lo tanto el calado medio en la salida de Puerto Said será 7 cm mayor que en el cabo de Toriñana. La diferencia entre las marcas de verano e invierno es de 21,3 cm por lo tanto el buque no presentará ningún problema para cumplir con sus límites.

Si el “*Regina Oldendorff*” deja Fremantle con 26.587 Tn de carga y 1.027 Tn de otros pesos, su calado durante la navegación (obtenido en las tablas hidrostáticas del buque) será 10,13 m. Este cálculo se hace teniendo en cuenta siempre el punto crítico, Cabo Toriñana. Entonces:

<i>Point in Voyage</i>	Limitación	Calado máximo (m)	Promedio real del calado
Máxima carga autorizada	Marcas de verano	10,24	10,13
Salida de Fremantle	Calado máximo del puerto	12,65	10,13
Entrada a Zona Tropical	Marcas de verano	10,24	10,13
Llegada a Aden	Calado máximo del puerto	11,50	9,99
Salida de Aden	Marcas tropicales	10,45	10,15
Navegación por el Canal de Suez	Máximo calado del canal	16,20	10,11
Salida de Port Said	Marcas de verano	10,24	10,10
Entrada a zonas de invierno	Marcas de invierno	10,03 (punto límite)	10,03
Llegada a Avonmouth	Calado máximo del puerto	10,38	10,01

Dado que el calado medio real siempre es menor al calado límite, confirmamos que al entrar en la zona de Cabo Toriñana (*limit point*) el buque llevará el calado adecuado.

Es esencial tener en cuenta el punto crítico en todo momento del viaje, para asegurarnos que la carga máxima transportada es la correcta y que no es excesiva para ninguna de las etapas de la navegación.

Disposición de la carga a bordo:


Elegir la distribución del tonelaje: Una vez calculado el tonelaje total de carga que se va a cargar (26.587 toneladas), es necesario decidir cuánto tonelaje va a ser cargado en cada bodega. Para el buque “Regina Oldendorff”:

Bodegas	Capacidad de grano (m³)	Porcentaje	Tonelaje (Tn)	Total aproximado (Tn)
Nº 1	6.848	19,57	5.205	5.200
Nº 2	7.867	22,49	5,980	6.000
Nº 3	5.503	15,73	4.183	4.200
Nº 4	8.061	23,04	6.127	6.100
Nº 5	6.699	19,15	5.092	5.100
Total	34.978	100	26.587	26.600

10.5. Cálculo de estiba y estudio de la estabilidad para el buque “SPAR LYRA”.

Para un cargamento de grano de densidad 44 CF/LF, ($0,8155 \text{ tn/m}^3$). Los datos constantes se han obtenido a partir del manual de estabilidad del buque, el manual de carga de grano y el manual de carga y seguridad.

“M/V SPAR LYRA”							
	Weight [t]	Fill [%]	VGC [m]	M-VCG [tm]	LCG [m]	M-LCG [tm]	FSM [t]
HOLD N. 1	10025,7	99	10,12	101460,08	158,60	1590076,02	1588
HOLD N. 2	10884,4	100	10,21	111129,72	130,01	1415080,84	1058
HOLD N. 3	8700,0	80	8,46	73602	101,22	880614	15408
HOLD N. 4	10884,4	100	10,21	111129,72	72,42	788248,25	1058
HOLD N. 5	10754,2	99	10,52	113134,18	43,26	465226,69	1705
W. Ballast	0		0	0	0	0	8540
TOTAL							
DIESEL OIL	195,2		15,63	3050,98	14,02	2736,70	190
Fresh Water	239,1		15,85	3789,74	-0,81	-193,67	174
Heavy Fuel Oil	1829,9		12,41	22709,06	20,52	37549,55	1424
Lubricating Oil	113,5		10,66	1209,91	9,36	1062,36	164
Misc. Oil	0		0	0	0	0	0
Misc. Water	8,8		3,23	28,42	7,26	63,89	224
Crew, Provision and stores	55		16,82	925,1	20	1100	0
Desplazamiento en Rosca	11044,1		11,85	130872,59	84,08	928587,93	0

Desplazamiento TOTAL	64734,3 [A]			673041,59 [B]		6110088,67 [C]	
TOTAL FSM				31533 [D]			31533 [D]
VCG MOM + FSM				704574,59 [E]			
VCG $\frac{[E]}{[A]}$	10,88	[F]					
LCG $\frac{[C]}{[A]}$	94,38	[G]					

Datos hidrostáticos			
LCF	88,92	[H]	Dato obtenido a partir de las curvas hidrostáticas para asiento= 0. (Interpolando) (Entrando con el desplazamiento [A])
LCB	96,55	[I]	Dato obtenido a partir de las curvas hidrostáticas para asiento= 0. (Interpolando) (Entrando con el desplazamiento [A])
MCT.	797,28	[J]	Dato obtenido a partir de las curvas hidrostáticas para asiento= 0. (Interpolando) (Entrando con el desplazamiento [A])

Calado y Asiento			
			$L_{pp} = 183,25$
Calado Medio	12,56	[K]	Calado obtenido de las curvas hidrostáticas (entrando con el desplazamiento)
Asiento	1,76	[L]	$\frac{((I - (G)) * (A))}{(J) * 100}$
Calado de Popa	13,41	[M]	$(K) + \frac{(L) * (H)}{L_{pp}}$

