

Humboldt Marine Training

NAVE VARADA

Preparado por
Ing. Boris L. GUERRERO B.

Valparaíso, CHILE, 2011.

INDICE DE MATERIAS

Introducción	3
Acciones a tomar en caso de varada	4
Cálculo de la fuerza para desvarar una nave	7
Problema acerca de nave varada	10
Problema resuelto	11
Forma de disminuir la fuerza normal N	12
Otra forma de calcular N	12
Problema	13
Efecto de la marea sobre N	14
Pérdida de estabilidad transversal por causa de varadas	15

INTRODUCCIÓN

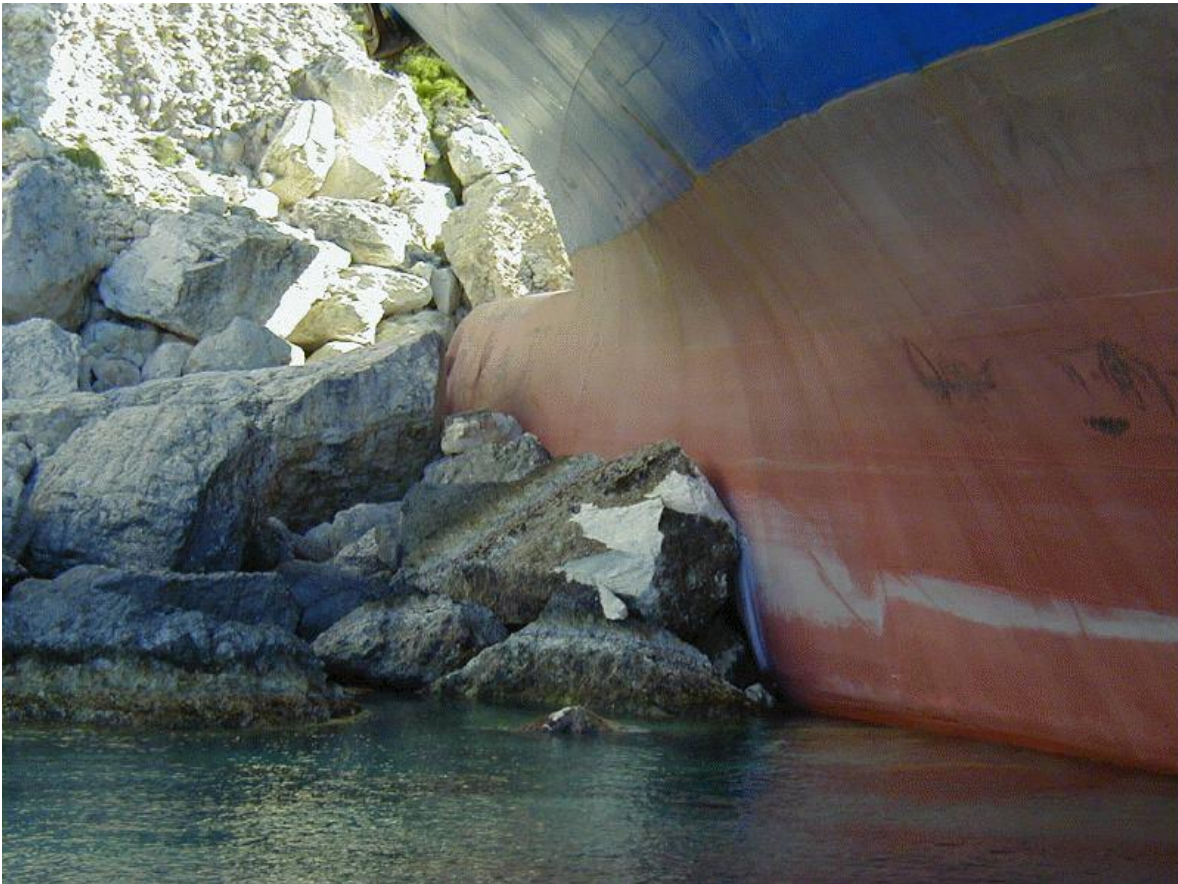
Pueden existir varadas 'voluntarias' o programadas, tales como las necesarias para reparar una nave en dique o las varadas que efectúan naves menores en la zona de Puerto Montt, aprovechando las mareas de gran amplitud que se experimentan en esa zona. Se necesitará tomar algunas precauciones para que no ocurran contratiempos.



