

3rd Squat Workshop

Este trabajo muestra como un buque navegando en condiciones de aguas someras desarrolla *sinkage* y cambio de asiento (*mean bodily ship and trim*) Combinados, ellos producen *squat*. El sentido por el cual el buque cambiará su asiento dependerá de su coeficiente de bloc (C_b), de la distancia entre su centro de carena B con respecto a su perpendicular de popa (LCB) y de su asiento estático.

Cuando un buque que está detenido sobre el agua con sus calados parejos:

Si su carena tiene formas llenas, o sea su C_b es $> 0,7$, cambiará su asiento hacia proa cuando navegue.

- Si su carena tiene formas finas, o sea su C_b es $< 0,7$, cambiará su asiento hacia popa cuando navegue.
- Si su C_b es aproximadamente $0,7$, entonces no cambiará su asiento cuando navegue.

Pero si estando detenido sobre el agua, tiene asiento positivo, cuando navegue asentará hacia popa, cualquiera sea su coeficiente de bloc.

Y si en cambio tuviese asiento negativo, cuando navegue asentará hacia proa, independientemente también de cual sea su coeficiente de bloc.

O sea, en esas condiciones:

Responderá al asiento estático cualquiera fuere su coeficiente de bloc.

Se acompañarán las explicaciones con ejemplos de trabajo y gráficos que ilustrarán la teoría, tratándose además puntos tales como *squat* negativo, sólo *sinkage* y *squat* transversal para buques que naveguen en aguas someras o canales confinados.

Primeramente dejemos definido:

¿Que consideramos “aguas someras”?:

1. Relación profundidad /calado medio ($P / C_m - H / t$) = $> 1,1 < 1,4$
2. Factor de bloqueo ($F_b - S$) = $< 0,1$

¿Qué consideramos “canales confinados”?:

3. Relación profundidad /calado medio ($P / C_m - H / t$) = $> 1,1 < 1,4$
4. Factor de bloqueo ($F_b - S$) = $> 0,250$

El *squat* es la pérdida de margen de seguridad ($M_s - UKC$), cuando el buque navega, comparándolo con el que tenía estando detenido sobre el agua.

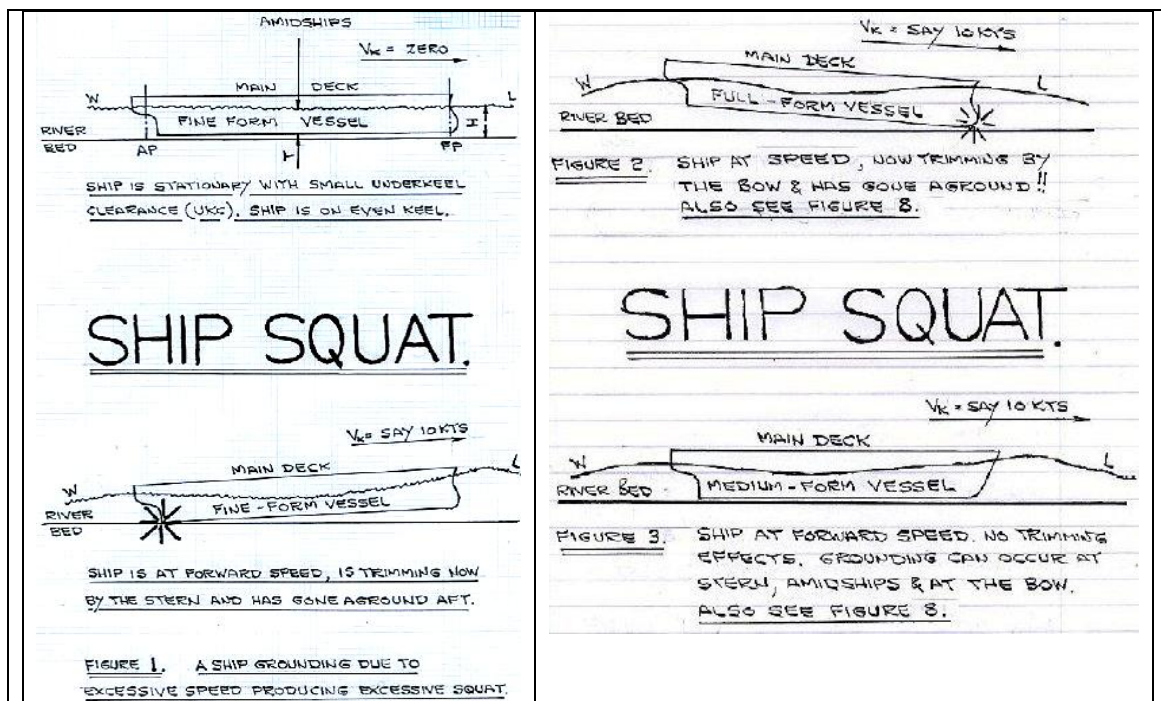
Está integrado por dos componentes:

El *sinkage* (*mean bodily ship*) más el cambio de asiento hacia proa o popa (*trim* o *trimming*)

Los gráficos siguientes nos muestran los efectos del *squat* sobre distintos buques, de acuerdo a sus diferentes C_b , cuando navegan, comparándolos con respecto al asiento que tenían cuando estaban detenidos.