Calado de Proa	11,65	[N]	$(M)-(L)$
Calado en el Medio	12,53	[O]	$\frac{(M) + (N)}{2}$
Grosor de la quilla	0,022	[P]	<i>Dato constante del buque</i>
L_a	0,20	[Q]	<i>Dato constante del buque</i>
L_f	0,85	[R]	<i>Dato constante del buque</i>
Calado en las marcas de Popa	13,42	[S]	$[(P) + (M)] - \frac{(L) + (Q)}{L_{pp}}$
Calado en las marcas de Proa	11,66	[T]	$[(P) + (N)] - \frac{(L) + (R)}{L_{pp}}$

<i>Máximo VCG permitido de acorde a la estabilidad con y sin avería</i>			
VCG	10,88	[F]	<i>VCG del buque en esta condición</i>
Max. VCG Asiento x₁=1	12,53	[U]	<i>Obtenemos el dato de las curvas de GM mínimo y VGC mínimo, entrado con el calado medio</i>
Max. VCG Asiento x₂=2	12,55	[V]	<i>Obtenemos el dato de las curvas de GM mínimo y VGC mínimo, entrado con el calado medio</i>
VCG Max, permitido	12,545	[W]	$(U) + \frac{(L) - x}{y - x} * ((V) - (U))$
Si VCG < VCG Max.	Como nuestro VCG es de 10,88 y el VCG máximo permitido según la estabilidad del buque es de 12,54, entonces tenemos que el buque tiene una estabilidad suficiente		

Momentos Volumétricos Escorantes para Grano				
<i>Calculos de momentos para grano → 44 CF/LF</i>		<i>SF: 0,8155 ton/m³</i>		
	<i>Momento Volumétrico Escorante (GSM)</i>			
HOLD N. 1	530,64	<i>m³</i>		<i>Dato obtenido a partir de la tabla de momentos escorantes, entrando con la altura de la carga en la bodega.</i>
HOLD N. 2	688	<i>m³</i>		
HOLD N. 3	14115,35	<i>m³</i>		
HOLD N. 4	688	<i>m³</i>		
HOLD N. 5	681,12	<i>m³</i>		
Total	16703,11	<i>m³</i>		<i>Suma de todos los momentos</i>
GSM REAL	13621,39	<i>ton * m³</i>	<i>ton/m³ *</i>	<i>GSM Real= Factor de estiba por momento volumétrico escorante</i>
Momento de Escora del grano Máxima				
Desplazamiento	64734,3	Ton	[A]	
KG (VCG)	10,88	M	[F]	

GSM Admisible	47956	Ton * m	<i>Entrando con el calado e interpolando.</i>	
Comprobación de la Estabilidad del grano				
GSM ACTUAL	13621,39	ton * m ³		
GSM Admisible	47956	Ton * m		
Si GSM admisible > GSM actual, entonces el criterio de estabilidad del grano se cumple				

Obtención de los momentos volumétricos escorantes del grano (GSM²¹).

Cualquier buque que se quiera o se proponga a carga cereales debe disponer de un Manual de carga de Grano, en el vienen los datos volumétricos escorantes de todos los espacios de carga, sus centros de gravedad y su volumen. Estos datos se presentan en forma de tablas o de gráficas, para cada uno de los espacios e incluyen los momentos considerando la bodega llena con los extremos sin enrasar y con los extremos enrasados.

Para la obtención del GSM, hay que entrar en sus tablas con la altura del grano en el interior de la bodega.

Estabilidad y Flotabilidad			
			$L_{pp} = 183,25$
KMT	13,73	[Z]	Metacentro transversal, obtenido de las tablas hidrostáticas
VCG _{FLUIDO}	10,88	[F]	
GM _{FLUIDO}	2,85	[GM]	[Z]-[F]
FSM	0,48	[CSL]	$\frac{[D]}{[A]}$

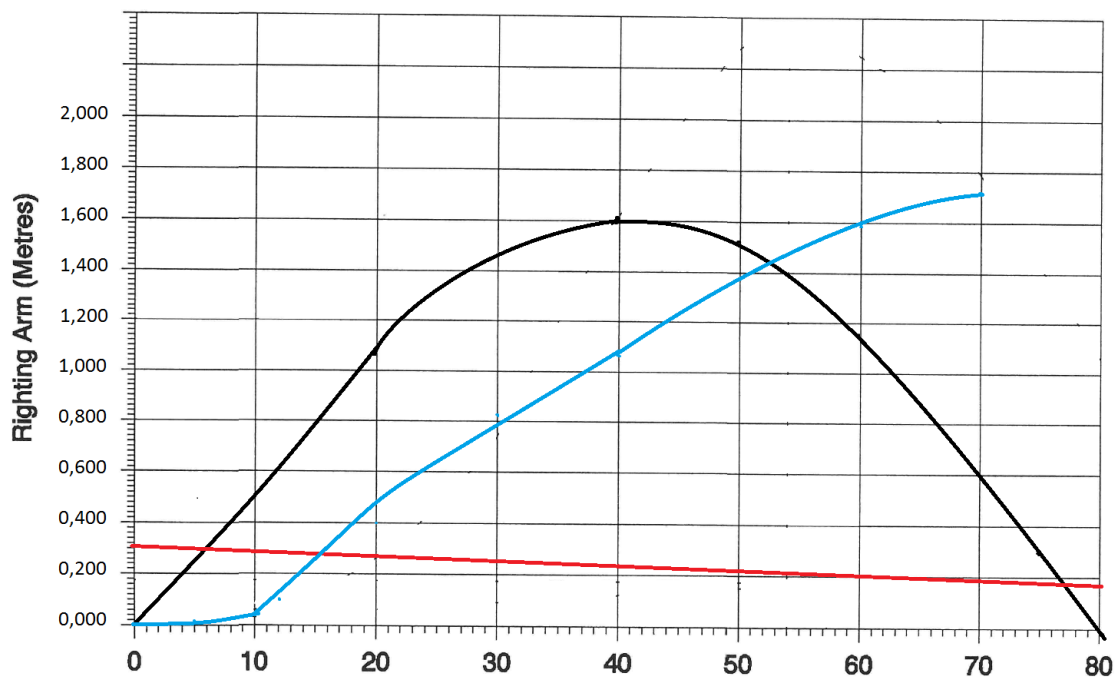
²¹ GSM= Grain Shifting Moment (momentos volumétricos escorantes del grano)

