

FLOTABILIDAD

Es importante para los Capitanes, Primeros Pilotos y Tripulantes en general, el dominio de los conceptos relativos a la FLOTABILIDAD. Para la seguridad de las personas a bordo y de la nave, el primer requisito es que la nave se mantenga a flote.

Muchas naves han tenido siniestros importantes porque se han tomado decisiones erradas relativas a la flotabilidad, tales como perder reserva de flotabilidad para compensar una cierta escora o para corregir un inadecuado asiento del barco.

En emergencias, quienes deben tomar decisiones deben tener muy claros los conceptos básicos que rigen las condiciones de flotabilidad del barco o aparato flotante.

Es básico tener muy claro el Principio de Arquímedes. Como todo principio o ley, no tiene demostración matemática, pero sí se puede comprobar experimentalmente.

Su enunciado es:

“Todo cuerpo que se encuentra en un medio fluido pierde, aparentemente, tanto peso como sea el peso del fluido desplazado por él”.

De su simple lectura no se entiende fácilmente todo su significado. Lo explicaremos con un sencillo experimento.

Tenemos:

- a) un modelo de una nave que pesa 2.000 gramos (2 kg), sostenida por un dinamómetro que marca su peso.
- b) Una tina con líquido que tenga un nivel tal que esté listo a rebalsar hacia una vasija que contendrá el líquido que será desplazado por el cuerpo que penetre en el líquido.
- c) Una balanza donde se podrá pesar el líquido desplazado.

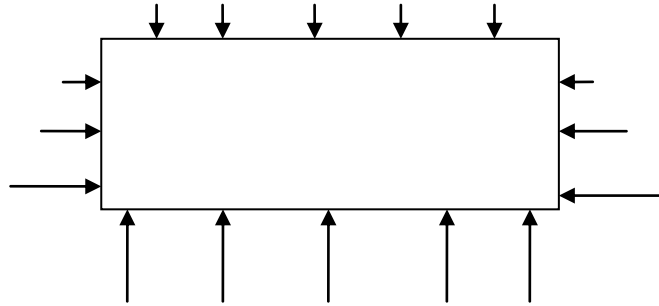
Supongamos que sumergimos parcialmente el modelo de barco en el líquido de la tina. Podremos observar que ha rebalsado, por ejemplo, 1200 gramos de agua y que el dinamómetro marca 800 gramos.

Si repasamos el Principio de Arquímedes podremos comprobar su cumplimiento: “Todo cuerpo (en este caso el modelo de 2.000 gramos) que se encuentre en un medio fluido (el líquido de la tineta) pierde, aparentemente, tanto peso (1.200 gramos), como sea el peso del fluido desplazado por el cuerpo”.

Si continuamos con el experimento y permitimos que el modelo quede flotando totalmente, podremos observar que han rebalsado, en total, 2.000 gramos de agua y que el dinamómetro marca “cero”, vale decir el modelo está totalmente equilibrado por la fuerza de empuje (o de flotabilidad o por la boyantez). Si volvemos a repetir el Principio de Arquímedes podremos comprobar nuevamente su cumplimiento.

Esto nos indica que una nave que observamos flotando en la bahía, si pesa, por ejemplo, 30.000 toneladas métricas (TM) ha **desplazado** una cantidad de agua que pesa también 30.000 TM. Es común que se diga que un barco “desplaza” una cierta cantidad de toneladas, pensándose en el “peso” de la nave, con lo que ambas palabras pasan a ser sinónimos. Esto es verdad, mientras la nave se encuentre perfectamente a flote. Veremos posteriormente que si la nave no está totalmente a flote, cuando está parcialmente varada, esto NO es así, ya que el peso total de la nave será soportado también por una fuerza de reacción (analizaremos esta situación en el caso del “barco varado”).

En el Principio de Arquímedes se habló de una pérdida “aparente” de peso. Es aparente porque realmente el cuerpo “no” ha perdido peso, ya que la tierra lo sigue atrayendo con la misma fuerza. Lo que sucede es que se ha generado una nueva fuerza originada por las presiones que el fluido ejerce sobre el cuerpo (casco, en el caso que analizamos). De la comparación de estas presiones sobre el cuerpo, veremos que son mayores las fuerzas que se ejercen hacia “arriba” que las que se ejercen hacia abajo, lo que produce una resultante hacia “arriba”.