Como bien sabemos, el asiento de un buque es la diferencia de calados entre la proa y la popa.

El asiento hacia popa (positivo) es cuando el calado de popa es mayor que el de proa, si sucede lo contrario, asiento hacia proa, el asiento es negativo; y si en cambio ambos calados son iguales se dice que el asiento es "0" (*even keel*)



En aguas someras el cálculo del asiento que sufrirá el buque puede ser calculado mediante la siguiente fórmula, siempre que:

($H / t > 1,1 < 1,4$ y $Fb < 0,1$):

$$\text{Asiento} = 40 \times (0,7 - Cb)^2 \times \frac{Cb \times Vb^2_{ns}}{100}$$

Ejemplo de trabajo:

Un buque de pasajeros con asiento estático "0", tiene un Cb de 0,625 y navega a una velocidad sobre agua de 14,72 ns. con una relación H / t de 1,12.

Calcular cuál será el *squat* que sufrirá en esas condiciones.

$$\begin{aligned} \text{Asiento (m)} &= 40 \times (0,7 - 0,625)^2 \times \frac{0,625 \times 14,72^2}{100} \Rightarrow 40 \times 0,005625 \times \frac{0,625 \times 216,6784}{100} \Rightarrow \\ &0,225 \times 1,35424 = 0,304704 \text{ m} \cong 0,30 \text{ m a popa} \end{aligned}$$

Dos casos emblemáticos de accidentes por *squat* fueron:

1. *Ro-Ro "Herald of Free Enterprise"* hundido el 6 de Marzo de 1987
2. *Crucero "Queen Elizabeth 2"* tocando fondo el 7 de Agosto de 1992

El HFE zarpó de puerto con su compuerta de proa abierta y asiento negativo, en aguas someras abiertas. Prontamente alcanzó la velocidad de 18 ns. Como se explicó anteriormente el *sinkage* sumado al *trim* hacia proa produjeron un importante *squat* con ingreso masivo de agua dentro de su garaje que causaron, por efecto de superficies libres, que escorase 90° quedando recostado sobre el fondo marino. Perdieron la vida 193 personas.

El *QE2* zarpó de puerto en aguas someras abiertas. Presionado por una considerable demora alcanzó rápidamente la velocidad de 24 / 25 ns., tocando fondo de piedra.

De acuerdo a informes del *Lloyds Register*, el costo de las reparaciones fue de 13,2 millones de dólares y aproximadamente otros 50 millones de la misma moneda en pérdidas por reservas y anulaciones de pasajes.

Dentro de los archivos con que cuenta el Dr. B. Barrass hay 112 incidentes atribuibles al *squat*.

Los más recientes han sido:

Fecha	Nombre del buque	Tipo de buque	Lugar del incidente
17/05/2008	<i>MCL Trader</i>	Carga	Rone, Dinamarca
30/05/2008	<i>Norfolk Express</i>	Containerero	Ras Shukneir, Egipto
13/06/2008	<i>Easy Cruise Life</i>	Crucero	Port of Syros, Grecia
29/06/2008	<i>Antari</i>	Carga	Larne, N. Irlanda
31/07/2008	<i>Iron King</i>	Mineralero	Port Headland, W. Australia
31/07/2008	<i>Rubino</i>	Quimiquero	Zoutelande, Holanda
25/10/2008	<i>Kota Lagu</i>	Containerero	River Scheldt, Antwerp
11/11/2008	<i>QE2</i>	Crucero	Southampton
4/12/2008	<i>Ushuaia</i>	Crucero	Cape Anna, Antártida
16/01/2009	<i>Mirabelle</i>	Carguero	Svendborg, Dinamarca
20/01/2009	<i>CSL Argosy</i>	Bulk carrier	Chesapeake Bay, Baltimore
21/01/2009	<i>Gunay 2</i>	Carguero	Marsella
17/02/09	<i>Ocean Nova</i>	Crucero	San Martín, Antártida
22/03/09	<i>Karin Schepers</i>	Containerero	Drogden, Báltico
10/06/09	<i>Akti N</i>	Buque tanque	Vlissingen, Holanda

Primer análisis:

Supongamos que los buques a estudiar se encuentran con su desplazamiento máximo coincidiendo con el ojo de Plimsoll y asiento "0".

Además navegan en marcha avante en aguas someras con fondos planos.

Denominemos "X" a la relación porcentual entre la eslora entre perpendiculares (LBP) y el baricentro (B), respecto a la sección maestra.

Veamos ahora las diferentes posiciones que adopta el baricentro de acuerdo al Cb del buque, cuando se encuentra detenido en el agua.