GM_{solido}	2,37	GM_{Solido}	$[GM]-[CSL]$
VCG_{solido}	10,4		$[F]-[CSL]$

	Factor de estiba	Momento Volumétrico Escorante (GSM)	Momento Escorante Transversal $\frac{GSM}{\text{Factor de estiba}}$
HOLD N. 1	0,8155	530,64	650,69
HOLD N. 2	0,8155	688	843,65
HOLD N. 3	0,8155	14115,35	17398,83
HOLD N. 4	0,8155	688	843,65
HOLD N. 5	0,8155	681,12	835,21
\sum Mto. Escorantes Transversales			20572,03
$\lambda_0 = \frac{20572,03}{64734,3} = 0,3178$		$\lambda_0 = \frac{\sum \text{Mto. Escorantes Transversales}}{[A]}$	
$\lambda_{40^\circ} = 0,3178 \cdot \cos 40^\circ = 0,2434$		$\lambda_{40^\circ} = \lambda_0 \cdot \cos 40^\circ$	

Determinación del ángulo de escora θ debido al corrimiento de grano	
$\tan \theta = 0,111$ $\theta = 6^\circ 23'$	$\tan \theta = \frac{\sum \text{Mto. Escorantes Transversales}}{[A] * [GM]}$

Estabilidad Estática				Estabilidad Dinámica			
Ángulo de Escora	KN	VCG * sen	$GZ_0=KN - VCG \cdot \text{sen}\theta$	Semisuma	Intervalo	Area Parcial	Area Total
0°	0	0	0	0	0	0	0
5°	1,194	0,94	0,254	0,127	0,087	0,011	0,011
10°	2,398	1,89	0,508	0,381	0,034	0,013	0,024
12°	2,881	2,26	0,621	0,564	0,139	0,078	0,102
20°	4,801	3,72	1,081	1,702	0,175	0,297	0,399
30°	6,797	5,44	1,357	2,438	0,175	0,426	0,825
40°	8,603	7,00	1,603	1,48	0,175	0,259	1,084
50°	9,885	8,33	1,555	1,579	0,175	0,276	1,39
60°	10,605	9,42	1,185	1,37	0,175	0,239	1,599
75°	10,841	10,51	0,331	1,518	0,087	0,132	1,731



Estabilidad Estática (GZ)

Estabilidad Dinámica

Ángulo de Escora	$GZ_0=KN - VCG.\text{sen}\theta$	F. SIMPSONS	Producto
0°	0	1	0
5°	0,254	4	1,016
10°	0,508	2	1,016
15°	0,785	4	3,14
20°	1,081	2	2,162
25°	1,201	4	4,804
30°	1,357	1	1,357
			\sum 13,495

Ángulo de Escora	$GZ_0=KN - VCG.\text{sen}\theta$	F. SIMPSONS	Producto
30°	1,357	1	1,357
35°	1,4594	4	5,8376
40°	1,603	1	1,603
			\sum 8,797

Para determinar el área neta hay que integrar la curva estática descontando el área bajo la recta de brazos escorantes. Se toman las ordenadas, resultantes de dividir la zona entre la curva y la recta en un número par, que será como mínimo 4, siendo preferible en número 6. El inicio de la integración por la izquierda lo marca el ángulo de equilibrio estático en caso de corrimiento de grano. El límite por la derecha lo marca el ángulo de inclinación 40°.

$$\text{Área Residual} = \frac{\alpha}{3} \times \sum$$

Así mismo para el buque “SPAR LYRA” será:

Área bajo la curva GZ hasta 30°	$\text{Área 1} = \frac{40 - 6,38}{6} \times \frac{\pi}{180} \times \sum 13,495$	0,439 m. rad
Área bajo la curva GZ entre 30° y 40°	$\text{Área 2} = \frac{40 - 6,38}{6} \times \frac{\pi}{180} \times \sum 8,797$	0,286 m . rad
Área bajo la curva GZ hasta 40°	Área = 0,439 + 0,286	0,726 m . rad

Por último, se deben estudiar y verificar que se cumplen con los mínimos establecidos de:


- IMO INTERNATIONAL CONVENTION ON LOAD LINES 1966
- IMO INTERNATIONAL GRAIN CODE 1881

IMO INTERNATIONAL CONVENTION ON LOAD LINES 1966			
	“MV SPAR LYRA”	Mínimos Requeridos	
Área de la curva de 0° a 30°	0,439	<u>0,055</u>	CUMPLE
Área curva brazos GZ: 0°-40° (o ángulo de inundación Θ_f si este es inferior a 40 Θ_f)	0,726	<u>0,090</u>	CUMPLE
Área curva brazos GZ: desde 30° hasta 40° (o ángulo de inundación Θ_f si este es inferior a 40 Θ_f)	0,286	<u>0,030</u>	CUMPLE
Max. GZ_0	1,603	<u>0,20</u>	CUMPLE
Ángulo de escora máx. GZ	43°	<u>≥ 25°</u>	CUMPLE
GM_{Fluido}	2,85	<u>> 0,15 m</u>	CUMPLE

IMO INTERNATIONAL GRAIN CODE 1881			
	“MV SPAR LYRA”	Mínimos Requeridos	
GM_{Fluido}	2,85	> 0,35 m	CUMPLE
Ángulo de escora (Θ_e) debido al corrimiento de grano	6°	<12°	CUMPLE
Área residual entre Θ_e y 40° (o ángulo de inundación Θ_f si este es inferior a 40 Θ_f)	0,726	>0,075	CUMPLE

10.6. Cálculo de cargamento de madera en bodega y en cubierta para el buque “SPAR LYRA”.

“M/V SPAR LYRA” TIMBER CARGO							
	Weight [t]	Fill [%]	VGC [m]	M-VCG [tm]	LCG [m]	M-LCG [tm]	FSM [t]
DECK CARGO 1	1950,0		22,50	43875	157,60	307320	0,0
DECK CARGO 2	2200,0		22,70	49940	130,00	286000	0,0
DECK CARGO 3	2200,0		22,70	49940	101,20	222640	0,0
DECK CARGO 4	2200,0		22,70	49940	72,40	159280	0,0
DECK CARGO 5	2200,0		22,70	49940	43,60	95920	0,0
HOLD N. 1	6716,5	100	10,12	67970,98	158,60	1065236,9	0,0
HOLD N. 2	7207,4	100	10,21	73587,55	130,02	937106,1	0,0
HOLD N. 3	7208,3	100	10,21	73596,74	101,22	729624,1	0,0
HOLD N. 4	7207,3	100	10,21	73586,53	72,42	521952,6	0,0
HOLD N. 5	7166,6	100	10,52	75392,63	43,26	310027,1	0,0
W. Ballast	3694,9		1,25	4618,63	131,46	485731,55	10241
TOTAL							
DIESEL OIL	195,2		15,63	3050,98	14,02	2736,70	190
Fresh Water	239,1		15,85	3789,74	-0,81	-193,67	174
Heavy Fuel Oil	1829,9		12,41	22709,06	20,52	37549,55	1424
Lubricating Oil	113,5		10,66	1209,91	9,36	1062,36	164
Misc. Oil	0		0	0	0	0	0
Misc. Water	8,8		3,23	28,42	7,26	63,89	224

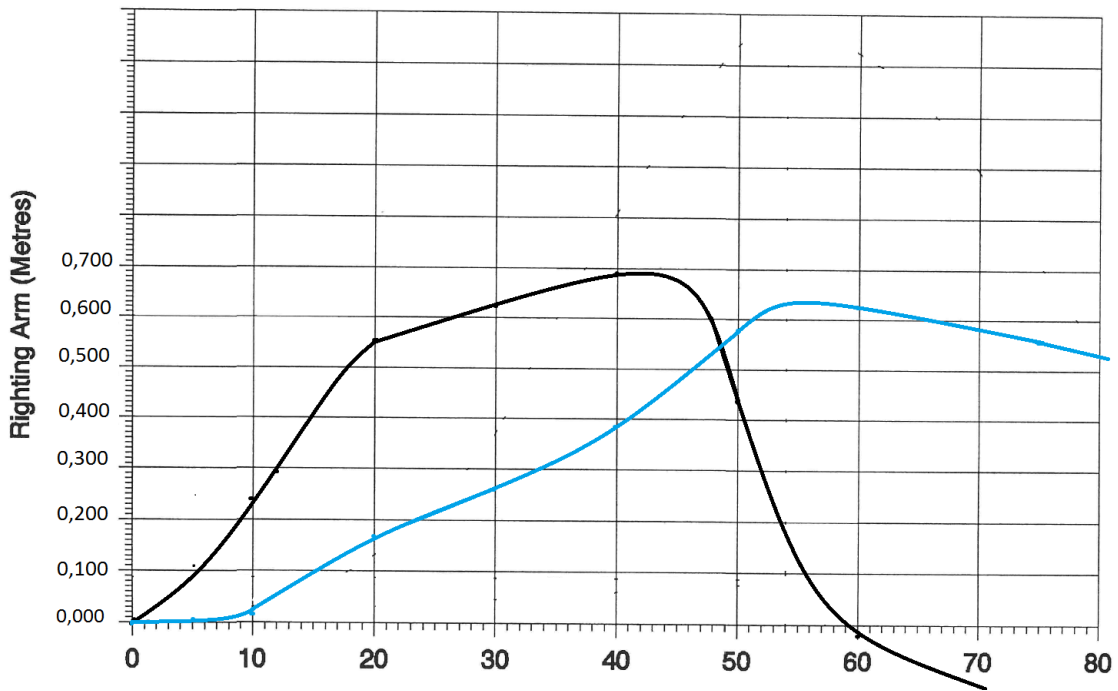
Crew, Provision and stores	55,0		16,82	925,1	20,00	1100	0
Desplazamiento en Rosca	11044,11		11,85	130872,70	84,08	928588,77	
TOTAL Desplazamiento	63436,61			774973,97		6091745,95	
	[A]			[B]		[C]	
TOTAL FSM				12417			12417
				[D]			[D]
VCG real * W				787390,97			
				[E]			
VCG $\frac{[E]}{[A]}$	12,41	[F]					
LCG $\frac{[C]}{[A]}$	96,03	[G]					