Los encargados de la estabilidad deben estar preparados para reaccionar correctamente ante una emergencia causada por una varada accidental. Normalmente los computadores que resuelven rutinariamente los problemas

relacionados con la estabilidad y los esfuerzos sobre el casco NO podrán dar soluciones en estos casos de emergencias.

En una emergencia pueden tomarse acciones precipitadas que causen más daños que beneficios, por lo que deberá estar la tripulación preparada para actuar atinadamente.



Si una nave se vara, deberán tomarse las siguientes acciones:

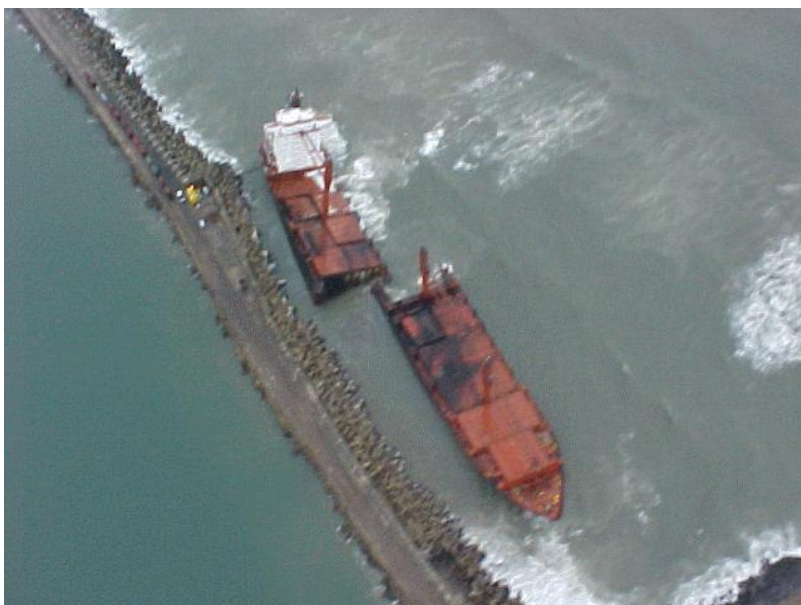
1.- Examinar interiormente la zona de varada para evaluar si hay compromiso estructural, si existe ingreso de agua o salida de combustible al exterior. También se analizará el estado del sistema de propulsión y del sistema de gobierno de la nave (servomotor y timón). Tomar sondas en todos los estanques para determinar posibles entradas o salidas de líquidos en ellos.

2.- Evaluar el área exterior para saber la profundidad y calidad del fondo (sondaje cuidadoso). Si no se dispone de buzos se puede poner grasa en el escandallo para tratar de determinar la calidad del fondo.

3.- Evaluar los efectos potenciales que tendría una desvarada involuntaria. Debe considerarse que una acción irreflexiva de desvarar una nave puede causar efectos peligrosos e incluso catastróficos. Podría darse el caso que en la zona de varada se haya producido una avería, la que podría estar tapada por la roca o arena, de tal forma que al desvarar entraría agua en forma importante, llegando la nave a hundirse, lo que no habría ocurrido si hubiera seguido el barco en su lugar, pudiendo llegar a reparar la avería antes de desvarar. También una desvarada precipitada podría aumentar los daños estructurales de la zona comprometida por la varadura, especialmente si es tirado por remolcadores de alta capacidad.

4.- Analizar pronósticos de las condiciones del mar.