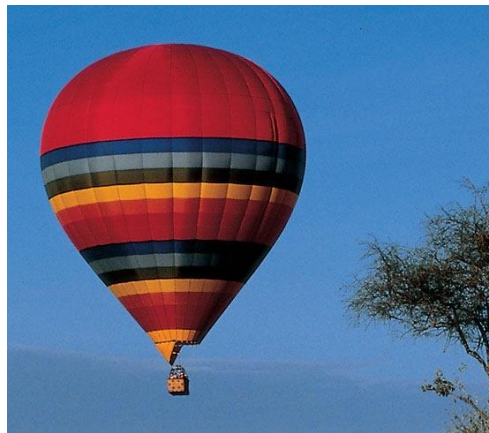


La diferencia de valores entre los vectores superiores y los inferiores se debe a que las presiones dependen de la altura de las columnas de fluido:

$$\text{Presión} = \text{Peso específico Fluido} \times \text{Altura columna}$$

En el caso de un cuerpo que flota en un líquido la suma de las fuerzas verticales (y de las componentes verticales de las fuerzas oblicuas) formarán la fuerza de flotabilidad (o de empuje o de carena) que será capaz de equilibrar el peso del cuerpo, tal como vemos en la pantalla XXXXXXXX .Por ejemplo, si el témpano pesa 300.000 TM, tendremos que se ha desarrollado una fuerza de flotabilidad de 300.000 TM hacia arriba y que el agua ‘desplazada’ por el témpano pesa también 300.000 TM

El Principio de Arquímedes se refiere a cuerpos que se encuentran en un medio “fluido”, por lo que también abarca medios ‘gaseosos’. En la figura se ilustra un globo aerostático.



Supongamos que pesa 300 kg_f, tripulantes incluidos. Ello significa que el peso del aire desplazado por el cuerpo total del aparato es de 300 kg_f, incluido el aire caliente que contiene en su interior.

Todos los cuerpos desplazamos aire, por lo que disminuimos nuestros pesos en algunos gramos (unos 100 gramos para un adulto de peso medio).

Para medir la densidad de un líquido se usan densímetros, que son instrumentos flotantes, de vidrio, diseñados para medir directamente la densidad del líquido. En todo buque debe haber diferentes densímetros, de diferentes rangos. El primer piloto necesitará un densímetro para medir el agua en que flota la nave, ya que al determinarse el desplazamiento por lectura de calados deberá medirse la densidad de ese medio, a proa, centro y popa, por ambas bandas y a tres profundidades diferentes (cerca de la superficie, a la mitad del calado y a una profundidad cercana al calado medio). Los ingenieros necesitarán densímetros para determinar propiedades de los combustibles y lubricantes.

En el problema enunciado en la pantalla XXXX podemos apreciar un cubo de 3 cm de arista, con flotabilidad positiva. Para que pueda sumergirse se necesitará una fuerza externa, hacia abajo, proporcionada por un dedo. Para analizar convenientemente el problema deberá dibujarse un diagrama de cuerpo libre (D.C.L.) en que se consideren “todas” las fuerzas internas y externas que participen en el cuerpo (el cubo, en este caso). Dado que el volumen del cubo es 27 cm³ y la g.e. del líquido es 1,5 tendremos que el empuje, o flotabilidad, es de 40,5 gr hacia arriba. El peso del cubo es de 20 gr, por lo que se necesitará que el dedo haga una fuerza de 20,5 gr hacia abajo para mantener el equilibrio de fuerzas verticales.

En la presentación Power Point se incluyen diversos problemas que deberán ser solucionados por el alumno.

Caso de un submarino.



El análisis de la flotabilidad de un submarino es interesante para entender bien la flotabilidad, ya que ese tipo de nave puede tener flotabilidad positiva, neutra o negativa, según sean las necesidades de sus operadores.