Datos Hidrostáticos							
LCG $\frac{[C]}{[A]}$	96,03	[G]					
LCF	89,08	[H]	Dato obtenido a partir de las curvas hidrostáticas para asiento= 0. (Interpolando) (Entrando con el desplazamiento [A])				
LCB	96,69	[I]	Dato obtenido a partir de las curvas hidrostáticas para asiento= 0. (Interpolando) (Entrando con el desplazamiento [A])				
MCT	795,50	[J]	Dato obtenido a partir de las curvas hidrostáticas				

<i>Calado y Asiento</i>			
			$L_{pp} = 183,25$
Calado Medio	12,33	[K]	<i>Calado obtenido de las curvas hidrostáticas (entrando con el desplazamiento)</i>
Asiento	0,53	[L]	$\frac{((I - (G)) * (A))}{(J) * 100}$
Calado de Popa	12,58	[M]	$(K) + \frac{(L) * (H)}{L_{pp}}$
Calado de Proa	12,05	[N]	$(M) - (L)$
Calado en el Medio	12,32	[O]	$\frac{(M) + (N)}{2}$
Grosor de la quilla	0,022	[P]	<i>Dato constante del buque</i>
L_a	0,20	[Q]	<i>Dato constante del buque</i>
L_f	0,85	[R]	<i>Dato constante del buque</i>
Calado en las marcas de Popa	12,59	[S]	$[(P) + (M)] - \frac{(L) + (Q)}{L_{pp}}$
Calado en las marcas de Proa	12,06	[T]	$[(P) + (N)] - \frac{(L) + (R)}{L_{pp}}$

Estabilidad y Flotabilidad			
			$L_{pp} = 183,25$
KMT	13,68	[Z]	Metacentro transversal, obtenido de las tablas hidrostáticas
VCG_{FLUIDO}	12,41	[F]	
GM_{FLUIDO}	1,27	[GM]	[Z]-[F]
FSE	0,19	[CSL]	$\frac{[D]}{[A]}$
GM_{solido}	1,07	GM _{Solido}	[GM]-[CSL]
VCG_{solido}	12,55		[F] -[CSL]

Estabilidad Estática				Estabilidad Dinámica			
Ángulo de Escora	KN	VCG _{FLUIDO} * sen	GZ ₀ =KN - VCG.senθ	Semisuma	Intervalo	Area Parcial	Area Total
0°	0	0	0	0	0	0	0
5°	1,190	1,081	0,109	0,054	0,087	0,004	0,004
10°	2,396	2,154	0,242	0,175	0,034	0,006	0,01
12°	2,872	2,581	0,291	0,533	0,139	0,074	0,084
20°	4,809	4,244	0,565	0,428	0,175	0,075	0,159
30°	6,844	6,205	0,639	0,602	0,175	0,105	0,264
40°	8,673	7,976	0,697	0,668	0,175	0,117	0,381
50°	9,952	9,506	0,446	1,143	0,175	0,200	0,581
60°	10,656	10,747	-0,091	0,177	0,175	0,030	0,611
75°	10,865	11,987	-1,122	-0,652	0,087	-0,056	0,555



Ángulo de Escora	$GZ_0=KN - VCG.\text{sen}\theta$	F. SIMPSONS	Producto
0°	0	1	
5°	0,109	4	0,436
10°	0,242	2	0,484
15°	0,386	4	1,544
20°	0,565	2	1,13
25°	0,581	4	2,324
30°	0,639	1	0,639
			$\sum 6,557$

Ángulo de Escora	$GZ_0=KN - VCG.\text{sen}\theta$	F. SIMPSONS	Producto
30°	0,639	1	0,639
35°	0,640	4	2,561
40°	0,697	1	0,697
			$\sum 3,897$

Así mismo para el buque “SPAR LYRA” será:

Área bajo la curva GZ hasta 30°	$\text{Área 1} = \frac{40}{6} \times \frac{\pi}{180} \times \sum 6,557$	0,254 m. rad
Área bajo la curva GZ entre 30° y 40°	$\text{Área 2} = \frac{40}{6} \times \frac{\pi}{180} \times \sum 3,897$	0,151 m . rad
Área bajo la curva GZ hasta 40°	Área = 0,213 + 0,127	0,405 m . rad

Por último, se deben estudiar y verificar que se cumplen con los mínimos establecidos de:

- IMO INTERNATIONAL CONVENTION ON LOAD LINES 1966
- IMO CODE OF SAFE PRACTICE FOR SHIPS CARRYING TIMBER DECK CARGOES.