5.- Ver condición de la nave respecto a esfuerzos (de corte [SF], momentos flectores [BM] y torsionales). Debe considerarse que una nueva fuerza comenzará a actuar sobre el casco (reacción del fondo sobre el casco). Esta fuerza puede llegar a altos valores, lo que puede aumentar los esfuerzos sobre el casco, lo que podría quebrar la estructura del barco.



6.- Considerar rango de la marea. Una marea ascendente disminuirá la varada, pudiendo dejar la nave nuevamente a flote, lo que no sería favorable si hay avería. Si la marea es descendente aumentarán las fuerzas de reacción sobre el casco, pudiendo llegar incluso a un volcamiento, como veremos posteriormente.

7.- Determinar fluctuaciones en las corrientes, ya que ésta podría causar rotaciones o movimientos de la nave que podrían ser indeseables para la seguridad del barco.

8.- Analizar tiempo atmosférico y pronóstico.

9.- Considerar posibilidad de deriva hacia un sitio peligroso.

10.- Determinar la fuerza de fricción que debe vencerse para desvarar.

11.- Trasvasijar carga o líquidos si es necesario.

12.- Preparar trasvasije de carga y/o líquidos si es necesario.

13.- Efectuar cálculo de estabilidad transversal en condición de varada.

14.- En caso de ocurrir derrame de combustibles seguir procedimiento indicado en el Plan de Contingencia (SOPEP).

15.- Preparar maniobra de remolque, si es necesario.

16.- Considerar la estabilidad y los esfuerzos con que quedará la nave luego de desvararse.

CÁLCULO DE LA FUERZA PARA DESVARAR UNA NAVE.

Es importante evaluar, aproximadamente, la fuerza horizontal que debe efectuarse sobre la nave varada y poder arrastrarla de la posición en que se encuentra.

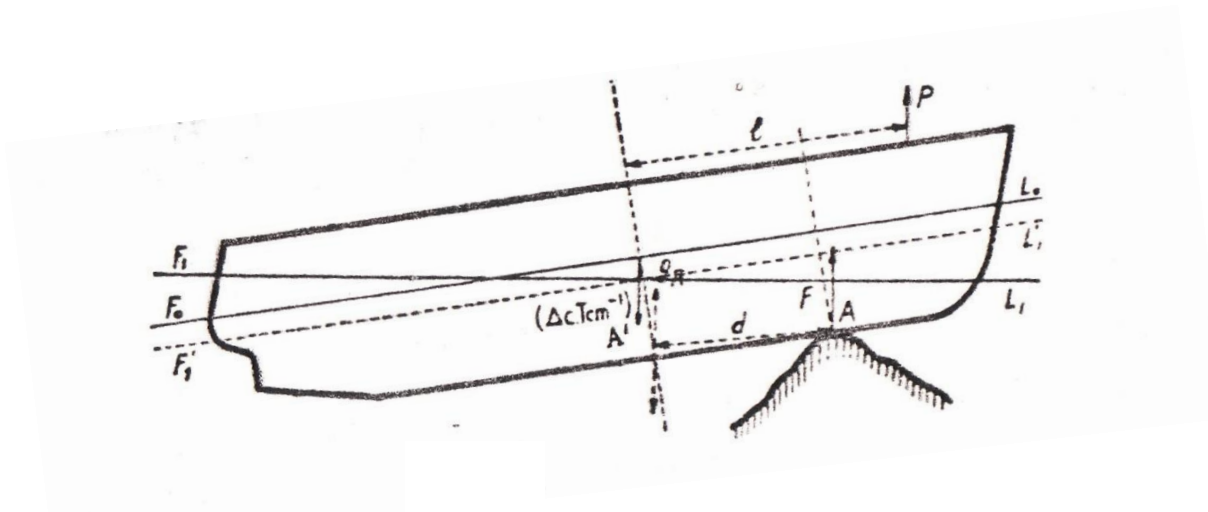
Existe un trágico antecedente de un desastre naval, que podría haberse evitado si se hubiera realizado el cálculo, relativamente sencillo. Los hechos se exponen a continuación:

“El año 1965 una nave se varó en una bahía de la zona sur del país. Se envió a un remolcador de alta mar para desvararlo. Se pasó remolque y se comenzó a tirar de la nave varada, durante varios días, sin resultados positivos. Si se hubiera realizado el cálculo de la fuerza para desvarar la nave se habría llegado a la conclusión que no era posible desvararla solamente tirando de ella.