Supongamos que un submarino tiene un peso de 500 TM en su condición normal de flotabilidad, tal como se muestra en la pantalla N° XXXXX . El peso del agua desplazada será también de 500 TM.

Si el máximo peso de agua desplazada por el submarino fuera de 600 TM y quisiéramos sumergirlo totalmente, deberíamos agregar 100 TM a los estanques de lastre, con lo que ambas fuerzas serían de 600 TM y la nave quedaría con “flotabilidad neutra”. No trataría de emerger ni de sumergirse, tal como hacer muchos peces para dormir, en que regulan su volumen para equilibrar su flotabilidad.

Es sabido que los submarinos se posaban en el fondo para detener su maquinaria y escapar de los destructores que los perseguían. Para ello aumentaban la cantidad de lastre, con lo que conseguían una flotabilidad negativa hasta llegar al fondo. Supongamos que se hubieran lastrado 100 TM adicionales, con lo que el submarino estaría pesando 700 TM, pero el empuje o flotabilidad seguiría siendo de 600 TM, ya que es su máximo desplazamiento.

Tendríamos un desequilibrio entre las fuerzas verticales, 700 TM hacia abajo y 600 TM hacia arriba. ¿Qué fuerza falta para reponer el equilibrio?

Falta la reacción del fondo 'sobre' el submarino, en este caso de 100 TM. Los submarinistas sabían muy bien el valor que debía tener esta fuerza de reacción, ya que si es muy grande se daña el casco y si es muy pequeña lo arrastra la corriente.

ALGUNAS DEFINICIONES

- Reserva de Flotabilidad, es el espacio que queda en el “casco estanco” sobre el plano de flotación. Sirve para dar un resguardo de seguridad a la nave, por si perdiera flotabilidad por algún accidente u otra causa. Indica la cantidad de peso que podría aumentarse al desplazamiento actual hasta que empezara a sumergirse. Según sea el tipo de nave se exige una cierta cantidad de ‘reserva de flotabilidad’ para que la nave cuente con una razonable cantidad de este volumen de “seguridad”. Ello se establece en el estudio que determina el calado máximo que podrá cargar, en base a reglas empíricas derivadas del estudio de naufragios y accidentes investigados.
- Puede expresarse en términos de “volumen” o en base al “peso” que podría agregarse para que se sumerja totalmente, o sea el volumen sobre el plano de flotación multiplicado por el peso específico del líquido en que flota la nave.
- Francobordo es la distancia entre el plano de flotación y la borda, en la sección media. Es una indicación de la reserva de flotabilidad y es la forma en que esta se visualiza. El disco de Plimsoll indica el francobordo mínimo que puede tener la nave, como se verá posteriormente.
- El Área del Plano de Flotación es el área que se genera en la intersección del Casco con la superficie del mar y su valor depende de la forma del casco y del calado de la nave..
- La Superficie Mojada es el área del casco en contacto con el líquido.

La Línea de Margen (Margin Line) es una línea imaginaria que se considera dibujada a 7,5 cm bajo la cubierta estanca (cubierta de seguridad), o sea 3". Se considera que hasta esa línea puede sumergirse la nave antes de considerarse que ya NO tiene flotabilidad. Ello lo veremos al analizar el factor de subdivisión y las esloras inundables.

PLANOS DE LÍNEAS

Son una herramienta importante para describir adecuadamente la forma del casco de una nave. Mediante su uso podremos obtener las 3 coordenadas espaciales de cualquier punto del casco. Son una herramienta importante para construir una nave. Nos da la forma 'moldeada' del casco, o sea de la parte exterior de las cuadernas. No considera, por lo tanto, el espesor de las planchas del casco.

Un trabajo típico que se les pide a los postulantes a Primer Piloto es calcular el volumen de una bodega extrema. Ello se puede realizar mediante un adecuado uso de los planos de líneas.

Los planos de líneas están se corresponden a las intersecciones del casco con planos que lo cortan.

