

**CALCULO DE CALADOS, INMERSION, ALTERACION Y CARGA A EMBARCAR
POR
LECTURAS DE CALADOS EN DOS SITUACIONES DE CARGA.**

Nº	CONTENIDO	Pag.
0.-	INTRODUCCIÓN	
1.-	CALCULO DE CARGA EMBARCADA POR LECTURA DE CALADOS	
1.-	Desplazamiento inicial del buque a la llegada a puerto calculado por pesos.	
2.-	durante las operaciones.	
3.-	Trascribir las lecturas de los calados en pies y pulgadas y determinar los calados iniciales y finales en pies y pulgadas y en unidades del sistema métrico decimal.	
4.-	Calado en el medio inicial, asiento inicial y quebranto o arrufo inicial.	
5.-	Calado medio inicial.	
6.-	Calado en el medio final, asiento final y quebranto y arrufo final.	
7.-	Calado medio final.	
8.-	Alteración producida entre las dos situaciones de carga.	
9.-	Carga embarcada según los calados finales y comprobarlo mediante las toneladas por centímetro de la flotación intermedia.	
2.-	CALCULO DE CARGA DESEMBARCADA POR LECTURA DE CALADOS	



0. INTRODUCCIÓN

El principio de Arquímedes, que se convierte en el principio fundamental de la flotabilidad, demuestra que el peso de un objeto flotando en un fluido- flotador- es igual al peso del volumen del fluido que desplaza la parte sumergida del mismo.

Es decir, hay una relación directa entre el peso del flotador y el volumen de su parte sumergida, de tal manera que a mayor peso le corresponde un mayor volumen sumergido, estableciéndose una relación biunívoca, es decir para cada peso de un flotador, le corresponde un determinado valor, y solo ese determinado valor, de su volumen sumergido.

Aplicado el principio al flotador buque, cuyo su peso de llama precisamente **Desplazamiento**, referido al agua que desplaza su casco, a cada valor del desplazamiento corresponde un valor, y solo un valor, de su volumen sumergido, lo que quiere decir un valor, y solo un valor, de su calado medio.

Es fácil entender entonces que conocido el calado medio de un buque se puede determinar su desplazamiento para ese calado, y que si un buque tiene en un momento un calado medio determinado y le introducimos o sacamos una serie de pesos se hundirá o se elevará hasta llegar a otro calado medio. Conocidos ambos calados será posible calcular sus desplazamientos para cada situación y haciendo la diferencia entre ellos podremos saber el peso que hemos introducido o sacado de a bordo.

Es decir, que a partir de dos situaciones de carga diferente, que significan dos calados medios diferentes, es posible deducir qué peso se ha introducido –cargado- o se ha retirado –descargado- del buque en el que se ha producido esa variación de los calados.

Este principio de la variación de los calados como consecuencia de la variación del peso -desplazamiento- de un buque, se puede utilizar precisamente para calcular la carga que se embarca o desembarca en el mismo -y en algún tipo de buques se utiliza normalmente, aunque también hay otros métodos.

La situación sería la siguiente, un buque llega a un puerto a realizar operaciones de carga o descarga, con un calado medio, que llamamos inicial, al que corresponde un desplazamiento determinado. Terminadas las operaciones se toma el nuevo calado, al que corresponderá otro desplazamiento. Pues bien, la diferencia de los dos desplazamientos, final menos inicial, es precisamente igual a los pesos que se han cargado o descargado del barco. Conocida esta diferencia y otros datos de otros pesos a bordo es posible determinar qué parte de ese peso total corresponderá a la carga que se ha embarcado o desembarcado del buque.

0.1.- Componentes del desplazamiento

El **Desplazamiento** de un buque –recordemos que es el peso que tiene para cada condición de calados– tiene dos grandes componentes: El **Peso en Rosca** (PR), que es el peso de la estructura del buque y de los elementos fijos del mismo, y el **Peso Muerto** (PM), que es el peso de los elementos móviles que se han introducido a bordo.

$$\Delta = PR + PM;$$

El concepto de Peso en Rosca es controvertido en términos prácticos. Conceptualmente es como hemos dicho, el peso de los elementos fijos, es decir, el peso de los elementos de la estructura fija del barco tal como sale del astillero de construcción: casco, superestructuras, máquinas y equipos, y sistema de todo tipo, más los llamados fluidos en circuitos, es decir, agua en las tuberías, combustible y aceite en los circuitos, y otros fluidos que se usan a bordo, como líquidos refrigerantes, etc. (pero en ningún caso los líquidos contenidos en los tanques, que son una parte sustancial del Peso Muerto).

No obstante, en la práctica, algunos Inspectores de la Administración Marítima consideran que determinados elementos de los buques, como los cabos de amarre, alambres, equipo de trincaje y otros objetos, que aun siendo móviles deben estar permanentemente a bordo por ser necesario para su funcionamiento, son parte del Peso en Rosca, y así lo contabilizan en su cálculo. Sea como fuere, el Peso en Rosca tiene un valor fijo -hasta que se calcule de nuevo en los plazos fijados por la normativa, cinco años en los buques de pasaje- y ese dato fijo es el que se utiliza para los cálculos que se hacen a bordo.

El Peso Muerto es, por el contrario, el peso de todos los elementos móviles que se pueden meter a bordo. Agrupados por la naturaleza de los diversos objetos que lo conforman, se suelen agrupar en los siguientes conceptos: carga; lastre (normalmente agua salada); combustible (fuel-oil y diesel-oil); aceites lubricantes y grasas; agua dulce de calderas y consumo; repuestos y respetos; pertrechos, provisiones y víveres, y por último, la tripulación y sus efectos.

$$PM = C + LA + CO + AL + AD + RP + PV + TR$$
$$\Delta = PR + PM = PR + C + LA + CO + AL + AD + RP + PV + TR$$

Dónde:

- Δ = Desplazamiento
- PR = Peso en rosca
- PM = Peso Muerto
- C = Carga
- LA = Lastre
- CO = Combustible
- AL = Aceite lubricante
- AD = Agua dulce
- RP = Repuestos y pertrechos
- PV = Provisiones y víveres
- TR = Tripulación y sus efectos

El Peso Muerto se puede expresar de la siguiente forma:

$$PM = C + LA + CO + AL + AD + RP + PV + TR ;$$
$$PM = C + (LA + CO + AL + AD + RP + PV + TR)$$

Donde los elementos encerrados en el paréntesis se suelen conocer como otros pesos, OP, así:

$$PM = C + OP \quad \text{y como } \Delta = PR + PM, \text{ y } \boxed{\Delta = PR + C + OP}$$

En la práctica real de las operaciones de carga y descarga de los buques y de la lectura de calados se dan varias situaciones y cálculos a realizar. La situación podría ser la siguiente, referida sólo a operaciones de carga, lo que nos facilita las explicaciones. Las operaciones de carga se explicarán en otro ejemplo.