IMO INTERNATIONAL CONVENTION ON LOAD LINES 1966			
	“MV SPAR LYRA”	Mínimos Requeridos	
Área de la curva de 0° a 30°	0,254	<u>0,055</u>	CUMPLE
Área curva brazos GZ: 0°-40° (o ángulo de inundación Θ_f si este es inferior a 40 Θ_f)	0,151	<u>0,090</u>	CUMPLE
Área curva brazos GZ: desde 30° hasta 40° (o ángulo de inundación Θ_f si este es inferior a 40 Θ_f)	0,151	<u>0,030</u>	CUMPLE
Max. GZ ₀	0,699	<u>0,20</u>	CUMPLE
Ángulo de escora máx. GZ	43°	<u>≥ 25°</u>	CUMPLE
GM _{Fluido}	1,27	<u>≥ 0,15 m</u>	CUMPLE

IMO CODE OF SAFE PRACTICE FOR SHIPS CARRYING TIMBER DECK CARGOES			
	“MV SPAR LYRA”	Mínimos Requeridos	
Área curva brazos GZ: 0°-40° (o ángulo de inundación Θ si este es inferior a 40 Θ)	0,151	>0 .08	CUMPLE
Par GZ₀ Máximo	0,699	> 0.25	CUMPLE
GM_{Fluido}	1,27	> 0.10	CUMPLE

10.7. Certificado de escotillas.



Report No WGJBL/ 194-00

Vessel : STAR SEA COSMOS
Port : King Fahd Industrial Port, Al-Jubail
Product : Bulk Urea
Date : 11 MAY 2000

Inspectorate Watson Gray (SA) Ltd
P O Box 10608
Jubail Industrial City - 31961
Email : 5584855@mcimail.com
Tel : (03) 361 3330
Fax : (03) 362 0065

HATCH CLOSING CERTIFICATE

This is to confirm that the undersigned Surveyor of Inspectorate Watson Gray (Saudi Arabia) Ltd has observed the closing of the vessel's hatches after loading and prior to the vessel sailing from the berth.

The sealing devices, rubbers, tarpaulins, locking bars and/or other devices pertinent to the Vessel's construction appeared to be adequate for the prevention of any ingress of water under normal circumstances. We make no guarantee as to the watertightness of any hatch closure.

Any diversion or abnormality from the above statements is noted below.

The following hatches were seen to be securely closed on completion of loading and prior to the vessel sailing from the berth:-

Hatch # 2, 3 + 5

The following hatches were considered not fully secure at the time of sailing from the berth:-