Estos planos son:

- a) Planos horizontales o planos de líneas de aguas, que corresponderían a las superficies del agua en que flota el barco, para ciertos calados que se establezcan, normalmente cada un (1) metro. Para embarcaciones menores se usan planos horizontales más cercanos entre sí, por ejemplo cada 20 centímetros. Obtendremos las líneas que limitarán los 'planos de flotación' de los correspondientes calados.
- b) Planos transversales, que son verticales y perpendiculares al plano de crujía. Suele dividirse el casco en 10 o 20 secciones, según el tamaño del casco, igualmente espaciadas. Se obtienen formas parecidas a las cuadernas, aunque normalmente no coinciden las intersecciones geométricas con ellas. Los modelistas navales se

consiguen planos de líneas y de ellos obtienen formas de cuadernas que recortan y les dan las formas que necesitan para obtener la miniatura del casco que desean reproducir. En un corte transversal se dibujan las intersecciones de proa en la parte derecha de un gráfico y en la parte izquierda se dibujan las intersecciones de popa. (ver pantalla XXXXX)

- c) Planos longitudinales, verticales y paralelos al plano de crujía. Se obtienen líneas de intersección que se aprecian en la vista de elevación del casco. Normalmente se consideran planos longitudinales cada un (1) metro, o menos en embarcaciones pequeñas.

En las pantallas XXXX a YYY podemos apreciar los planos de líneas de diferentes tipos de naves.

COEFICIENTES DE LA OBRA VIVA

Los coeficientes que se describirán son realmente funciones del calado y muchas veces éstas están graficadas en las Curvas Hidrostáticas o bien tabuladas en las Tablas Hidrostáticas. Cuando en manuales o planos se indica sólo un valor, se entiende que se están refiriendo a las medidas máximas de diseño de la nave.

Coeficiente de Block (C_b).- Es la relación, o factor, que existe entre el volumen de la obra viva y el block formado por la eslora mojada la manga y el calado. Si en planos o manuales se indica sólo un valor, se refiere a manga máxima moldeada, a la eslora entre perpendiculares y al calado de diseño.

Si este coeficiente es cercano a uno (1) indicará que se trata de una obra viva con forma 'llena', lo que implicará una gran capacidad de carga y una resistencia hidrodinámica relativamente alta. En cambio un valor bajo de este coeficiente indicará que se trata de un casco 'fino', adecuado para naves de alta velocidad, tales como yates y naves de guerra.

En la Pantalla XXX se indican coeficientes de block típicos para diferentes tipos de naves.

Coeficiente del Plano de Flotación (C_w).- Es la razón o factor entre el área del plano de flotación y el rectángulo formado por la eslora y la manga para ese calado. Si en planos o manuales se indica sólo un valor, se refiere a manga máxima moldeada y a la eslora entre perpendiculares, tal como se indica en la pantalla XXX. Un valor de este factor cercano a uno (1) indicará también un casco 'lleno' .

Coeficiente de la Cuaderna Maestra.- Es la relación entre el área bajo la línea de agua de la cuaderna maestra y el rectángulo formado por la manga de la cuaderna maestra para ese calado, multiplicada por el calado. Si en planos o manuales se indica sólo un valor, se refiere a manga máxima moldeada y al calado de diseño.

Coeficiente Prismático (C_p).- Es la relación entre el volumen de carena (V) y el volumen de la proyección de la cuaderna maestra. Si llamamos S_m a la superficie de la cuaderna L a la eslora, tendremos:

$$C_p = V / S_m * L$$

Si en planos o manuales se indica sólo un valor, se refiere a manga máxima moldeada y a la eslora entre perpendiculares L_{pp} .

DISCO DE PLIMSOLL

El disco Plimsoll es una marca esquemática que han de llevar los buques pintada en su casco y además cortada en plancha metálica, soldada. Su nombre oficial es «marca de francobordo», y recibe los otros dos en honor del parlamentario británico Samuel Plimsoll, que impuso su uso en 1875. Sirve para fijar el máximo calado (mínimo francobordo) con el que puede navegar el buque en condiciones de seguridad.

Su creación y uso se impuso porque en la segunda mitad del siglo XIX muchas naves se hundieron porque los armadores cargaban las naves al máximo, casi

sin francobordo, para lucrar más. Las compañías aseguradoras se dieron cuenta que iban a la quiebra. Se reunieron para fijar las reglas que cuidaran sus intereses. De estas reuniones resultó la creación de las regulaciones y también de los organismos que inspeccionaran y estudiaran las reglas para normar la seguridad de las personas y de las naves. Así nacieron las firmas clasificadoras.