1.- CALCULO DE CARGA EMBARCADA POR LECTURA DE CALADOS

Un barco llega a puerto a cargar, se conoce –aproximadamente- los pesos que tienen a bordo, se toman calados a la llegada y comienza las operaciones de carga. Finalizadas las operaciones se vuelven a tomar calados. En este caso situación se suelen hacer una serie de cálculos que nosotros ordenaremos de la siguiente manera:

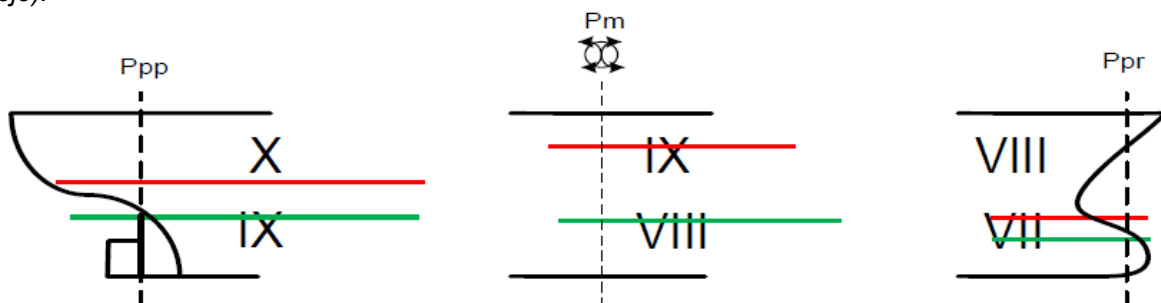
- 1º.- Cálculo del desplazamiento por pesos a la llegada.
- 2º.- Cálculo de la máxima carga que es posible embarcar, calculada a partir de los pesos a bordo.
- 3º.- Cálculo de los calados reales a proa, centro y popa a partir de lecturas en todas las escalas de calados del buque a proa, centro y popa, a estribor y babor, para las lecturas iniciales y finales.
- 4º.- Cálculo del calado en el centro, asiento y situación de arrufo o quebranto iniciales.
- 5º.- Calado medio inicial.
- 6º.- Cálculo del calado en el centro, asiento y situación de arrufo o quebranto finales.
- 7º.- Calado medio final.
- 8º.- Alteración producida entre las dos situaciones de carga.
- 9º.- Carga embarcada según los calados finales e iniciales y comprobarla mediante la inmersión y las toneladas por centímetro de la flotación intermedia.

Como se puede ver, el conocimiento de los calados no es solo una obligación para saber cuánto está el buque sumergido en el agua, conocer su asiento, y si el buque tiene arrufo o quebranto –aparte de que también entran en juego en los cálculos de estabilidad y otros- sino que se pueden utilizar, y en determinados barcos es el medio que se utiliza normalmente, para calcular la carga que se ha embarcado o desembarcado.

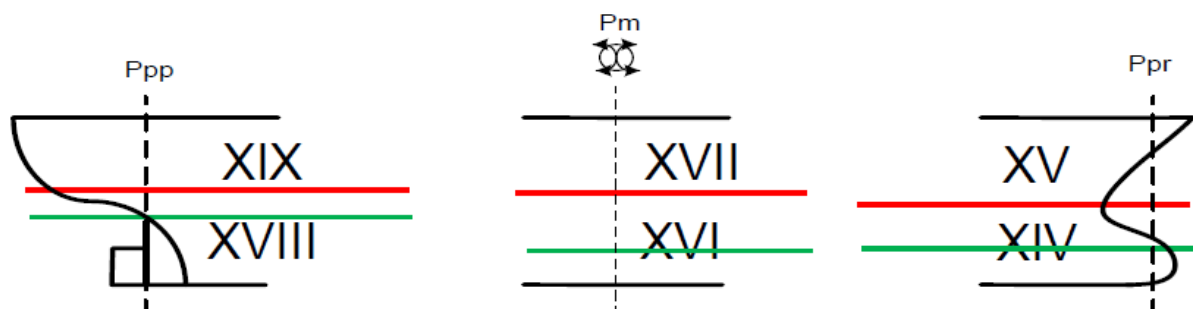
El buque E (Echo) llega a un puerto situado en la zona de carga de verano, según el Convenio Internacional de Líneas de Carga, para realizar operaciones de carga con los siguientes calados iniciales, en el costado de estribor (líneas de agua en verde), y en el costado de babor (línea de agua en rojo).

Explicaremos todos estos cálculos que se realizan a partir de las expresiones anteriores, con los datos del buque y los conceptos ya conocidos de calados y su lectura, con un ejemplo resuelto.

El buque E (Echo) llega a un puerto situado en la zona de carga de verano, según el Convenio Internacional de Líneas de Carga, para realizar operaciones de carga con los siguientes calados iniciales, en el costado de estribor (líneas de agua en verde), y en el costado de babor (línea de agua en rojo).



Después de las operaciones el buque queda con los siguientes calados.