Buques con $C_b < 0,7$

Estos buques son los Ro-Ro, containeros, buques de pasaje, cruceros, gaseros

$$X = 7 \times (0,7 - C_b)^{0,5}$$

En ellos el baricentro se encuentra a popa de la sección maestra

Buques con $C_b > 0,7$

Estos son los bulk carrier, OBO, VLCC, ULCC En ellos el baricentro se encuentra a proa de la sección maestra

$$X = 7 \times (Cb - 0,7)^{0,5}$$

Buques con $C_b \cong 0,7$

Estos buques son generalmente los buques de carga

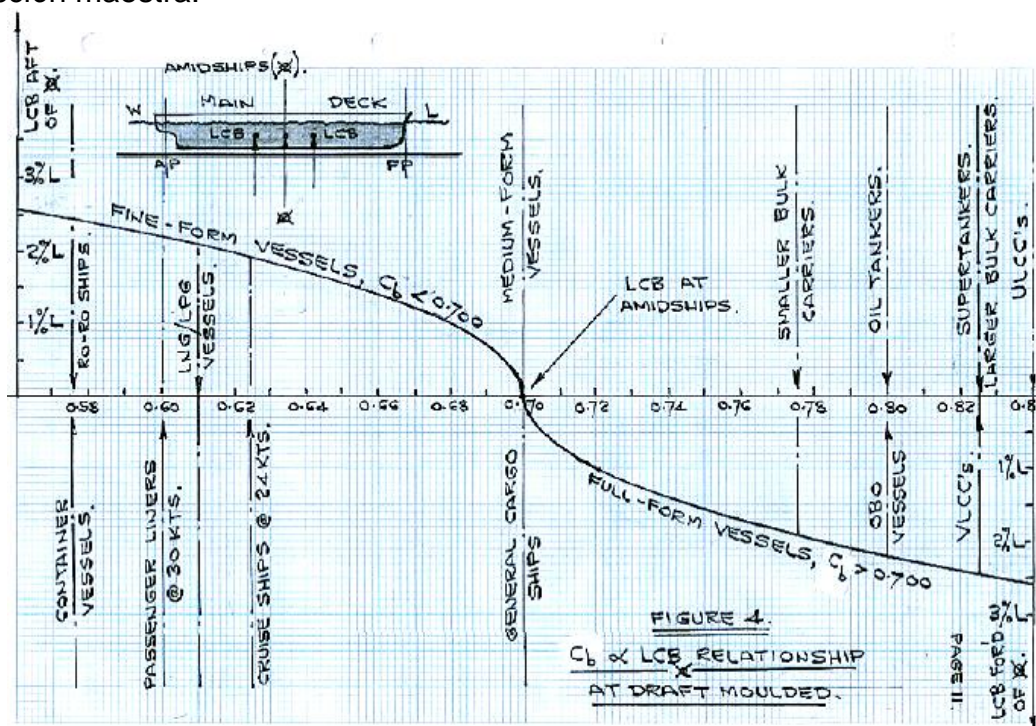
En ellos el baricentro se encuentra muy próximo a la sección maestra

Si observamos el gráfico siguiente veremos que:

Si el C_b de un buque es 0,575, entonces su baricentro se encontrará 2,5% de la LBP a popa de la sección maestra.

Si el C_b de un buque es 0,825, entonces su baricentro se encontrará 2,5% de la LBP a proa de la sección maestra.

Si el C_b de un buque es 0,7, entonces su baricentro se encontrará en la sección maestra.



Veamos ahora las diferentes posiciones que ocupan CG y B según el coeficiente de bloc.

Para que el buque encuentre en reposo y equilibrio, CG y B ($LCB = LCG$), deberán encontrarse ubicados sobre la misma vertical, tener igual magnitud, misma dirección, pero sentidos opuestos.

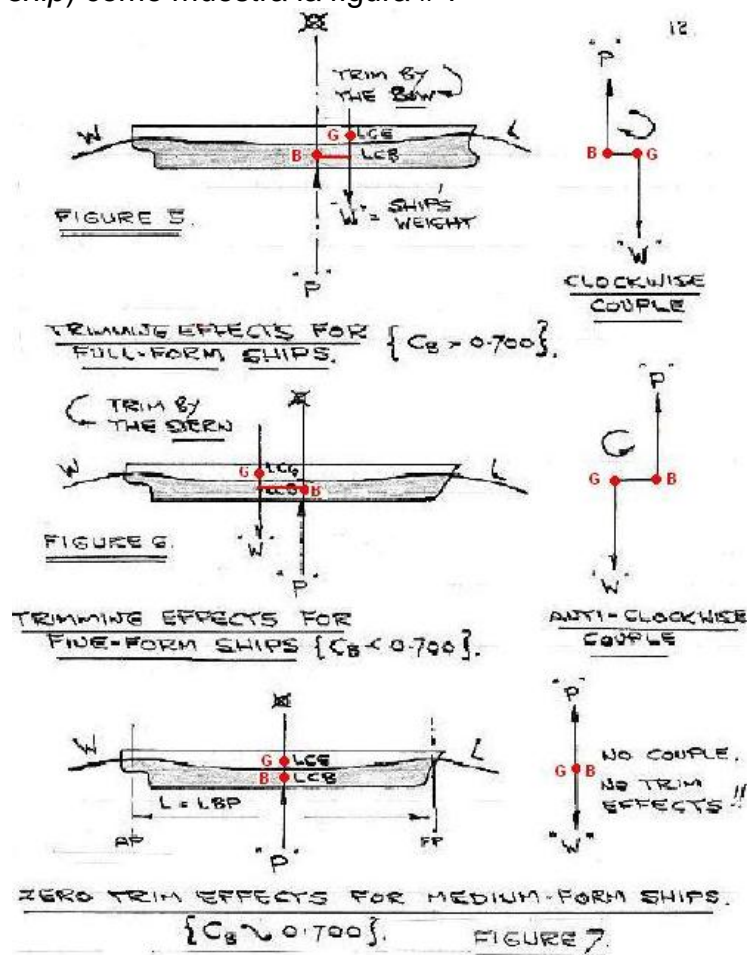
Consideramos que cuando el buque navega, el CG no se mueve, mientras que no se producen ingresos, egresos o movimientos de pesos a bordo; pero sí lo hará el baricentro B, la modificación de la forma de la carena debido a la formación del tren de olas.