En una de las maniobras en que se intentaba desvarar ese barco se cortó el remolque y se enredó en la hélice de la nave que fue enviada al salvataje. Posteriormente se dejó caer un temporal de gran magnitud, por lo que esta última nave se fue contra las rocas, falleciendo más de 50 tripulantes.”

Veremos que el resultado que se obtendrá es sólo aproximado, pero nos dará un rango de fuerzas que permitirá tomar decisiones al respecto.

REACCIÓN DEL FONDO.



Es evidente que al vararse una nave ésta se “montará” sobre el fondo sólido, sea roca, arena, fango, coral, etc..., vale decir, efectuará una fuerza sobre el fondo y este fondo reaccionará efectuando una fuerza igual y contraria ‘sobre’ el casco. Esto significa que el peso del barco no estará soportado sólo por la fuerza de flotabilidad que el líquido realizará sobre el casco.

Vale decir, tendremos:

$$\text{Peso nave} = \text{Flotabilidad} + \text{Reacción del fondo}$$

Veremos el procedimiento para calcular la ‘reacción del fondo’.

- 1.- Determinar el peso de la nave al momento de vararse, restando al desplazamiento del zarpe los consumos y deslastres y sumando los lastres que puedan haberse ingresado.
- 2.- Observar los calados después de la varada, determinándose el volumen sumergido y el peso del líquido desplazado (desplazamiento), de acuerdo al procedimiento normal que aparezca en el Manual de Estabilidad.
- 3.- La fuerza normal (N) será la diferencia entre el peso antes de vararse y el desplazamiento luego de la varada.

Se usa una regla empírica para calcular la fuerza que puede realizar una nave para convertir la potencia que realiza su hélice en empuje (o bollard pull). Evidentemente el empuje dependerá del tipo de hélice, su velocidad de giro y otras variables más. Ya que nos bastará con resultados ‘aproximados’, aceptaremos la expresión siguiente:

100 HP producirán un empuje de 1 tonelada métrica (TM)

El hecho de ‘arrastrar’ una nave sobre el fondo es un problema típico de roce (o fricción), en que la fuerza para deslizar el cuerpo sobre el fondo será el producto de la “fuerza normal” multiplicada por un ‘**coeficiente de fricción**’.

En manuales de marinería y maniobras se plantean los siguientes coeficientes de fricción:

- Fondos suaves y resbalosos 0,2 a 0,4
- Fondos medianos 0,5 a 0,6
- Fondos ásperos 0,7 a 0,9

Mediante un problema se expondrá el procedimiento para determinar la fuerza necesaria para desvarar un aparato flotante.

PROBLEMA

Una nave zarpa teniendo un desplazamiento de 3.500 toneladas métricas (TM). Tiene una potencia de 3.000 HP al eje.

Consume 28 TM de petróleo, 9 TM de agua y deslastra 120 TM

Se lastra sobre arena, en el sector de proa

De la observación de los calados, luego de varar se determina un desplazamiento de 3.300 TM

No se observan averías en el casco

SOLUCIÓN

Peso al momento de la varada:

$$3.500 \text{ TM} - 28 \text{ TM} - 9 \text{ TM} - 120 \text{ TM} = 3.343 \text{ TM}$$

Desplazamiento después de la varada:

$$3.200 \text{ TM}$$

La Fuerza Normal (N) será:

$$3.343 \text{ TM} - 3.200 \text{ TM} = \mathbf{143 \text{ TM}}$$

Para desvarar la nave deberá aplicarse una fuerza horizontal que venza a la fuerza de roce o fricción que se generará. Esta fuerza es igual a la fuerza normal por el coeficiente de fricción “ μ ”.