Hatch # _____

Reason for abnormality

Certificate issued at : 1000 hrs 11 MAY 2000

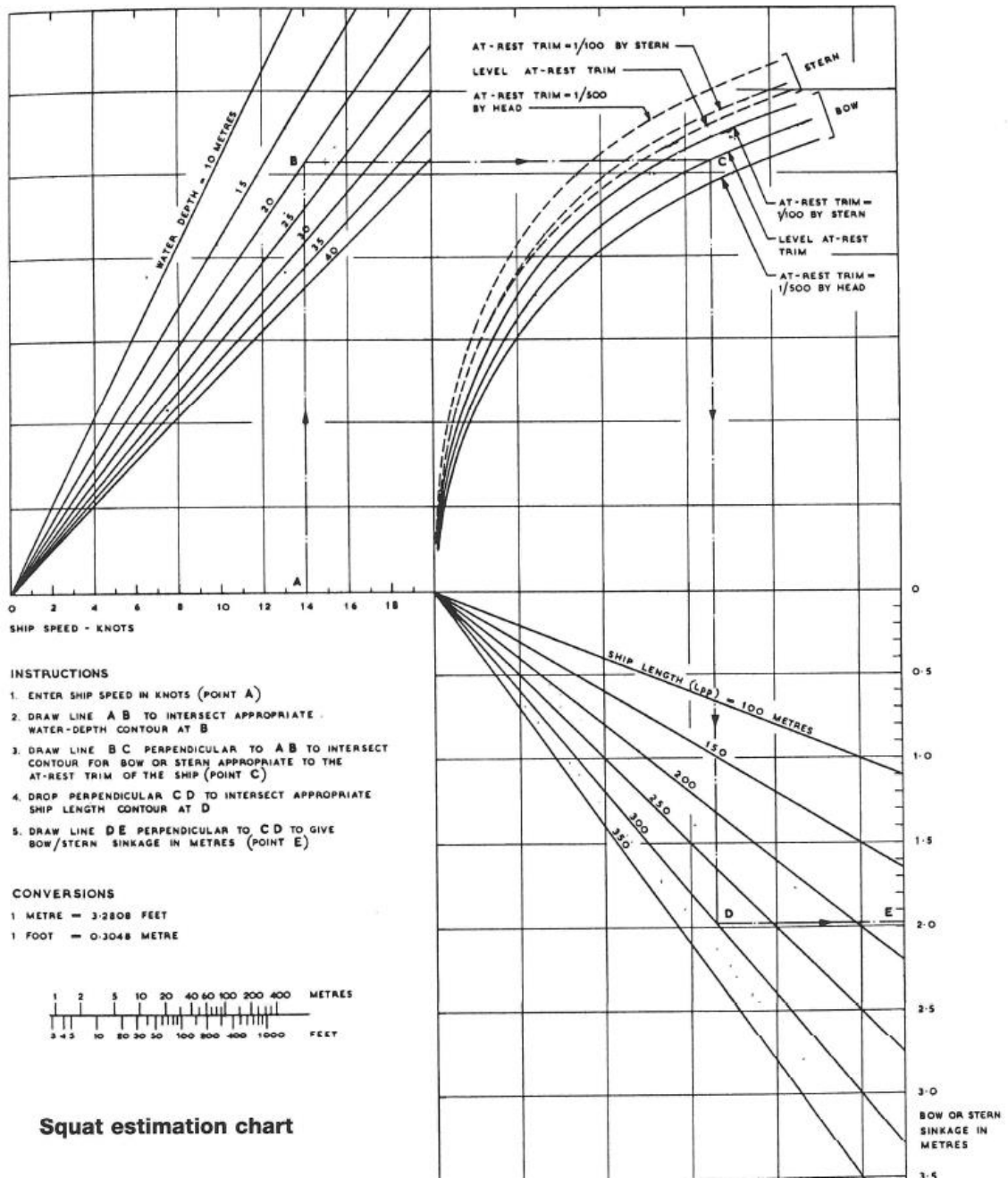
STAR SEA COSMOS

For vessel (Chief Officer/Master)

Date : _____
For and on behalf of
Inspectorate Watson Gray (SA) Ltd

Fuente: "Bulk carrier Practice"

10.8. Carta para el cálculo estimado del efecto *Squat*.



Fuente: "Bulk carrier Practice"

Conclusión

La realización de este trabajo nos ha dado la oportunidad de conocer casos reales de muchos conceptos vistos a lo largo de los cuatro años de grado, sobre todo en las materias de Construcción Naval y Teoría del buque (en cuanto a lo que refiere a la estabilidad y sus cálculos), Operaciones Portuarias, Legislación Marítima y Meteorología, entre otras.

También nos ha servido como introducción para poder empezar a entender e interpretar los manuales de un buque, gracias a esto hemos conseguido entender y adquirir los conocimientos básicos y más fundamentales para poder llegar a realizar un plan de estiba en un buque *bulkcarrier*, a su vez entendiendo y pudiendo realizar los respectivos cálculos de estabilidad, muy importantes para este tipo de buques.

Hemos podido adquirir conocimientos hasta ahora desconocidos por nosotros, como es el caso de la importancia de meteorología en las bodegas, esencial para muchas de las cargas que suelen transportarse a granel, pues una mala ventilación o un mal control de la meteorología de la bodega puede llegar a conllevar daños irreversibles, como puede suceder cuando se licua una carga en el interior de la bodega.

El trabajo nos ha dado la oportunidad de familiarizarnos con algunas de las más importantes publicaciones náuticas para la seguridad, como el “*Convenio SOLAS*”, el “*Código internacional de Líneas de Carga*” o el específico para la materia “*Código Internacional para el Transporte de Grano*”.

Tras finalizar el trabajo consideramos que hemos adquirido satisfactoriamente los objetivos propuestos en el planteamiento del trabajo, pues los resultados obtenidos ha sido los esperados.

11. Bibliografía.

1. Jack Isbester. “*Bulkcarrier Practice*”. (2010)
2. Buque Spar Lyra. “*Stability Information Manual*”
3. Buque Spar Lyra. ”*Grain Stability Manual*”
4. Buque Spar Lyra. “*Cargo Loading and Securing Manual*”
5. José Iván Martínez García. “*Problemas de teoría del buque estática.*” (2015)
6. Carlos David Verdez Gomez. “*Manual de teoría del buque.*” (2013)
7. Clark I.C. “*Stability, Trim and Strength for merchant ships.*” (2011)
8. SKLD (article) “*Guidance on preparing cargo holds and loading of solid bulk cargoes.*”
9. Maciej Pawlowski “*Stability of free-floating ship*” (2005)
10. Jan Babicz “*Ship stability in practice*” (2011)
11. In. Boris L. Guerrero “*Periodo de Balance*”
12. In. Boris L. Guerrero “*Introducción a la Estabilidad y Construcción Naval*”
13. In. Boris L. Guerrero “*Flotabilidad*”
14. In. Boris L. Guerrero “*Estabilidad Dinámica*”
15. In. Boris L. Guerrero “*Parámetros Importantes, Curvas Hidrostáticas y Curvas Cruzadas*”
16. Olivella Puig, Joan, Teoría del buque: “*Flotabilidad y Estabilidad*” (1995).
17. Olivella Puig, Joan, “*Teoría del buque problemas de flotabilidad y estabilidad*” (1995).
18. José Iván Martínez García. “*Motonave Medusa*”. (2004).
19. (IMO). “*Código de prácticas de Seguridad para buques que transporten Cubiertas de Madera*”. (2011).
20. (IMO). “*Convenio Internacional de líneas de carga.*” (1996).