Denominaremos "P" al punto al que se traslada el baricentro cuando el buque navega debido a las variaciones, respecto del nivel medio, que producen las olas transversales.

En consecuencia, en los buques de $C_b > 0,7$, al desplazarse el baricentro hacia popa se generará una cupla horaria, o sea que el buque tenderá a aproarse, como se puede observar en la figura # 5

En cambio si el $C_b < 0,7$, el movimiento del mismo será hacia proa. La cupla será antihoraria: el buque se aporará como observamos en la figura # 6

Por último, en buques con $C_b \cong 0,7$ no se producirá ningún desplazamiento y consecuentemente tampoco ninguna cupla, produciéndose únicamente *sinkage* (*mean bodily ship*) como muestra la figura # 7



Test realizados en modelos a escala y en buques reales confirman lo expuesto, siempre y cuando, detenidos tuvieran asiento "0"

Se debe de tener en cuenta que a medida que el calado de un buque mercante decrece desde el valor máximo correspondiente a su calado moldeado hasta su calado en desplazamiento liviano, el baricentro se moverá hacia proa, o sea se incrementará su LCB , como lo muestra la figura # 8

Si observamos el siguiente gráfico veremos que los buques de formas finas, $C_b < 0,7$, dependiendo de su calado, pueden tener un asiento dinámico hacia popa, no variar su asiento, o variarlo hacia proa, según sea su calado.

Si analizamos un buque con $C_b \cong 0,7$, ellos pueden, también de acuerdo a su calado, no tener cambio de asiento o variarlo hacia proa.

Por último, los que tengan un $C_b > 0,7$ indefectiblemente aproarán, cualesquiera sea su calado.

WHEN STATIC, ALL VESSELS ASSUMED TO BE UPRIGHT AND ON EVEN KEEL.

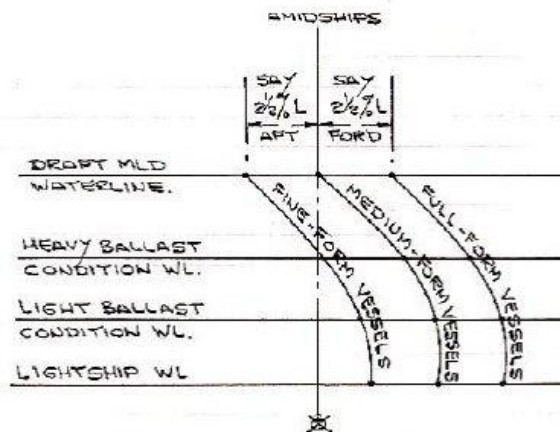


FIGURE 8. LCB_x CURVES, VARYING WITH DRAFT AND HULL-FORM.

Analícemos ahora el factor de bloqueo ($F_b - S$).

Cuando mayor sea el mismo, también mayor será el *squat* que se produzca. Obsérvense en el gráfico, los sedimentos sobre el fondo del canal, que aumentan a medida que se alejan del eje hidrográfico (*thalweg*).

Modernos y grandes buques tanques, cuando navegan dentro de canales o ríos dentro del *thalweg*, pueden llegar a tocar con sus pantoques dichos sedimentos.

Ello lleva a roces de sus dobles fondos de pantoque, que producen pandeos y/o averías debido al *squat* transversal.