Si asumimos un coeficiente de fricción de 0,4, tendremos que la fuerza para desvarar sería de:

$$143 \text{ TM} \times 0,4 = \mathbf{57,2 \text{ TM}}$$

Vimos que

La fuerza de empuje de una nave es igual a 1/100 de la potencia en HP

Así, el empuje (bollard pull) de la nave sería de $3.000 \text{ HP} / 100 = \mathbf{30 \text{ TM}}$

Vale decir, la potencia del motor de la nave no bastaría para desvarar. Debería aumentarse la fuerza, usando la cadena y el cabrestante, o agregando remolcadores o bien **disminuyendo la fuerza normal N**.

PROBLEMA

Se desea determinar el coeficiente de fricción entre un fondo rocoso y el casco del barco. Para ello se saca una roca plana, representativa del fondo en que está varada. Se pone una plancha metálica sobre la roca, la que está perfectamente horizontal. La plancha pesa $10,56 \text{ kg}_f$ y se amarra a un dinamómetro que hará una fuerza horizontal sobre la plancha.

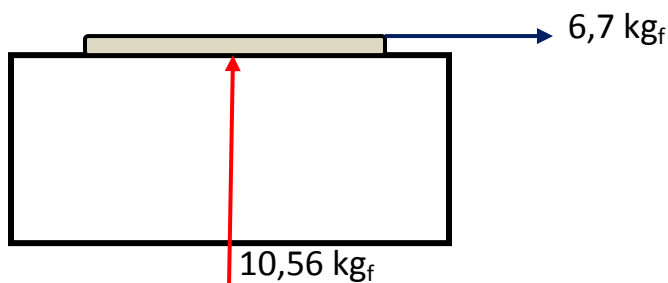
Se determina que la plancha comienza a deslizarse cuando el dinamómetro marca $6,7 \text{ kg}_f$.

SOLUCIÓN

Ya que el roce es μ por la fuerza normal, podemos despejar y nos queda que μ es la fuerza de roce dividido por la fuerza normal:

$$\mu = \text{Roce} / \text{Normal}$$

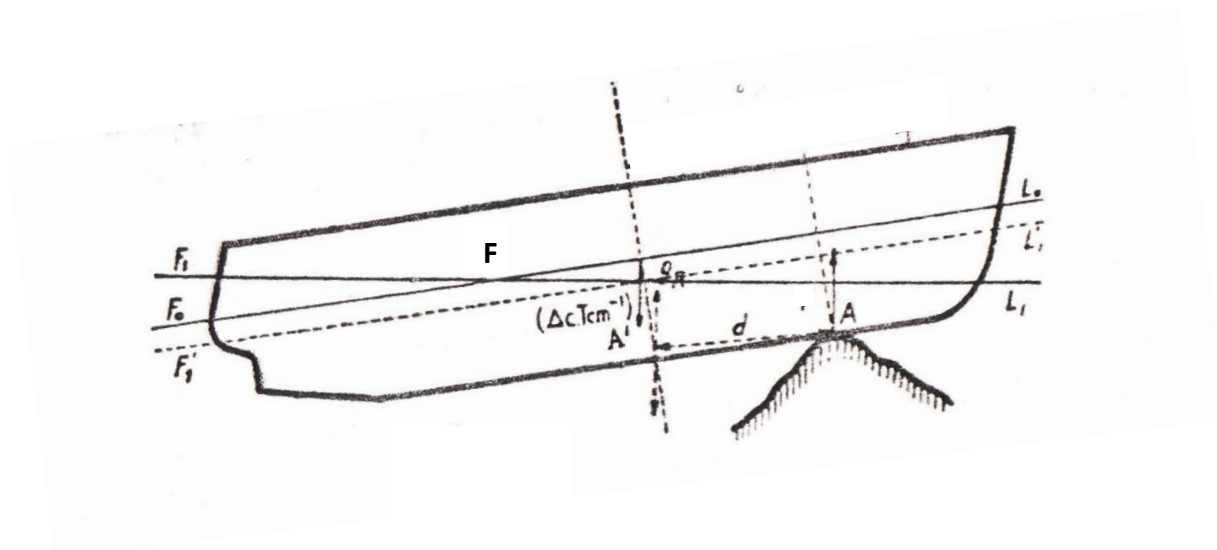
$$\mu = 6,7 \text{ kg}_f / 10,56 \text{ kg}_f = 0,63$$



Formas de disminuir N. Supongamos que la nave se varó en su proa.

