



ASOCIACIÓN NACIONAL DE
PILOTOS PRÁCTICOS DE COLOMBIA

#ConProaAlFuturo



SECRETOS DEL TRIMADO DINAMICO O EFECTO SQUAD

ITP 020

Bogotá, Julio 2023



Elaborado por

Piloto Practico de Primera Categoría

Jorge Orlando Parra Chaura

Julio de 2023

Revisado por

Camilo Barbosa, Gustavo Espinosa

Julio 2023

Revisión final y aprobación

Junta Directiva ANPRA

julio de 2023



Este documento ha sido realizado por profesionales de varias áreas del saber, pilotos prácticos, oficiales navales y mercantes, abogados, internacionalistas, entre otros, con una trayectoria de más de 15 años de experiencia, además de haber tenido una minuciosa revisión bibliográfica que permite tener la información más actualizada y veraz de manera rigurosa.

Así mismo, se contó con un comité revisor en el cual están involucrados diferentes expertos sobre la temática a tratar en cada Instrucción Técnica de Practicaje para un mayor detalle de supervisión respecto a lo aquí escrito. Por ello, toda la información presentada a continuación es un conglomerado de experiencias, investigaciones y datos precisos que servirán como guía de instrucción y actualización para la labor del practicaje en los mares y ríos.



INSTRUCCIONES TÉCNICAS DE PRACTICAJE ASOCIACIÓN
NACIONAL DE PILOTOS PRÁCTICOS DE COLOMBIA

ITP 020

SECRETOS DEL TRIMADO DINAMICO O EFECTO SQUAD

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES.....	3
3. APLICACIÓN EN EL PRACTICAJE.....	22
4. EXPERENCIAS	23
5. CONCLUSIONES.....	24
6. ANEXOS	25
7. BIBLIOGRAFIA	25



1. INTRODUCCION.

Así como la seguridad del Piloto práctico y las demás condiciones seguras de la navegación o de la operación marítima y fluvial en los puertos; debe considerarse tanto por el Piloto Práctico como por el Capitán del barco, la variación del calado relacionada directamente con la velocidad de la nave en aguas someras, aguas poco profundas y muy especialmente en aguas restringidas. En las aguas poco profundas de los canales se deben evitar accidentes que puedan derivarse del aumento del calado por efecto del Trimado dinámico, conocido comúnmente como el efecto Squat.

El termino Squat viene del francés antiguo “squater” que se traduce comúnmente como “comprimir”. Los ingleses lo incorporan como squat y su significado es arrodillarse o ponerse en cuclillas y en el lenguaje marino se incorpora como un sobrecalado.

Es importante aclarar que técnicamente el Squat no es un aumento del calado de un buque como tal, sino que se trata de una disminución de la distancia o margen de seguridad bajo la quilla, ligado a la velocidad de navegación; por lo que a efectos prácticos actúa como si se tratase de un aumento de calado.

En Colombia, nuestros principales puertos están en aguas someras inferiores a 30 m y en canales de acceso de aguas restringidas que en la mayoría de los casos necesitan de trabajos de dragado, con excepción del Puerto de Santa Marta. (Ver Cuadro 1)

PROFUNDIDAD		
PUERTO	MIN.	MAX.
Barranquilla	9.1 Mts	12.2 Mts,
Santa Marta	18 Mts	60 Mts
Cartagena	14.5 Mts	15.5 Mts
B/ventura	12.5 Mts (Bahia interna)	15.5 Mts (en marea alta)

Cuadro1 (Mintransporte)

Nota: La profundidad varía dependiendo de las condiciones del clima y de sedimentación.



Teniendo en cuenta lo anterior se hace entonces necesario que en las labores del practicaaje, el efecto Squat tenga una adecuada difusión ya que un buque varado, o un derrame o hasta un hundimiento por falta de conocimiento del Piloto o del Capitán, representarían un alto costo en contaminación, cese de las actividades portuarias e incluso pérdida de vidas. El efecto Squat se puede presentar especialmente cuando el puerto tenga su mínimo de profundidad y el buque por efecto de su carga tenga un calado muy cercano a la profundidad de aquel.

Muy valiosa es la inclusión del efecto Squat dentro del manual de **INSTRUCCIONES TÉCNICAS DE PRÁCTICAJE (ITP)**, pues se considera que es una herramienta fundamental en el desarrollo del aprendizaje del Piloto Práctico en entrenamiento y en la aplicación de la buena práctica en cada una de sus maniobras.