Tengamos presente que algunos buques tanques tienen mangas moldeadas de hasta 70 metros.

$$L = \text{SHIP'S LBP.} \quad 14.$$

$$A_s = \text{CSA OF THE SHIP} = b \times T.$$

$$A_c = \text{CSA OF THE CANAL} = B \times H.$$

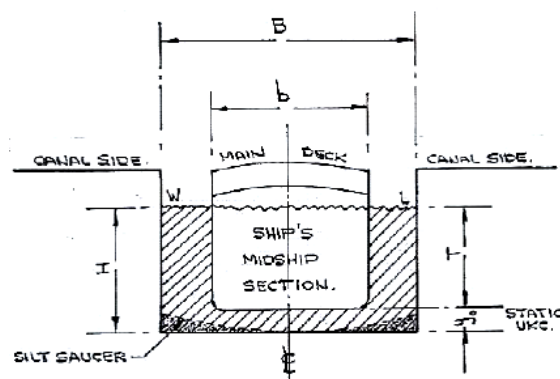


FIGURE 9. SHIP IN A CANAL, IN A STATIC CONDITION.

$$C_B = \text{BLOCK CO-EFFCT} = \frac{\text{VOLUME OF DISPLACE}^{MT.}}{L \times b \times T}$$

$$S = \text{BLOCKAGE FACTOR} = \frac{A_s}{A_c}$$

$$V_k = \text{SHIP'S SPEED (KTS) RELATIVE TO THE WATER.}$$

Veamos ahora lo que ocurre cuando un buque tiene un asiento estático hacia proa o hacia popa.

Asumiremos que el mismo navega en aguas someras abiertas de fondos planos.

Anteriormente los capitanes de los buques tanques estimaban que, como los mismos tenían un $C_b >$ de 0,7, cuando navegarán, se aproarían.

Por lo tanto, los hacían cargar con un asiento estático hacia popa, con el fin de que cuando navegasen lo hicieran con un asiento dinámico "0".

¡¡Esto no ocurre!!

Si, un buque detenido tiene asiento positivo, cuando navegue en aguas someras o canales confinados, seguirá asentándose a popa.

El asiento dinámico se sumará al estático.

Esto es debido a que los filetes líquidos que fluyen por debajo de la popa se mueven con mayor rapidez que los que lo hacen por debajo de la proa (efecto venturi de flujo continuo).

Esa diferencia de velocidades produce una mayor succión en la popa que en la proa.

Pero si estáticamente el buque tiene un asiento negativo, cuando navegue en iguales condiciones el asiento será hacia proa sumándose el dinámico al estático por iguales causas.

Pero acá nos cabe una pregunta:

¿Qué sucede cuando la diferencia de calados entre proa y popa es realmente pequeña?

Supongamos un panamax de 220 m. de eslora que se encuentre apopado solamente 0,15 m.

¿Podemos decir que dicho buque está realmente apopado?

Para determinar ello deberíamos relacionar ambos valores: su eslora con la diferencia de sus calados, ambos expresados en las mismas unidades.

Si dividimos su eslora por su asiento obtendremos un valor que denominaremos "K"

$$K = \frac{LBP(m)}{Asiento(m)} = \frac{220}{0,15} = 1466,66 \cong 1467$$

Si dicho coeficiente "K" resulta superior a 1.000, el asiento dinámico podrá ser indistinto a proa o popa. Será imposible de definir.

En cambio si el mismo es menor que 1.000, responderá al asiento estático.

Analicemos ahora aguas someras abiertas con una geografía de fondo ondulada.

Al navegar el buque sobre dicho fondo, se producirán modificaciones del margen de seguridad en uno y otro extremo, a medida que el buque navegue, produciéndose el máximo *squat* en el extremo que tenga el menor margen de seguridad.

Dependiendo entonces de los contornos del fondo del río o del mar, el máximo *squat* - debido al incremento del efecto venturi de flujo continuo - se producirá a proa o popa.

Para obtener los valores que nos permitan predecir los valores de *sinkage* y *squat*, deberemos interrelacionar tres coeficientes:

Cálculo del *squat* en el otro extremo ($K_{o/e}$ - *squat other end*)

$$Squat \text{ en el otro extremo } (m) = \{1 - 40 \times (0,7 - Cb)^2\} \times squat \text{ máximo } (m)$$

Cálculo del asiento dinámico (K_t - *dynamic trim*)

$$Trimado \text{ dinámico } (m) = \{40 \times (0,7 - Cb)^2\} \times squat \text{ máximo } (m)$$

Cálculo del *sinkage* promedio (K_{mbs} - *mean bodily ship*)

$$Sinkage (m) = \{1 - 20 \times (0,7 - Cb)^2\} \times squat \text{ máximo } (m)$$

Recordemos que el *squat* máximo se obtiene mediante las siguientes fórmulas simplificadas (sólo aplicables para $H / t > 1,1 < 1,4$):

Aguas someras abiertas ($Fb < 0,1$)

$$Sq. \text{ máximo } (m) = \frac{Cb \times Vb^2 (ns)}{100}$$

Canales confinados ($Fb > 0,250$)

$$Sq. \text{ máximo } (m) = \frac{Cb \times Vb^2 (ns)}{50}$$

Ejemplo de trabajo :

Un *cap size* de 100.000 DWT tiene los siguientes valores estáticos:

Eslora e/perpendiculares:	253 m	
Manga moldeada:	44 m	
Calado moldeado:	13,28 m	Asiento "0"
Profundidad:	14,60 m	
Densidad agua:	1,025 t/m ³	
Desplazamiento:	122.740 t	

Se asume que el buque zarpa de puerto y navegará en aguas someras abiertas, sin variaciones de profundidad, a una velocidad de 9,5 ns.