Los pesos existentes a bordo a la llegada son los que se transcriben en el siguiente cuadro. Durante la estancia en puerto se van a consumir 25 toneladas de combustible y agua, y se van a suministrar 120 toneladas de combustible, agua y víveres antes de la salida:

Datos	Valores	
Combustible =	104,5	t
Aceite lubricante =	17,8	t
Lastre=	0	t
Agua dulce a bordo =	106,4	t
Repuestos/pertrechos =	16,8	t
Provisiones y víveres =	11,5	t
Tripulación y efectos =	5,0	t

Los datos del buque que se obtienen en la documentación del mismo son:

Eslora =	110,00	t
Manga =	17,30	t
Calado de Verano. =	5,80	t
Desplazamiento máximo de verano=	8.200	t
Peso en Rosca =	3.050	t
Peso Muerto máximo de verano =	5.150	t

Se pide calcular:

- 1º.- Desplazamiento inicial del buque a la llegada a puerto calculado por pesos.
- 2º.- Máxima carga a embarcar según los pesos a bordo, teniendo en cuenta el embarque de otros pesos durante las operaciones.
- 3º.- Transcribir las lecturas de los calados en pies y pulgadas y determinar los calados iniciales y finales en pies y pulgadas y en unidades del sistema métrico decimal (con dos decimales).
- 4º.- Calado en el medio inicial, asiento inicial y quebranto o arrufo inicial.
- 5º.- Calado medio inicial.
- 6º.- Calado en el medio final, asiento final y quebranto o arrufo final.
- 7º.- Calado medio final.
- 8º.- Alteración producida entre las dos situaciones de carga.
- 9º.- Carga embarcada según los calados finales y comprobarla mediante la inmersión producida y las toneladas por centímetro de la flotación intermedia.

SOLUCIONES

1º.-Desplazamiento Inicial del buque a la llegada a puerto calculado por pesos.

Ya hemos visto que el Desplazamiento es igual a Peso en Rosca más el Peso Muerto

$$\Delta = PR + PM;$$

El Peso Muerto es:

$$PM = C + LA + CO + AL + AD + RP + PV + TR$$

Luego

$$\Delta = PR + PM = PR + (C + LA + CO + AL + AD + RP + PV + TR)$$

Y como $PM = C + (LA + CO + AL + AD + RP + PV + TR) = C + OP$, tendremos

Tendremos,

$$\Delta = PR + PM = PR + C + OP$$

Dónde:

Δ = Desplazamiento
 PR = Peso en rosca
 PM = Peso Muerto
 C = Carga
 LA = Lastre
 CO = Combustible
 AL = Aceite lubricante
 AD = Agua dulce
 RP = Repuestos y pertrechos
 PV = Provisiones y víveres
 TR = Tripulación y sus efectos
 OP = Otros pesos.

Se suele sumar los otros pesos aparte y luego añadirse los a los otros conceptos, Peso en Rosca y Carga, si hay a bordo, para obtener finalmente el desplazamiento.

En el caso del ejemplo tendremos que el total de los otros pesos móviles a bordo a la llegada, será el siguiente:

Pesos a bordo				
Combustible	=	CO=	104,5	t
Aceite lubricante	=	LA =	17,8	t
Lastre	=	AL =	0	t
Agua dulce a bordo	=	AD =	106,4	t
Repuestos/pertrechos	=	RP =	16,8	t
Provisiones y víveres	=	PV =	11,5	t
Tripulación y efectos	=	TR =	5,0	t
Total otros pesos a bordo	=	PM =	262,0	t

No hay carga a bordo, por tanto el desplazamiento será:

Peso en Rosca	=	3.050,0 t
Carga	=	0,0 t
Otros Pesos	=	262,0 t
DESPLAZAMIENTO	=	3.312,0 t

Hay que decir que el cálculo de los pesos a bordo no es una tarea fácil. Los combustibles en tanques sí lo son, pues cada tanque tiene sus llamadas tablas de calibración en las cuales se entra, con la sonda del tanque o su vacío, y se encuentra el volumen de líquido existente en el tanque -con otros datos más, como la posición de centro de gravedad (g) del líquido existente, en relación con la quilla (kg), con el plano diametral (Lg) y con respecto a la cuaderna maestra (\otimes g), el área de la superficie libre y su momento de inercia.

A partir del volumen del líquido multiplicando por la densidad se obtienen su peso, aunque incluso algunas tablas de calibración como la que transcribimos a continuación incluyen el peso del líquido, asignándole previamente una densidad, lo cual no es muy correcto.

Sin embargo hay otros pesos, prácticamente todos los sólidos tales como los repuestos y respetos, pertrechos, provisiones y víveres, y la tripulación y sus efectos que son difíciles de calcular, amén de otros que se van añadiendo al barco poco a poco, como nuevos equipos y sistemas. Y sobre todo, elementos que se suelen tener a bordo, como objetos y piezas viejas que se van almacenando - que llamamos pesos desconocidos- y que no se tienen en cuenta, con lo cual el cálculo de los otros pesos no suele ser muy exacto.