No pretendemos que esta ITP sea el único material de referencia, pero sí se quieren incorporar en ella los conocimientos y aportes de diferentes entidades, organizaciones y profesionales publicados, y es por ello que citamos esas publicaciones, con el fin de que sean consultadas para ampliar el conocimiento.

Por tratarse de un efecto que obedece a múltiples considerandos e hidrodinámicas casi imposibles de controlar exactamente, al tratar el Squat no se puede hablar de normatividad ni local ni internacional; lo que nos sugiere el tema, es entenderlo, socializarlo y aplicar sus implicaciones para mantener la seguridad de las operaciones náuticas, salvaguardando la salud y vida de los tripulantes y pasajeros, así como la seguridad de la nave y de su carga; todo ello conociendo previamente las condiciones de calado del puerto en donde se opera y considerando el tipo de embarcación en la cual se va a realizar la maniobra de practicaaje, sus condiciones de diseño y calados estáticos.

2.CONCEPTOS Y DEFINICIONES.

2.1. El efecto Squat

La mejor definición del Squat es quizá: “La pérdida del margen de seguridad cuando el buque navega, comparándolo con el que tenía estando detenido sobre el agua” (1). El efecto Squat tiene sus particularidades dependiendo principalmente de la clasificación de las aguas en donde se realiza la maniobra o la navegación, así como el tipo de embarcación; siendo este último aspecto



el que determina el *coeficiente de bloque* utilizado en las fórmulas que determinan en metros el “aumento de calado” de la embarcación. El efecto Squat se produce en el momento en que el buque se encuentra detenido y empieza a aumentar la velocidad independiente de la profundidad de las aguas en donde se esté navegando.

En el documento XLI SESIONES TÉCNICAS DE INGENIERÍA NAVAL "Transportes e Industrias Marítimas Especiales y de Dragado" de Berenguer, I.- Iribarren, J. – Lopez, C – Herreros, M. – Souto,A, se define que el Squat, es el fenómeno de incremento de calado y asiento en los buques que navegan por canales estrechos y aguas someras, y la generación de olas al paso de la motonave; hecho conocido, en especial en el caso de los buques rápidos. Una forma clara y sencilla de definir el “squat” es el cambio de calado y trimado de un buque que se produce como resultado de las variaciones de presión hidrodinámica sobre el casco, al inicio del movimiento y aumento de velocidad de la embarcación en aguas de cualquier profundidad.

El fenómeno inicialmente se justifica por el estrechamiento de la vena líquida en presencia de la carena, de acuerdo a la ley de Bernouilli. En otras palabras cuando un buque inicia su navegación en aguas someras y/o restringidas los cambios de las fuerzas de presión sobre el casco provocan un incremento dinámico de calado y cambio de trimado en la carena, dependiendo de las características geométricas del buque y del perfil de la zona de navegación en profundidad y anchura y de la velocidad de tránsito.

Figura 1 Constricción de la vena líquida

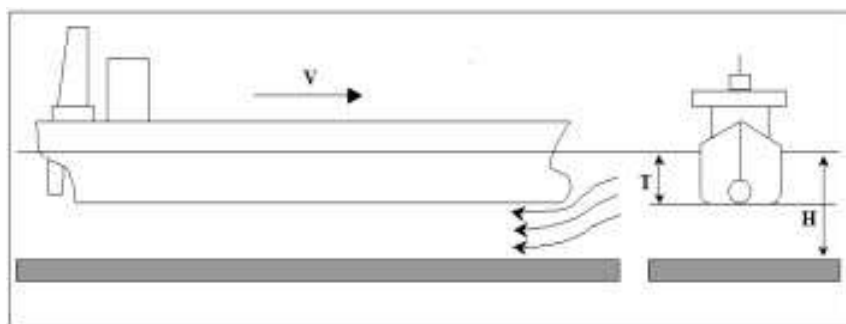


figura 1

Estos mismos autores dan mucha importancia a la otra consecuencia del Squat, que es la generación de olas cuyos efectos en canales estrechos afectan la navegación, la erosión en las paredes del canal o río, la biodiversidad e incluso la vida. Esto lo veremos más adelante.