Se debe calcular:

1. El máximo *squat* en proa y popa
2. El *sinkage* medio en metros
3. El asiento dinámico en metros
4. El mínimo margen de seguridad dinámico en la proa

Cálculo del Cb :

$$Cb = \frac{\text{Volumen de desplazamiento} / \delta_{H_2O} \text{ t/m}^3}{\text{Eslora} \times \text{manga} \times \text{calado}} = \frac{122.740 / 1,025}{253 \times 44 \times 13,28} = 0,81$$

Cálculo del *squat* máximo:

$$squat \text{ max.en proa } m(Cb > 0,7 \text{ y even keel}) = \frac{Cb \times Vb_{ns}^2}{100} \Rightarrow \frac{0,81 \times 9,5^2}{100} = 0,73 m$$

Cálculo del *squat* en popa

$$Squat \text{ en popa} = \{1 - 40(0,7 - 0,81)^2\} \times 0,73 \Rightarrow 1 - (40 \times 0,0121) \times 0,73 \Rightarrow (1 - 0,484) \times 0,73 \Rightarrow 0,516 \times 0,73 = 0,37668 \cong 0,38 m$$

Cálculo del trimado dinámico:

$$Trimado \text{ dinámico} = \{40 \times (0,7 - Cb)^2\} \times squat \text{ en proa} \Rightarrow (40 \times 0,0121) \times 0,73 = 0,35332 \cong 0,35 m$$

Notemos que:

$$Trimado \text{ dinámico} = calado \text{ proa} - calado \text{ popa} \Rightarrow 0,73 m - 0,38 m = 0,35 m$$

Cálculo del sinkage:

$$Sinkage = \{1 - 20(0,7 - Cb)^2\} \times squat \text{ proa} \Rightarrow 1 - (20 \times 0,0121) \times 0,73 \Rightarrow (1 - 0,242) \times 0,73 \Rightarrow 0,758 \times 0,73 = 0,55334 \cong 0,55 m$$

Cálculo del mínimo margen de seguridad:

$$Ms_{\text{estático}} = (\text{Profundidad} - \text{Calado}_{\text{estático}}) - squat_{\text{máximo}} \\ (14,60 m - 13,28 m) - 0,73 m = 0,59 m \text{ (navegando a } 9,5 \text{ ns.)}$$

Resultados:

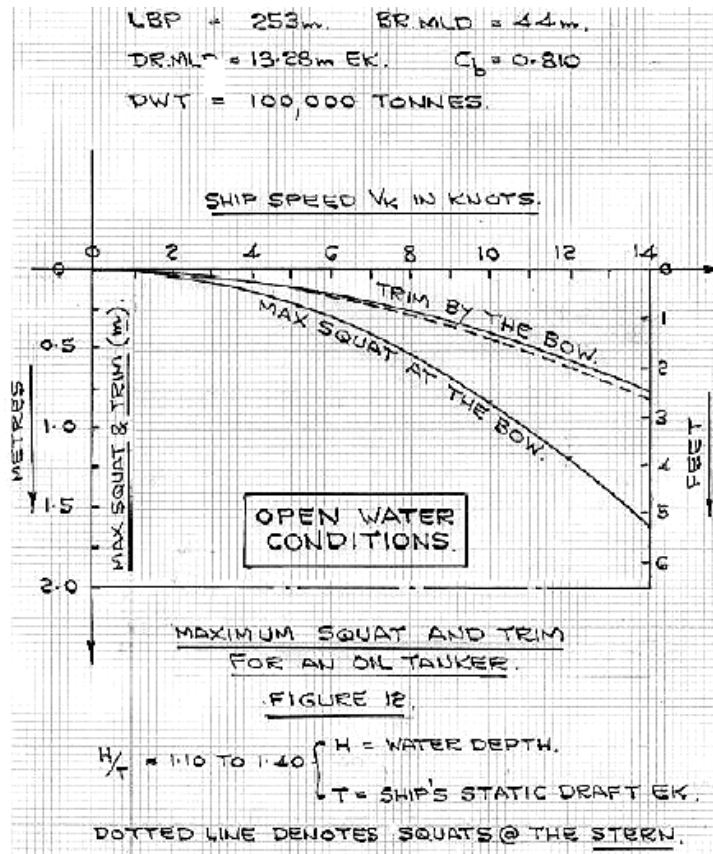
El máximo *squat* se produce en proa: 0,73 m ($Cb > 0,7$ y asiento estático = 0)

El *squat* no varía debido a que el fondo marino es playo (no hay cambios de los márgenes de seguridad)

El *squat* promedio es $0,73 + 0,38 / 2 = 0,55 m$.

El mínimo margen de seguridad es 0,59 m.