Tanque

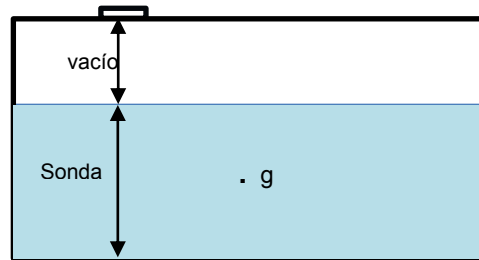


Tabla de Capacidades

Compartimento: T08P

Contenido: DIESEL OIL

Densidad del Contenido: .855

Z (LB)	ALT (M)	VACIO	VOL (M3)	PESO (T)	XG (M)	YG (M)	ZG (M)	AFL (M ²)	MIT (M4)
.064	.040	1.586	.060	.051	24.950	-7.025	.052	3.71	.241
.104	.080	1.546	.272	.233	24.354	-7.025	.079	6.66	1.194
.144	.120	1.506	.577	.493	24.191	-7.025	.103	8.45	2.408
.184	.160	1.466	.941	.804	24.121	-7.025	.127	9.66	3.595
.224	.200	1.426	1.345	1.150	24.084	-7.025	.150	10.54	4.679
.264	.240	1.386	1.784	1.526	24.063	-7.025	.173	11.43	5.956
.304	.280	1.346	2.259	1.932	24.049	-7.025	.197	12.31	7.442
.344	.320	1.306	2.767	2.366	24.038	-7.025	.220	13.04	8.859
.384	.360	1.266	3.300	2.822	24.029	-7.025	.243	13.61	10.056
.424	.400	1.226	3.856	3.297	24.022	-7.025	.266	14.17	11.348
.464	.440	1.186	4.433	3.791	24.017	-7.025	.290	14.72	12.746
.504	.480	1.146	5.034	4.304	24.013	-7.025	.313	15.28	14.241
.544	.520	1.106	5.656	4.835	24.010	-7.025	.336	15.81	15.770
.584	.560	1.066	6.297	5.384	24.007	-7.025	.359	16.28	17.238
.624	.600	1.026	6.957	5.948	24.004	-7.025	.383	16.70	18.590
.664	.640	.986	7.633	6.526	24.002	-7.025	.406	17.07	19.873
.704	.680	.946	8.322	7.115	24.000	-7.025	.429	17.39	21.013
.744	.720	.906	9.023	7.715	23.998	-7.025	.452	17.63	21.877
.784	.760	.866	9.731	8.320	23.996	-7.025	.474	17.74	22.284
.824	.800	.826	10.440	8.927	23.995	-7.025	.497	17.74	22.321
.864	.840	.786	11.150	9.533	23.993	-7.025	.519	17.74	22.299
.904	.880	.746	11.859	10.140	23.992	-7.025	.541	17.73	22.257
.944	.920	.706	12.568	10.746	23.991	-7.025	.562	17.72	22.211
.984	.960	.666	13.277	11.352	23.990	-7.025	.584	17.70	22.161
1.024	1.000	.626	13.984	11.957	23.989	-7.025	.605	17.69	22.107
1.064	1.040	.586	14.692	12.561	23.989	-7.025	.626	17.67	22.053
1.104	1.080	.546	15.398	13.166	23.988	-7.025	.647	17.66	22.000
1.144	1.120	.506	16.104	13.769	23.987	-7.025	.668	17.64	21.945
1.184	1.160	.466	16.810	14.372	23.987	-7.025	.689	17.63	21.891
1.224	1.200	.426	17.515	14.975	23.986	-7.025	.710	17.61	21.838
1.264	1.240	.386	18.219	15.577	23.985	-7.025	.730	17.60	21.785
1.304	1.280	.346	18.923	16.179	23.985	-7.025	.751	17.59	21.733
1.344	1.320	.306	19.626	16.780	23.984	-7.025	.771	17.57	21.681
1.384	1.360	.266	20.328	17.381	23.984	-7.025	.792	17.56	21.631
1.424	1.400	.226	21.030	17.981	23.983	-7.025	.812	17.54	21.581
1.464	1.440	.186	21.732	18.581	23.983	-7.025	.833	17.53	21.532
1.504	1.480	.146	22.433	19.180	23.982	-7.025	.853	17.52	21.484
1.544	1.520	.106	23.133	19.779	23.982	-7.025	.873	17.51	21.440
1.584	1.560	.066	23.833	20.378	23.982	-7.025	.894	17.49	21.396
1.624	1.600	.026	24.533	20.976	23.981	-7.025	.914	17.48	21.353
1.649	1.625	.001	24.970	21.349	23.981	-7.025	.927	17.47	21.325
1.650	1.626	.000	24.987	21.364	23.981	-7.025	.927	.00	.000

Tabla de Calibración de un tanque

Las tablas de calibración de los tanques dan los datos geométricos del mismo, su altura, capacidad (volumen), posición del centro de gravedad, superficie libre de flotación del líquido y momentos de inercia de su superficie.

Todos estos valores están relacionados con su sonda, que es la altura del líquido, o su vacío que es la distancia de la superficie del líquido y el techo del tanque. Sonda y vacío son complementarios, la suma de los dos valores es el puntal total del tanque.

Por ejemplo, si la sonda tomada del tanque de la figura, que contiene diesel oil de densidad 0,821, es de 1,04 m. calcular el volumen, coordenadas del centro de gravedad, área de la superficie libre y el momento de inercia de la misma y el peso del líquido.

Sonda: 1,04; Vacío: 0,586; Volumen contenido: 14.692 m³; Xg (distancia del c. de g. del líquido desde la ⊗) = 23,989 m a popa de ⊗; Yg (distancia transversal del c. de g. del líquido a plano diametral) = -7,025 m a babor; Zg (distancia del c. de g. a la quilla)=0,626 m; Área de la superficie libre = 17,67 m² y momento de inercia de la superficie libre =22,053 m⁴.

Peso del líquido = Volumen por densidad= 14.692 m³ x 0,821 t/m³ = 12,062 toneladas.

2º.- Máxima carga a embarcar según los pesos a bordo, teniendo en cuenta el embarque y consumo de otros pesos durante las operaciones.

Los barcos tienen limitados los calados máximos que pueden alcanzar -pero que no pueden sobrepasar- en cada momento, en atención a las exigencias del Convenio Internacional de Líneas de carga, que limitan unas líneas de máxima carga que vienen establecidas según la zona en que se encuentre el buque y en la que vaya a navegar (zonas de verano, invierno, tropical, agua dulce, etc.); además hay otras limitaciones a causa de las sondas carta (de navegación) que se van a encontrar en la derrota, las densidades de las aguas, los tiempos de navegación y consumos, etc. En este estadio inicial de este tema solo hablaremos de la limitación por las líneas de carga.

Si hay una limitación de calados máximos, evidentemente habrá una limitación en los Desplazamientos máximos y en consecuencia una limitación del Peso Muerto, y finalmente, en función de los otros pesos que haya a bordo, una limitación de la carga máxima que el buque puede embarcar.

Este es un asunto importante, no solo desde el punto de vista técnico y del cumplimiento de la normativa de líneas de carga, sino desde el punto de vista económico pues de ello dependen los ingresos por flete del buque, que se cobran por carga embarcada y transportada.

El cálculo de la carga máxima a embarcar resulta sencillo. Conocido el calado medio máximo, se calcula el desplazamiento máximo en las curvas hidrostáticas, a éste se le resta el Peso en Rosca y se obtiene el Peso Muerto máximo, y por último restándole los otros pesos a bordo se obtienen la carga máxima que el buque puede embarcar.

$$\text{Con } C_{\text{max}} \xrightarrow{\text{CH}} \Delta \text{ máximo}$$

$$\Delta \text{ max} = PR + PM \text{ max.};$$

$$PM \text{ max} = C \text{ max} + LA + CO + AL + AD + RP + PV + TR;$$

$$PM \text{ max} = C \text{ max} + (LA + CO + AL + AD + RP + PV + TR);$$

$$PM \text{ max} = C \text{ max} + OP;$$

Es decir

$$\boxed{C_{\text{max}} = PM \text{ max} - OP}$$

Donde

$C \text{ max}$ = Carga máxima a embarcar

$PM \text{ max}$ = Peso Muerto máximo

OP = Otros pesos,

Este cálculo hay que hacerlo con los otros pesos que tendrá el buque a la salida. Cuando las operaciones que va a realizar en puerto es una carga, es en el momento de salida cuando tiene que cumplir con las limitaciones de calado máximo, y por tanto de desplazamiento, peso muerto y carga máxima a embarcar.