2.1.1. Squat negativo

Es el que se produce en buques como overcrafts o hidrofoils cuando navegan a altas velocidades por encima de los 40 nudos. A dichas velocidades sus cascos se elevan sobre el agua y por consiguiente se incrementa su margen de seguridad. Lo mismo puede ocurrir cuando dos buques se cruzan en un canal de estrecho de aguas restringidas el resultado pudiera ser “0”, o incluso negativo.

2.1.2. Squat transversal

Puede presentarse el caso de un buque navegando por aguas someras o canales confinados o estrechos y sucede cuando la embarcación se escora y sus pantoques pudiesen llegar a tocar fondo y ocurre ya sea por un cambio de asiento o por la escora misma.

2.2. Clasificación de las aguas según su profundidad

2.2.1. Aguas profundas o abiertas

Son aquellas cuya profundidad está entre los 500 y los 1500 m en donde podemos concluir que el efecto Squat no afectaría la seguridad de la embarcación.

2.2.2. Aguas someras o poco profundas. ¿Qué son y cómo navegarlas?

A la hora de navegar una embarcación hay que tener en consideración infinidad de factores. Navegar por aguas poco profundas, conocidas como aguas someras, puede generar diferentes problemas en la navegación e incluso provocar que la embarcación quede varada o sufra daños en el casco o en la quilla. A continuación explicaremos sencillamente qué son las aguas someras y las precauciones para navegar por estas aguas.

Se denominan aguas someras aquellas que son poco profundas, lo cual supone un peligro para la navegación. La Organización Hidrográfica Internacional (OHI - órgano que regula toda la actividad hidrográfica) considera como aguas poco profundas aquellas que no superan los 30 metros. Las aguas someras se caracterizan por ser aguas cuya profundidad es tal que las olas superficiales se ven notablemente afectadas por la topografía del fondo. Se consideran como aguas someras, término que proviene de la traducción del inglés “shallow waters”, a aquellas en las



cuales la profundidad es menor que la mitad de la longitud de onda de la ola superficial. A esta profundidad, la forma del fondo marino es determinante en la propagación del oleaje. En aguas someras, las velocidades orbitales de las olas son prácticamente horizontales y la velocidad de propagación de la ola se independiza de la frecuencia y solo varía con la profundidad, alcanzando menores valores que en aguas profundas. En estas aguas se pueden presentar fenómenos que inciden en la gobernabilidad de la embarcación. Los fenómenos que se pueden presentar son:

Squat o sobrecalado: Debido a la reducción de paso del fluido bajo la quilla producto del incremento de la velocidad de navegación en aguas poco profundas, se aumenta la presión hidrodinámica y, a su vez, se incrementa la resistencia al avance y, por consiguiente, el calado del buque. Todo esto conlleva como resultado la ralentización de respuesta del mismo, además de las vibraciones originadas por las turbulencias.

La reflexión de oleaje: Por fondo o cercano a la costa, origina oleajes cruzados.

La refracción de oleaje: Relacionada con el ángulo formado a partir de los veriles de profundidad, modifica gradualmente la dirección de propagación, alineándose con las isóbatas. De esta manera, las alturas y pendientes de las olas, aumentan en los bajos y salientes de la costa y, disminuyen en los entrantes, bahías y radas costeras.

El asomeramiento: Con la variación de la altura y longitud de onda del oleaje en zonas de poca profundidad, se reduce ligeramente su pendiente en profundidades intermedias que, aumentan bruscamente en la zona de aguas someras.

Las rompientes: Están causadas por la disminución de velocidad de avance de las olas y el incremento de su pendiente.

El Efecto Doppler: Tiene lugar por la interacción del oleaje con las corrientes marinas. En consecuencia, la longitud de onda se reduce si la dirección de propagación de las corrientes y el frente de ondas son opuestas y viceversa en caso de ser similares. Esta variación de longitud de onda se traduce en un aumento o disminución de la pendiente de las olas y, es particularmente adversa en zonas de poca profundidad con niveles altos de marea.

La formación de corrientes de cierta intensidad: Asociadas a la rotura del oleaje y, en su caso, a la presencia de corrientes de marea, ocasionarán una navegación más peligrosa.