El siguiente gráfico nos permite corroborar los resultados matemáticos



Squat en ríos muy angostos y anchos

La figura # 10 permite calcular el *squat* que sufrirá un buque, siempre dentro de los límites de relación profundidad / calado ($H/t > 1,1 < 1,3$) y con una relación ancho del río / manga del buque ($B/b > 3.0 < 9.0$).

Ejemplo de trabajo:

Un buque con un C_b 0,75 de 32,26 m. de manga y 9,00 m. de calado estático. Se encuentra detenido en el agua, adrizado y con calados parejos. Navegará en un río de 150 m. de ancho con una profundidad de 11 m., a una velocidad de 5 ns.

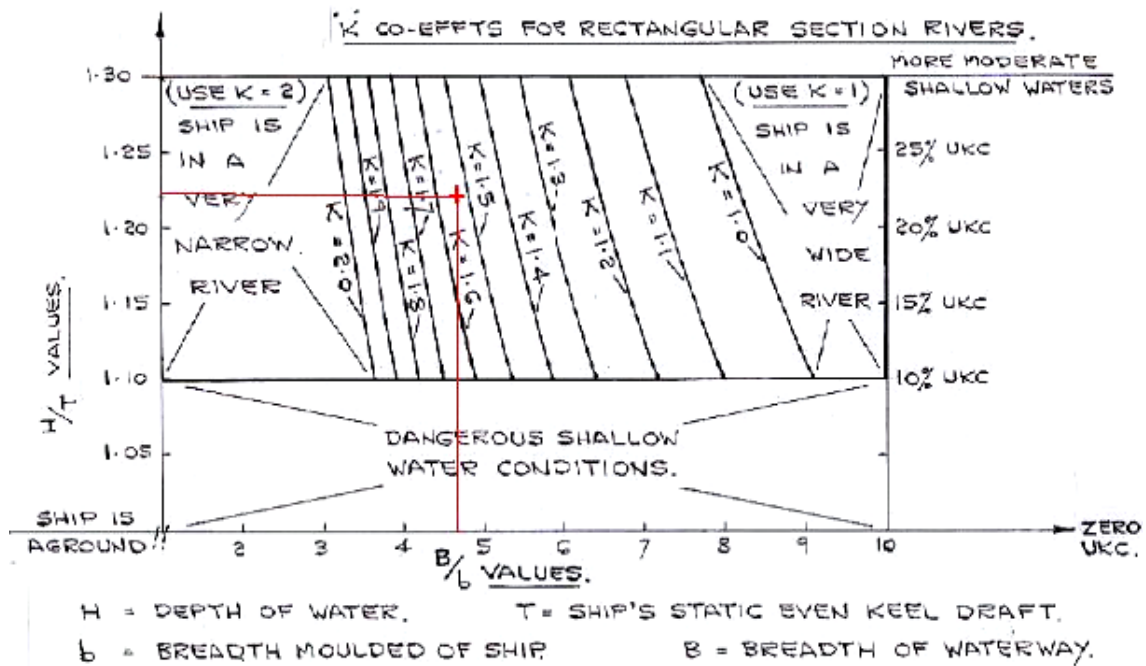
Usando el gráfico 10 calculamos el *squat* máximo que sufrirá

Cálculo de la relación ancho río / manga buque:

$$150 \text{ m.} / 32,26 \text{ m.} = 4,65$$

Cálculo de la relación profundidad / calado:

$$11 \text{ m.} / 9 \text{ m.} = 1,22.$$



Cálculo del factor de bloqueo:

$$Fb = \frac{b \times t}{B \times H} = \frac{32,26 \times 9}{150 \times 11} = 0,17$$

La intersección entre la perpendicular que parte de 4,65 y la horizontal que lo hace de 1,22, obtenemos un valor K de 1,535

Dicho valor es que aplicaremos para adecuar la fórmula simplificada, vista anteriormente, para obtener el *squat* en un río intermedio

$$Squat \text{ max imo (m)} = K \times \frac{Cb \times Vb^{2(ns)}}{100} \Rightarrow 1,535 \times \frac{0,75 \times 25}{100} = 0,29 \text{ m a proa}$$

Recordemos que también lo podemos obtener matemáticamente mediante la siguiente fórmula:

$$K = 5,74 \times Fb^{0,76}$$

Notemos que a medida que el coeficiente "K" se aproxima al valor dos, denota un río o canal confinado más angosto, mientras que cuando se acerque al valor uno, serán aguas más abiertas o río más ancho

Esto nos confirma que el *squat* en canales o ríos confinados es aproximadamente el doble que en aguas abiertas.

Squat negativo

Se pueden producir situaciones de *squat* negativo en buques como *overcrafts* o *hidrofoils* cuando navegan a muy altas velocidades, como ser 40 / 50 ns.

A dichas velocidades sus cascos se elevan sobre el agua, se incrementa su margen de seguridad y entonces se produce un *squat* negativo.

Buques que se cruzan

Cuando dos buques se cruzan en un río o canal estrecho también se puede producir un *squat* negativo o *squat* "0"

Supongamos dos buques que se cruzan en un canal.