- Sacar pesos a proa. Indudablemente, la forma más rápida y efectiva es sacar líquidos. Luego, sacar cargas o sólidos del sector de proa, si es factible.
- Agregar pesos a popa, por ejemplo lastrando el racel de popa. Esto causará que aumente el calado a popa, con lo que aumentará el volumen del casco sumergido, disminuyendo la fuerza normal.
- Trasvasijar líquidos de proa a popa, lo que es doblemente efectivo, ya que saca peso de proa y aumenta peso a popa.
- Esperar una marea favorable. Al subir la marea aumentará el calado en la zona de la varada, aumentando el volumen sumergido, lo que disminuirá la fuerza normal.

Otra forma de calcular la fuerza normal entre el casco y la roca, o zona en que se varó, es la siguiente:



$$\text{Fuerza Normal} = \text{Cambio asiento} \times \text{MTC} / \text{Brazo}$$

Cambio de asiento: Se calcula la diferencia de “asiento” de la nave antes de vararse menos el asiento después de vararse. (en cm)

MTC : Momento para cambiar 1 centímetro de asiento. Se obtiene de las curvas o tablas hidrostáticas.

Brazo : Distancia desde el centro de flotación F (se saca de las hidrostáticas) a la vertical que pasa por el punto de varada. (punto A en el gráfico superior).

PROBLEMA

Un pesquero navega teniendo un desplazamiento $W=3.343$ TM. Su asiento es de 0,37 m. Se vara por la proa. Se determina que la distancia entre la zona de varadura y el centro de flotación F es de 25 m. Se calcula que el MTC es de 48 TM m / cm. Luego de la varada se observan los calados y se determina que el nuevo asiento es de 1,12 m.

Determinar la fuerza normal que el fondo hace sobre el casco. Considerar que no hubo rotura del casco.

SOLUCIÓN

El cambio de asiento es de 1,12 m menos 0,37 m, o sea 0,75 m = 75 cm

Aplicando la fórmula anterior tendremos:

$$N = \text{Cambio asiento} \times \text{MTC} / \text{Brazo}$$

$$= 75 \text{ [cm]} \times 48 \text{ [TM m /cm]} / 25 \text{ [m]}$$

$$= \mathbf{144 \text{ TM}}$$

(Ver figura de la página 12)

EFFECTO DE LA MAREA SOBRE LA FUERZA DE REACCIÓN.

Es conveniente calcular el aumento de la fuerza de reacción del fondo sobre el casco en los casos en que 'baje' la marea, lo cual, lógicamente, tratará de disminuir el volumen de carena (o volumen sumergido). Inversamente podremos calcular la disminución de esa fuerza en los casos que 'suba' la marea, lo cual permitiría calcular el instante más adecuado para desvarar la nave.

El caso de que baje la marea es muy importante, ya que al aumentar la fuerza de reacción del fondo sobre el casco se podría llegar a un daño importante de la estructura en la zona de contacto, como también se podría producir una disminución de la estabilidad de la nave, lo que podría llevar a situaciones catastróficas.

Podríamos considerar que en la zona de contacto del barco con el fondo, la disminución de calado es igual a la distancia que ha bajado la marea.