21. (IMO) (2011). “*Código de prácticas de seguridad de las operaciones de Carga y Descarga en buques graneleros*”. (2011).
22. SEGURIDAD DE LA VIDA HUMANA EN EL MAR. “Código Marítimo Internacional de cargas sólidas a granel” (Código IMSBC) adoptado el 4 de diciembre de 2008 mediante Resolución MSC.268(85).
23. GRAIN LOADING AND STABILITY BOOKLET by Chapter VI, SOLAS 1974 & IMO Resolution MSC.23(59)
24. “Cargo liquefaction Nickel and iron ores.” GARD.
25. “Estiba y segregación en buques de carga general,” Capítulo 7.6.
26. “*Código de Prácticas de Seguridad Relativas a las Cargas Sólidas a Granel*” (Resolución A.434) (1979).
27. (IMO). “*Código de prácticas de Seguridad para buques que transporten Grano a Granel*” (2011).
28. (IMO) “*The merchant shipping safe loading and unloading of bulk carriers regulations.*” (2003).
29. González Blanco R. “*Manual de estiba para mercancías Sólidas.*” (2006).
30. CALCULATION OF STABILITY FOR SHIPS CARRYING GRAIN IN BULK
. DEMOCRATIC SOCIALIST REPUBLIC OF SRI LANKA MERCHANT
SHIPPING SECRETARIAT MINISTRY OF PORTS AND SHIPPING

Enlaces Web.

<http://www.mardep.gov.hk/en/msnote/pdf/msin1205anx1.pdf>

http://www.imo.org/es/Publications/Documents/Supplements%20and%20CDs/English/QB701E_012016_rev.pdf

<http://www.natcargo.org/grain.html>

http://wiki.ead.pucv.cl/images/c/c6/Clase_01_Introduccion_Mag._Teor%C3%ADa_N%C3%A1utica_2015.pdf

<https://www.skuld.com/topics/cargo/solid-bulk/general-advice/guidance-on-preparing-cargo-holds-and-loading-of-solid-bulk-cargoes/introduction/>

http://wiki.ead.pucv.cl/images/9/9b/12_Periodo_Balance.pdf

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/346866/safe_loading_and_unloading_of_bulk_carriers_2003.pdf

<http://treaties.fco.gov.uk/docs/fullnames/pdf/1998/TS0019.pdf>

<https://www.marinetraffic.com/>

<http://www.marineinsight.com/types-of-ships/what-are-bulk-carrier-ships/>

<http://www.sname.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=6358e186-c91d-47da-acff-c2d086c760dc>

<https://books.google.es/books?id=tuI7BAAAQBAJ&pg=PA161&lpg=PA161&dq=bulk+carrier+evolution&source=bl&ots=F4FeAZiYOc&sig=6hKGktVIEgvt2c1vEjGMENhcUvE&hl=ca&sa=X&ved=0ahUKEwiArqUge7PAhVEbRQKHanHDBI4ChDoAQg8MAU#v=onepage&q=bulk%20carrier%20evolution&f=false>

http://www.harbour-maritime.com/uploads/1/2/9/8/12987200/bulk_carrier_practice.pdf

<http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Regulations/Pages/BulkCarriers.aspx>

https://www.enc.es/aulavirtual/0_visita_PY/c1/116/116.htm

<http://sailandtrip.com/partes-del-barco-dimensiones/>

<http://definicion.de/puntal/>

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24182/An%C3%A1lisis%20de%20la%20estabilidad%20de%20un%20buque%20durante%20la%20operaci%C3%B3n%20de%20descarga%20de%20una%20carga%20pesada.pdf>

https://www.enc.es/aulavirtual/0_visita_PY/c1/116/116.htm

<https://ingenieromarino.wordpress.com/2012/03/22/1-que-es-un-buque-2/>

<http://www.marinadebonaire.com/ima/Informaci%C3%B3n%C3%A1utica%C3%A1sicanecesaria120322195934.pdf>

<http://estabilidadbuque.blogspot.com.es/2011/07/estabilidad-estatica-transversal.html>

http://www.escuelamaritima.com/media/noticias/5689_file.pdf

<http://www.marineinsight.com/types-of-ships/what-are-bulk-carrier-ships/>

<http://www.sname.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=6358e186-c91d-47da-acff-c2d086c760dc>

<https://books.google.es/books?id=tuI7BAAAQBAJ&pg=PA161&lpg=PA161&dq=bulk+carrier+evolution&source=bl&ots=F4FeAZiYOc&sig=6hKGktVIEgvt2c1vEjGMENhcUvE&hl=ca&sa=X&ved=0ahUKEwiArqUge7PAhVEbRQKHanHDBI4ChDoAQg8MAU#v=onepage&q=bulk%20carrier%20evolution&f=false>

http://www.harbour-maritime.com/uploads/1/2/9/8/12987200/bulk_carrier_practice.pdf

<http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Regulations/Pages/BulkCarriers.aspx>

https://www.enc.es/aulavirtual/0_visita_PY/c1/116/116.htm

<http://sailandtrip.com/partes-del-barco-dimensiones/>

<http://definicion.de/puntal/>

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24182/An%C3%A1lisis%20de%20la%20estabilidad%20de%20un%20buque%20durante%20la%20operaci%C3%B3n%20de%20descarga%20de%20una%20carga%20pesada.pdf>

https://www.enc.es/aulavirtual/0_visita_PY/c1/116/116.htm

<https://ingenieromarino.wordpress.com/2012/03/22/1-que-es-un-buque-2/>

<http://www.marinadebonaire.com/ima/Informaci%C3%B3n%20necesaria120322195934.pdf>

<http://estabilidadbuque.blogspot.com.es/2011/07/estabilidad-estatica-transversal.html>

http://www.escuelamaritima.com/media/noticias/5689_file.pdf