Los otros pesos a la salida se calculan a partir de los pesos a la llegada menos los consumidos en puerto más los embarcados.

Aplicado al caso del ejemplo sabemos que el buque ha llegado a puerto con un total de 262,0 toneladas de otros pesos, pero durante su estancia va a consumir a tomar 25 toneladas y antes de salir tienen que tomar 120 toneladas de combustible agua y provisiones, de modo que la suma de los pesos iniciales menos los consumidos más los embarcados será los otros pesos que va a tener en el momento de la salida, que son los que hay que tener en cuenta para el cálculo de la carga a embarcar.

Peso Muerto Máximo a la salida

<i>Cm máximo de verano =</i>	<i>5,80 m</i>
<i>Δ máximo de verano =</i>	<i>8.200 t</i>
<i>Peso en Rosca (dato) =</i>	<i>3.050 t</i>
<i>Peso Muerto máximo de Verano =</i>	<i>5.150 t</i>

Cálculo de los otros pesos a la salida

<i>Otros pesos a la llegada =</i>	<i>262,0 t</i>
<i>Consumo en puerto =</i>	<i>-25,0 t</i>
<i>Suministros en puerto =</i>	<i>+120,0 t</i>
<i>Otros pesos a la salida =</i>	<i>357,0 t</i>

Cálculo de la carga máxima a embarcar

<i>Peso Muerto máximo de verano =</i>	<i>5.150,0 t</i>
<i>Otros pesos a la salida</i>	<i>357,0 t</i>
<i>Carga máxima a embarcar =</i>	<i>4.793,0 t</i>

3º.- Transcribir las lecturas de los calados en pies y pulgadas (o en metros y centímetros si así son las escalas) y determinar los calados iniciales y finales en pies y pulgadas y en unidades del sistema métrico decimal.

Como se ve, se toman los calados en proa, popa y centro por ambas bandas, que es lo que hay que hacer cuando se van a hacer cálculos de carga con los mismos. Los datos de estos calados se obtienen de la lectura las figuras del ejemplo, que es lo que leeríamos en los costados del buque, que como se ve están en pies y pulgadas (números romanos). Estos datos se transcriben al cálculo.

Nota: En la práctica de otros ejercicios que hagamos daremos las lecturas de los calados directamente, y los alumnos deberán transcribirlos a las figuras, dibujando los números en las escalas, y trazando las líneas de flotación en cada escala según sean esas lecturas.

Para calcular los calados en proa, popa y centro hay que promediar entre los calados de estribor y babor de forma que, por ejemplo, el calado de proa inicial será:

$$C_{pi} = \frac{C_{pr Er.} + C_{pr Br.}}{2} = \frac{(07'-02'') + (07'-05'')}{2} = \frac{14'-07''}{2} = 07'-03,5'' = 7,292' = 2,22m.$$

Donde $C_{pri Er.}$ = Calado a proa inicial en estribor,
 $C_{ppi Br.}$ = Calado a popa inicial en babor.
 C_{pri} = Calado a proa inicial.

Las operaciones se hacen sumando los calados a Estribor y Babor, lo que nos dará 2 veces el calado, y luego se divide por 2, con lo que se obtendría el calado a proa promedio de ambos costados, que es el dato correcto.

Una vez obtenido el calado en pies y pulgadas se pasan las pulgadas a pies, dividiendo por 12 (1 pie= 12 pulgadas) con una aproximación de tres decimales. De esta forma ya tenemos los calados en pies, con una parte entera, y una parte decimal hasta la centésima (tres decimales)

Los pies se pasan luego a metros y centímetros multiplicando por 0,3048 o dividiendo por 3,2008, que son respectivamente las equivalencias de pies a metros o de metros a pies.

Estas operaciones se hacen con los calados en las tres escalas, tanto en las lecturas iniciales como finales, dando en el caso del ejercicio que estamos poniendo de ejemplo, los resultados que siguen:

Calados iniciales

Proa	
$C_{pri} Er. =$	07'- 02"
$C_{pri} Br. =$	07'- 05"
$2 C_{pri} =$	14'- 07"
$C_{pri} =$	07'- 3,5"
$C_{pri} =$	7,292
$C_{pri} =$	2,22

Popa	
$C_{ppi} Er. =$	09'- 05"
$C_{ppi} Br. =$	09'- 10"
$2 C_{ppi} =$	18'- 15"
$C_{ppi} =$	09'- 7,5"
$C_{ppi} =$	9,625
$C_{ppi} =$	2,93

Centro	
$C \otimes ri Er. =$	08'- 05"
$C \otimes ri Br. =$	09'- 04"
$2C \otimes ri =$	16'- 21"
$C \otimes ri =$	08'- 10,5"
$C \otimes ri =$	8,875
$C \otimes ri =$	2,71

Calados finales

Proa	
$C_{prf} Er. =$	14'- 02"
$C_{prf} Br. =$	14'- 08"
$2 C_{prf} =$	28'- 10"
$C_{prf} =$	14'- 05"
$C_{prf} =$	14,417
$C_{prf} =$	4,39

Popa	
$C_{ppf} Er. =$	18'- 07"
$C_{ppf} Br. =$	18'- 10"
$2 C_{ppf} =$	36'- 17"
$C_{ppf} =$	18'- 08,5"
$C_{ppf} =$	18,708
$C_{ppf} =$	5,70

Centro	
$C \otimes ri Ef. =$	16'- 01"
$C \otimes ri Bf. =$	16'- 10"
$2C \otimes rf =$	32'- 11"
$C \otimes rf =$	16'- 05,5"
$C \otimes rf =$	16,458
$C \otimes rf =$	5,02

4º.- Calado en el centro (en el medio) inicial, asiento inicial y quebranto/ arrufo inicial.