La variación de la fuerza normal **N** (que llamaremos ΔN) se puede obtener de la siguiente expresión:

$$\Delta N = \frac{\Delta M \times TPC \times MTC \times E_{pp}}{MTC \times E_{pp} + TPC \times \text{brazo}}$$

En que:

ΔM es el cambio en la altura de la marea en cm

TPC son las toneladas por centímetro de inmersión

MTC es el momento para cambiar y cm de asiento, en $TM \times m / cm$

E_{pp} es la eslora entre perpendiculares

brazo es la distancia entre la zona de contacto de la varada con F (centro de flotación, obtenido de las curvas o tablas hidrostáticas)

Si a la fuerza normal originada por la varada (N) le aumentamos la fuerza de variación ΔN tendremos la nueva fuerza normal.

Si los cálculos los hemos efectuado para la máxima disminución de marea, obtendremos la fuerza normal máxima (N_M) que soportará el casco.

$$N_M = N + \Delta N$$

En los cálculos precedentes hemos considerado que no hubo aumento ni disminución de peso por causa de la avería, o sea se trató de una avería “cerrada”. Si hubiera existido una variación del desplazamiento por causa de la varada, dicho cambio de peso deberá considerarse como un aumento o disminución extra de la fuerza normal, según sea el caso.

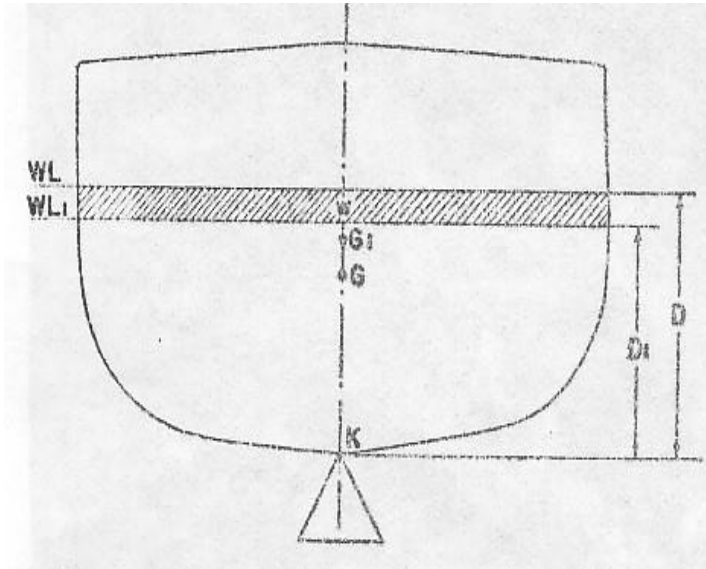
EFFECTO DE ‘N’ SOBRE LA ESTABILIDAD TRANSVERSAL

Supongamos que una nave se encuentra parcialmente varada en los picaderos de un dique, en un punto K efectuándose una fuerza normal N entre los picaderos y la quilla.

El nivel del líquido ha disminuido desde WL a WL1

La disminución del líquido desplazado tiene un peso “w”, correspondiente a la zona acurada.

Si bien el peso de la nave y su centro de gravedad G no han variado, la pérdida de flotabilidad causa una “subida virtual” desde G hasta G1.



El valor de la posición del nuevo centro de gravedad virtual estará dado por

$$KG1 = KG \times W / W1$$

En que:

W : Peso de la Nave

W1 : Desplazamiento nave varada (o sea peso del volumen sumergido)