Ambos detenidos tenían asiento estático "0".

Uno es un porta contenedores en lastre, con un C_b 0,541886.

El otro un buque tanque cargado con un C_b 0,858114.

En el instante del cruce el porta contenedores se encontraba con asiento positivo debido a su bajo $C_b < 0,7$, mientras que el buque tanque estaba con asiento negativo por su alto $C_b > 0,7$.

Los cambios de asiento, por efecto de la interacción, pueden ser tan importantes en el momento preciso del cruce que pueden incrementar su máximo *squat* en un extremo y anular el *squat* en el otro, pudiendo en algunas circunstancias que dicho valor sea negativo.

Squat transversal

Influencia de la manga sobre el *squat* transversal

Cuando un buque que navega se escora en aguas someras o canales confinados, puede tocar el fondo con sus pantoques, **aún sin hacerlo con su proa o con su popa.**

Esto suele ser frecuente en buques de mangas muy importantes y se lo denomina *squat* transversal.

O sea que en dichos buques, el *squat* podrá ocurrir tanto por cambio de asiento como por escora.

El siguiente gráfico, tomado de investigaciones realizadas sobre un buque real, de manga importante y alto $C_b > 0,7$, nos muestra la importancia que tiene la misma para producir el *squat* transversal.

El nos muestra los resultados para varios ángulos de escora.

Observemos que su margen de seguridad estático es de 1,25 m.

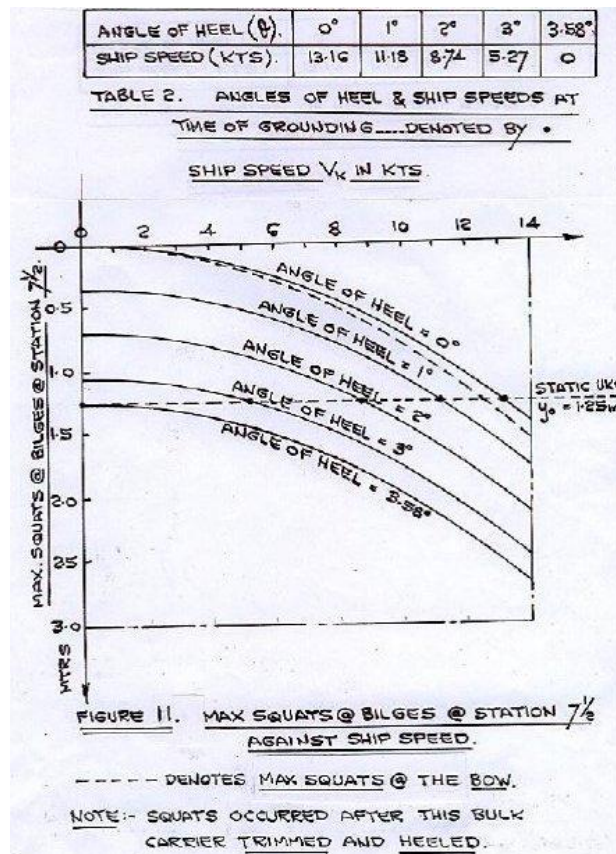
La línea punteada curva nos muestra que, estando adrizado, cuando navega, debido al *squat* en proa, llega a la velocidad de saturación cuando alcanza los 12,2 ns.

Pero si sufriera una escora de 1° , tocará fondo con su pantoque a 11,18 ns.

Si la escora fuese de 2° , lo hará a los 8,74 ns.

Y si fuese de 3° , a los 5,27 ns.

Obsérvese además que si estuviese detenido y escorase, sus pantoques tocarían fondo con una escora de $3^\circ,58$ debido al incremento de manga por escora.



Esto nos hace reflexionar una vez más sobre la importancia que tiene la escora en los modernos buques de grandes mangas.

Procedimientos para reducir el squat

- Disminuir el calado medio del buque mediante la descarga de agua de lastre innecesaria.
Ello tiene dos efectos favorables:
 - Al tener un menor calado, el C_b también disminuirá ligeramente, (aunque en algunos buques de pasajeros no producirá una significativa reducción). Esto se debe a que su franja variable es mucho menor que en otro tipo de buques.
 - Al tener un menor calado, para una similar profundidad la relación H/t será mayor. En mediciones sobre buques reales y modelos en escala se ha confirmado que incrementando la relación profundidad / calado se alcanzan menores valores de *squat*.
- Navegar, dentro de lo posible, en aguas lo más profundas que sea posible geográficamente.
- Dentro de lo posible físicamente, evitar los efectos de la interacción navegando lo más alejadamente posible de buques en movimiento o de veriles o bancos.
- El medio más efectivo de reducir el *squat* es reducir la velocidad del buque.
Recordar que bajando la velocidad a la mitad, reducimos el *squat* a la cuarta parte.
- Instruir a investigadores, capitanes, primeros oficiales y prácticos sobre el fenómeno y los riesgos que el mismo implica.

6. Utilizar gráficos para una rápida y fácil predicción del máximo *squat* en aguas someras o canales confinados.