4º A) El calado en el centro inicial calculado es el promedio del calado de proa y popa.

$$C \otimes ci = \frac{C_{pri} + C_{ppi}}{2} = \frac{2,22 + 2,93}{2} = \frac{5,15}{2} \approx 2,58m.$$

Hay que distinguir entre el calado en el centro leído o real, $C \otimes r$, y el calado en el centro calculado, $C \otimes ci$, promedio entre el calado de proa y el calado de popa, que pueden tener el mismo valor o no. Si lo tienen significa que la quilla del buque está recta y el buque no tienen arrufo ni quebrando, si es diferente el buque tienen arrufo o quebranto, como veremos a continuación.

4º B) El asiento inicial es la diferencia entre el calado de popa (siempre primero como minuendo) y el calado de proa como sustraendo. El signo de la operación nos indicará la naturaleza del asiento. Si es positivo ($C_{ppf} > C_{prf}$) el asiento es apopante. Si es negativo ($C_{prf} < C_{ppf}$) el asiento es aproante.

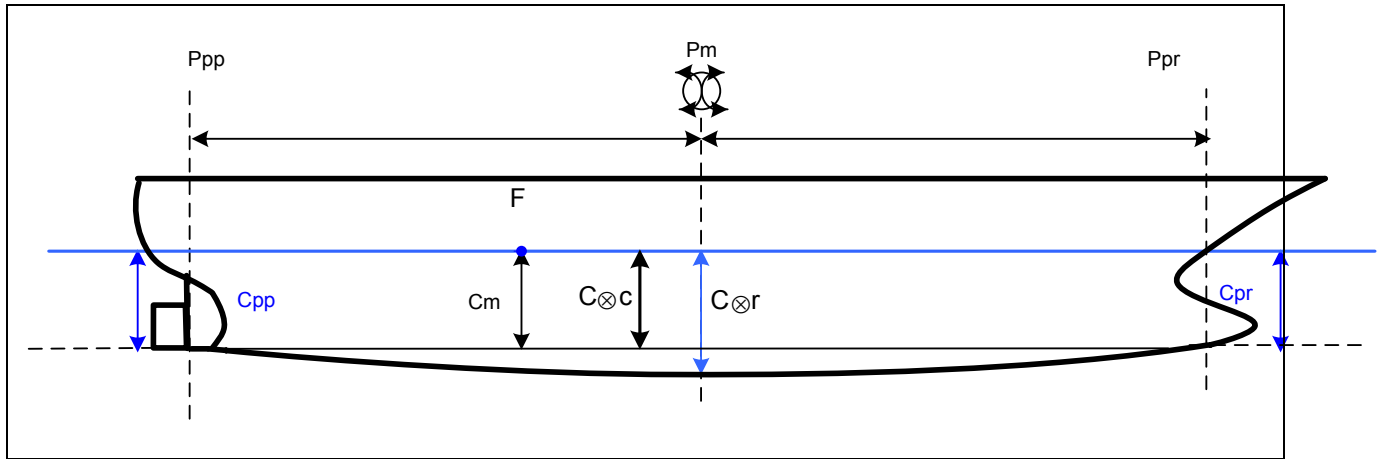
$$a = C_{ppi} - C_{pri} = 2,93 - 2,22 = +0,71m. \text{ (apopante)}$$

Si el Calado a popa es mayor que el calado a proa, $C_{ppf} > C_{prf}$; + : asiento apopante.
Si el Calado a proa es mayor que el calado a popa, $C_{prf} > C_{ppf}$; - : asiento aproante.

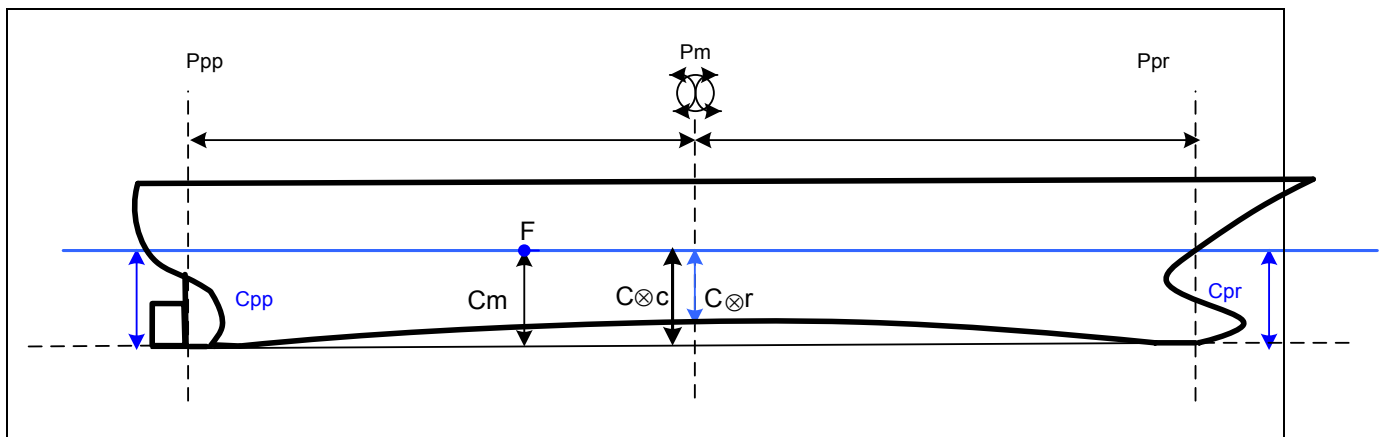
4º C) El arrufo o quebranto es la diferencia entre el calado en el centro real -el leído en la escala del centro- como minuendo, y el calado en el medio calculado, como sustraendo.

$$\text{Arrufo / Quebranto} = C \otimes ri - C \otimes ci = 2,71 - 2,58 = +0,13 \text{ (apopante)}$$

Si el Calado real (leído) es mayor que el calado calculado, $C \otimes r > C \otimes ci$; + : Arrufo.
Si el Calado real (leído) es menor que el calado calculado, $C \otimes r < C \otimes ci$; - : Quebranto.



C ⊗ · C ⊗ : Arrufo



C ⊗ : C ⊗ : Quebranto

Aplicado lo explicado al ejercicio del ejemplo tendremos:

4° A) Calado ⊗ calculado inicial

$C_{pr} i =$	2,22	m
$C_{pp} i =$	2,93	m
$2 C \otimes ci =$	5,15	m
$C \otimes ci =$	2,58	m

4° B) Asiento inicial

$C_{pp} i =$	2,93	m
$C_{pr} i =$	2,22	m
$A_i =$	0,71	m
Apopante		

4° C) Arrufo / quebranto inicial

$C \otimes ri =$	2,71	m
$C \otimes ci =$	2,58	m
Diferencia =	0,13	m
Arrufo		

5°.- Calado medio inicial.