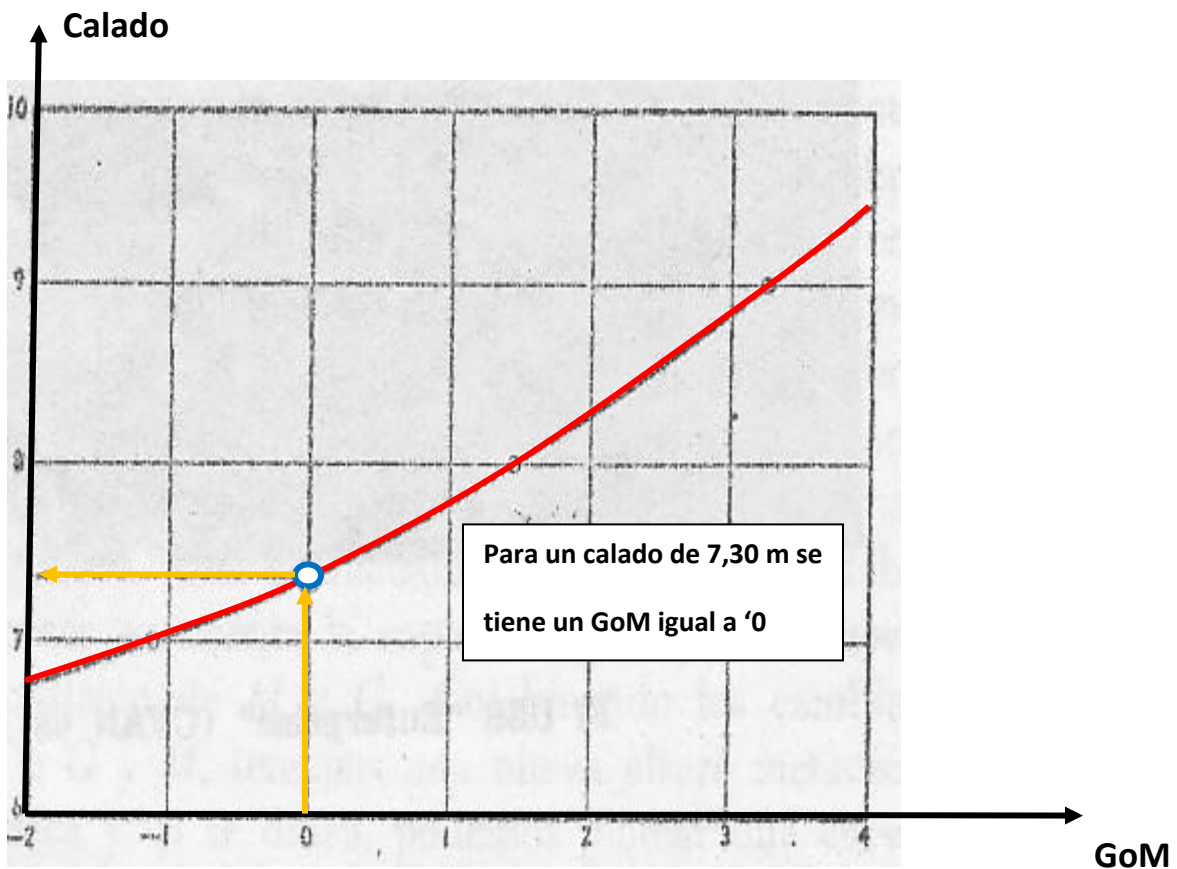
Esto causará que puede existir un calado de la nave varada en que G virtual haya subido tanto que la nave no tenga ESTABILIDAD. Ello ocurrirá cuando GM sea 0 (cero). Si ocurriera una leve disminución adicional de calado, la nave comenzaría a escorarse, pudiendo llegar al volcamiento.

En los casos de varadas voluntarias, tales como entradas a dique, una vez que se ha asentado bien la quilla de la nave sobre el picadero, se baja un poco más el calado del dique y se instalan las camadas laterales, para evitar posibles escoras del barco por causa de esta subida virtual de su centro de gravedad. También suelen usarse puntales horizontales para evitar volcamientos, aunque se prefieren las camadas laterales.

Cálculo del Calado para GM=0

Se hace un gráfico en que se plotean en las abscisas los GM y en las ordenadas los calados que tenga la nave mientras se vara.

Se calcula los GM que corresponden para 3 calados diferentes y se marcan los valores en el gráfico descrito anteriormente.



En el ejemplo del gráfico se calcularon los GoM para calados de 7m, 8m y 9m.

Se obtuvieron GoM de 3,3 m, 1,4 m y -1,1 m, respectivamente.

Para un calado de 7,3 m se llegaría a tener un GoM crítico de CERO (0).