Está formada por un anillo de 300 milímetros (12 pulgadas) de diámetro exterior y 25 milímetros (1 pulgada) de ancho, cortado por una línea horizontal de 450 milímetros (18 pulgadas) de longitud y 25 milímetros (1 pulgada) de ancho, cuyo borde superior pasa por el centro del anillo. El centro del anillo debe colocarse en el centro de la eslora entre perpendiculares, o sección media del buque y a una distancia igual al francobordo mínimo de verano asignado, medida verticalmente por debajo del borde superior de la línea de cubierta.

En la pantalla XXX se muestran imágenes de marcas de francobordo. Las letras que se graban en la cercanía del disco corresponden a las iniciales de la correspondiente casa clasificadora.

Hay naves que tienen marcas de francobordo adicionales, para el caso en que carguen madera en bodegas y cubierta, ello porque ese material tiene flotabilidad propia, lo que permite disminuir la reserva de flotabilidad sin comprometer la seguridad del barco.

La nave deberá ser cargada hasta una línea de carga máxima que dependerá de la zona geográfica en que navegará, lo que se indica en el mapa incluido en la pantalla XXXX .

La distancia vertical que deben tener las distintas barras de las zonas geográficas se pueden calcular en base a lo indicado en la pantalla XXX.

TONELADAS POR CENTÍMETRO DE INMERSIÓN

Las Toneladas por Centímetro de Inmersión (TPC) es una variable que nos indica la cantidad de peso que deberíamos agregar a una nave, en una zona dada para que el calado aumente, en forma pareja, un (1) centímetro. Ello le proporciona al piloto una referencia de la variación que tendrán los calados ante una carga o descarga que sufre la nave. Por ejemplo, si el piloto sabe que su nave, para el calado actual tiene unas TPC de 30 TM/cm inm. y si va a recibir 600 TM de combustible, podrá predecir que el calado medio va a aumentar en 20 cm. Las TPC son función, o dependen, del calado de la nave. Su valor puede obtenerse de las curvas o tablas hidrostáticas. Su valor se usa en algunas fórmulas prácticas tales como las usadas para calcular correcciones al desplazamiento de los barcos.

Para barcasas en forma de cajas puede calcularse las TPC con el razonamiento siguiente:

- Para sumergir 1 metro debería agregarse un peso igual al peso del “cambio” de volumen desplazado, o sea un volumen igual al Area del Plano de Flotación (A_{WL}) por “1” y multiplicado por el Peso Específico del líquido.
- $Vol_{DESPL} = A_{WL} \times 1 [m^3]$
- Para sumergir 1 [cm] tendremos que agregar un peso 100 veces menor al anterior, o sea:

$$TPC = A_{WL} \times \gamma / 100 \quad \text{siendo “}\gamma\text{” el peso específico}$$

En la pantalla XXX hay un par de problemas de aplicación.

PASO DE AGUA SALADA A DULCE Y VICEVERSA

El paso de agua salada a dulce, o viceversa, debe ser atentamente observado por el capitán y los pilotos, ya que existirán cambios de calados que podrían ser importantes, especialmente si se navega en lugares de poca profundidad, lo que podría causar varadas o daños a timón y hélice.

- Si una nave pasa de Agua Dulce a Salada pasará a desplazar un líquido de mayor Peso Específico.
- Es básico considerar que durante este paso **“el peso”** de la nave NO varía.
- Para Agua Dulce tendremos: $W = Vol_{SUM1} \times \gamma_{AD} = Vol_{SUM1} \times 1$
- Para Agua de Mar tendremos: $W = Vol_{SUM2} \times \gamma_{AM} = Vol_{SUM2} \times \gamma_{AM}$
- Igualando los pesos W tendremos que:
 $Vol_{SUM2} = Vol_{SUM1} / \gamma_{AM}$
- De Agua Dulce a Salada el calado **“DISMINUYE”** y viceversa.