El calado medio final es igual al Calado en el centro inicial más la corrección por asiento, con su signo.

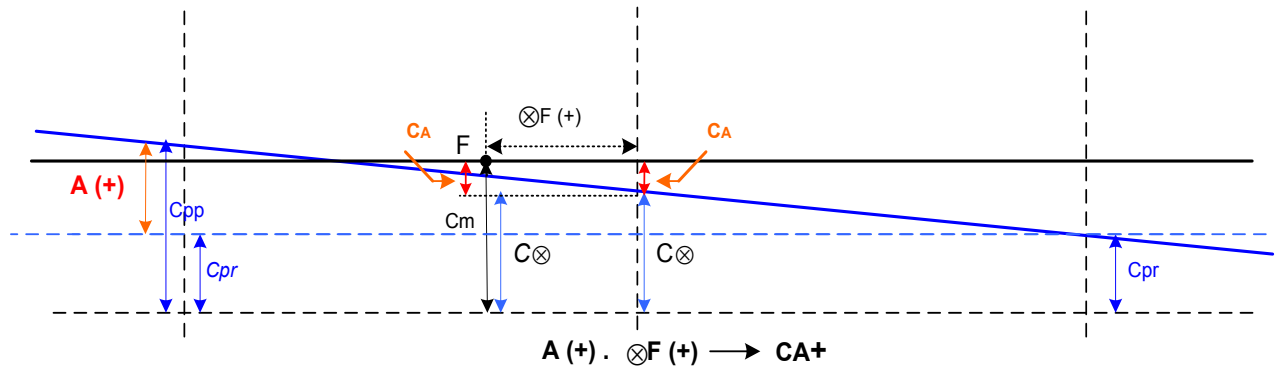
$$C_{mi} = C \otimes ci + C_{Ai}$$

La corrección por asiento se calcula con la expresión

$$C_{Ai} = \frac{A_i}{E} \cdot \otimes F_i$$

Dónde:

- CA_i = Corrección por asiento inicial
 A_i = Asiento inicial
 E = Eslora entre perpendiculares
 $\otimes F_i$ = Distancia del centro de eslora al centro de flotación inicial



La distancia del centro de eslora al centro de flotación se obtiene de las curvas (tablas) hidrostáticas, entrando con el calado en el centro calculado $C \otimes$

5º A) Posición del centro de flotación $\otimes F$ inicial

$C \otimes ci = 2,58 \text{ m}$

Interpolación

$C \otimes ci =$	2,50	$CH \longrightarrow \otimes F =$	-1,98
$C \otimes ci =$	2,60	$CH \longrightarrow \otimes F =$	-1,94
<i>Si para Dif.</i>	0,10	<i>Diferencia</i> \longrightarrow	0,040
<i>Para Dif (2,62-2,60)</i>	0,08	<i>Corrección</i>	0,032
<i>Para</i>	2,28 m	$\otimes F =$	-1,948

5º B) Corrección por asiento

$$C_A = \frac{A}{E} \cdot \otimes F = \frac{+0,71}{110} \cdot (-1,948) = -0,013 \text{ m.}$$

5º C) Calado medio inicial

$$C_{mi} = C \otimes ci + C_A = 2,62 + (-0,013) = 2,567 \text{ m.}$$

6º.- Calado en el centro (en el medio) final, asiento final y quebranto/ arrufo final.

Las formulas y procedimiento a utilizar para calcular los apartados correspondientes al calado final son exactamente iguales a los utilizados con el calado inicial, solo que emplearemos los valores de los calados finales. Pasamos directamente al cálculo.

6° A) Calado \otimes calculado final

$C_{pr} f =$	4,39	m
$C_{pp} f =$	5,70	m
$2 C \otimes cf =$	10,09	m
$C \otimes cf =$	5,05	m

6° B) Asiento final

$C_{pp} f =$	5,70	m
$C_{pr} f =$	4,39	m
$A f =$	1,31	m
Apopante		

6° C) Arrufo / quebranto final

$C \otimes rf =$	5,02	m
$C \otimes cf =$	5,05	m
Diferencia =	-0,03	m
Quebranto		

7°.- Calado medio final.

7° A) Posición del centro de flotación \otimes F final

$$C \otimes cf = 5,05 \text{ m}$$

Interpolación			
$C \otimes ci =$	5,00	CH \longrightarrow \otimes F =	-0,19
$C \otimes ci =$	5,10	CH \longrightarrow \otimes F =	-0,07
Si para Dif.	0,10	Diferencia	0,12
Para Dif (5,79 -5,70)	0,05	Corrección	0,060
Para	5,05 m	\otimes F =	-0,130

7° B) Corrección por asiento final

$$C_A = \frac{A}{E} \cdot \otimes F = \frac{+1,31}{110} \cdot (-0,130) = -0,002 \text{ m}.$$

7° C) Calado medio final

$$C_{mi} = C \otimes ci + C_A = 5,5 + (-0,002) = 5,048 \text{ m}.$$

8°.- Alteración producida entre las dos situaciones de carga.

La alteración es la diferencia entre el asiento final, que se pone siempre como minuendo (arriba) y el asiento inicial, que se pone como sustraendo (debajo).

$$A = Af - Ai.$$

Si el Asiento final es mayor, $Af > Ai$; a tienen signo positivo, alteración apopante.
Si el Asiento final es menor, $Af < Ai$; a tienen signo negativo, alteración aproante.

En el cálculo:

Asiento final =	1,31
Asiento inicial =	0,71
Alteración =	0,60
Apopante	

9°.- Carga embarcada según las lecturas de calados.

9° A) Por diferencia de desplazamientos en las tablas hidrostáticas.

Como hemos visto, los desplazamientos dependen de los calados. Entre dos situaciones diferentes de calados habrá dos desplazamientos distintos. Los cambios de calados se deben a la carga o descarga de pesos, luego, la diferencia de los desplazamientos final menos inicial será igual al peso total embarcado o desembarcado PTE/D.

Los desplazamientos se obtienen entrando con los calados medios finales e iniciales en las curvas (tablas) hidrostáticas. La diferencia de los desplazamientos son los pesos totales embarcados o desembarcados.

Estos pesos totales estarán constituidos por la carga embarcada/desembarcada más otros pesos embarcados menos otros pesos desembarcados o consumidos.

Pues bien, al total de los pesos embarcados les restamos los otros pesos embarcados y le sumamos los pesos desembarcados/consumidos en puerto y nos darán la carga neta embarcada.

$$PTE/D = \Delta F - \Delta I. ; \quad PTE/D = C + OPE - OPC$$

$$C = PTE - OPE + OPC$$

Dónde:

PTE/D = Peso embarcado o desembarcado.

ΔF = Desplazamiento final

ΔI = Desplazamiento inicial

C = carga embarcada (+)/desembarcada (-)

OPE = Otros pesos embarcados

OPC = Otros pesos consumidos o desembarcados

Aplicado al ejercicio del ejemplo tendremos:

Cálculo del desplazamiento final

$$C_{mf} = 5,794 \text{ m}$$

Interpolación

<i>C_{mf}</i> =	2,500	CH \longrightarrow Δ =	6.944,0
<i>C_{mf}</i> =	2,600	CH \longrightarrow Δ =	7.099,0
<i>Si para Dif.</i>	0,100	<i>Diferencia</i>	155,0
<i>Para Dif (5,794 -5,70)</i>	0,067	<i>Corrección</i>	74,4
<i>Para</i>	5,794 m	<i>Desplazamiento final, ΔF =</i>	7.018,4 t

Cálculo del desplazamiento inicial

$$C_{mi} = 2,567 \text{ m}$$

Interpolación

<i>C_{mi}</i> =	2,500	CH \longrightarrow Δ =	3.203,0
<i>C_{mi}</i> =	2,600	CH \longrightarrow Δ =	3.347,0
<i>Si para Dif.</i>	0,100	<i>Diferencia</i>	144,0
<i>Para Dif (5,794 -5,70)</i>	0,067	<i>Corrección</i>	96,5
<i>Para</i>	2,567m	<i>Desplazamiento inicial, ΔI =</i>	3.299,5 t

Calculo de la carga embarcada

Peso Total embarcado; $PTE = \Delta F - \Delta I = 7.018,4 - 3.299,5 =$	3.718,9 t
-Otros pesos embarcados; $OPE = 120 t$	-120,0 t
+ Otros pesos consumidos $OPC = 25 t$	+ 25,0 t
Carga embarcada	3.623,9 t

9º B) Comprobación de la carga embarcada por toneladas centímetro

La carga embarcada se puede calcular con el método anterior, que es lo correcto, pero se puede hacer a través del cálculo de las toneladas por centímetro de la flotación intermedia entre la inicial y final.

Para ello se halla primero la inmersión o emersión, diferencia entre el calado medio final y el calado medio inicial.

A continuación, se halla el calado promedio entre el inicial y final, y en las tablas hidrostáticas se hallan las toneladas por centímetro para este calado intermedio.

Finalmente se multiplica la inmersión/emersión por las toneladas centímetro del calado promedio y se obtienen la carga embarcada/desembarcada.

La diferencia entre los resultados del método anterior, el de la diferencia de los desplazamientos, y este por las toneladas por centímetro intermedias tiene que ser muy pequeña.

Cálculo de las toneladas por centímetro intermedias

$$C_{mf} = 5,794; C_{mi} = 2,605 m$$

Calculo de la Inmersión/Emersión y Calado Promedio	
$C_{mf} =$	5,048
$C_{mi} =$	2,567
$I/E = \text{Inmersión/emersión} = C_{mf} - C_{mi}$	2,481
$2 C_{prom} = C_{mf} + C_{mi} =$	7,615
$C_{promedio} = (C_{mf} + C_{mi})/2 =$	3,808

$$C_{prom} = 3,808$$

Interpolación

$C_{promedio_1} =$	3,800	CH \longrightarrow $tcm^{-1} =$	15,010
$C_{promedio_2} =$	3,900	CH \longrightarrow tcm^{-1}	15,050
Si para Dif.	0,100	Diferencia	0,040
Para Dif (4,200-4,200)	0,008	Corrección	0,003
Para	3,808	$tcm^{-1} =$	15,013

Cálculo de la carga embarcada.

Peso total embarcado = $l_{cm} \times t_{cm-1} = 2,481 cm \times 100 \times 15,013 =$	3.724,7 t
-Otros pesos embarcados; $OPE = 120 t$	-120,0 t
+ Otros pesos consumidos $OPC = 25 t$	+ 25,0 t
Carga embarcada	3.629,7 t

Diferencias

Cálculo de Carga a embarcada por diferencia de desplazamientos	= 3.623,9 t
Cálculo de Carga a embarcada por toneladas por centímetro de la flotación intermedia	= 3.629,7 t
Diferencia	= 5,8 t

Nota: Aunque el buque podía embarcar 4.793,0 toneladas, no se llegó a sus calados máximos y solo embarcó las toneladas indicadas encima.

2.- CALCULO DE CARGA DESEMBARCADA POR LECTURA DE CALADOS

En el caso que se tratara de una descarga, el buque llegaría naturalmente con unos calados iniciales mayores que a la salida, y con unos datos de la carga que hay a bordo que es la que se habría embarcado en el puerto de carga.

En principio se trataría de ver si los datos de la carga coinciden con los que se obtienen por el calado inicial con el que llega el buque al puerto de descarga, calculando el desplazamiento inicial por calados y a partir de él, con los otros pesos que se tienen a bordo, calcular la carga por calados y compararla con los datos que se obtuvieron en el puerto de carga.

No debe sorprender que las cantidades no den exactamente los mismos, pues es muy difícil que dos cálculos den exactamente igual, y porque además a lo largo de un viaje la carga puede aumentar de peso, si por ejemplo absorbe humedad, o disminuir, si por ejemplo se producen evaporaciones.

El resto del proceso de cálculo será igual al seguido anteriormente, excepto en su último apartado, en el cual detectaremos que se produce una emersión, y que la diferencia entre el desplazamiento inicial y desplazamiento final da negativa, lo que indica que se ha producido una descarga.

El proceso se ve en el ejemplo que sigue.