(Ancladema, Dic 2021)



2.2.2.1. Efectos detectables cuando se navega en aguas someras.

Navegando por aguas someras nuestro barco sufre perturbaciones que afectan su comportamiento, su capacidad de maniobra (Ver caso del EVER GIVEN) y que pueden tener consecuencias no deseadas tales como el abordaje o la varada.

Todos los barcos, sea cual sea su eslora, forma y desplazamiento, están sometidos a diversos tipos de condicionantes:

Internos modificables a voluntad: velocidad, asiento (diferencia entre el calado de proa y popa) y, circunstancialmente, el calado.

Internos invariables: formas del barco, sobre todo eslora y manga.

Externos: sonda, espacio entre el barco y los márgenes del canal o el fondo y las distancias laterales con otros barcos u objetos.

Son precisamente esos condicionantes los que influirán en los parámetros de evolución en aguas someras:

Aumento notable del diámetro de evolución y del avance.

En parada de emergencia (crash stop), al aumentar la masa en movimiento (buque + agua arrastrada) se multiplica la distancia de parada y por tanto los tiempos necesarios para conseguirla, calculándose hasta un 25% más.

El barco se vuelve «perezoso» a nuestros requerimientos y se requieren mayores ángulos de timón para lograr los mismos efectos, con el consiguiente aumento del ángulo de deriva.

Se observa un aumento de guiñadas y pérdida de gobierno.

La velocidad disminuye para las mismas RPM y aumenta la carga de la máquina. Se estima que la velocidad de un buque que ocupe el 22% de la sección del Canal de Suez disminuye al 54% para el mismo número de revoluciones.

Disminuyen los movimientos del cabeceo y balance.

Aumentan las vibraciones debidas al incremento de flujos turbulentos a través del casco.

(ForoNaval© 12/07/2021)



2.2.3. Aguas restringidas ¿Qué son las aguas restringidas?

Son aquellas zonas de navegación que suponen una limitación para la maniobra del buque debiendo cumplirse la condición de que dicha limitación ha de ser tanto en sonda como en superficie. Al hablar de aguas restringidas debemos hacerlo, por tanto, en términos relativos que dependerán de las características y dimensiones del barco que estemos considerando. Se comprenderá rápidamente que lo que para un ULCC (Ultra Large Crude Carrier) son aguas restringidas pueden no serlo para un portacontenedores mucho más pequeño. Así, la expresión **aguas someras** son aguas restringidas porque indican una limitación en la relación sonda/calado pero nos debe quedar medianamente claro que no sólo las **aguas someras** son **aguas restringidas** ya que un canal estrecho y profundo también es considerado como tal.



(Fotografía Portal Foro Naval Julio 12 2021)

Imagen 1

Lo que si podemos dar por seguro es que cuando nuestro barco navega por aguas restringidas notaremos una serie de efectos que alterarán notablemente tanto su conducta de maniobra como sus condiciones de navegación.



2.2.3.1. Efectos detectables cuando se navega en aguas restringidas.

2.2.3.1.1. Fenómenos de interacción con obstáculos laterales. (fig. 2 y 3)

Sabemos, que las líneas de agua que recorren el casco mientras navegamos a una determinada velocidad, ven perturbado su equilibrio para amoldarse a las formas de la obra viva del barco al mismo tiempo que aumentan su velocidad y, en consecuencia, disminuyen su presión. Este flujo de agua es simétrico y laminar cuando nos movemos en línea recta en mar abierto excepto en la zona de la hélice en que se convierte en turbulento, pero eso es otro tema. Sin embargo, cuando transitamos a lo largo de un canal de aguas restringidas, con la orilla o márgenes próximos, el flujo deja de ser simétrico y aparecen diferencias de presiones entre ambas bandas del barco y generación de vórtices en la orilla más próxima.

Para los marinos, esto se traduce en dos consecuencias que debemos tener en cuenta para evitar, en la medida de lo posible, una varada o algo peor. A saber:

Succión transversal del buque hacia la orilla ocasionando derivas del barco en ese sentido.

Un momento sobre el eje vertical del buque que pasa por su centro de gravedad y que ocasiona un movimiento de guiñada en el sentido de separar la proa del buque de la orilla.

Ambos efectos dependen de la velocidad de navegación, de la separación del buque a la orilla y de la configuración de esta orilla, siendo más importante cuando se trata de una pared vertical que de un talud inclinado.

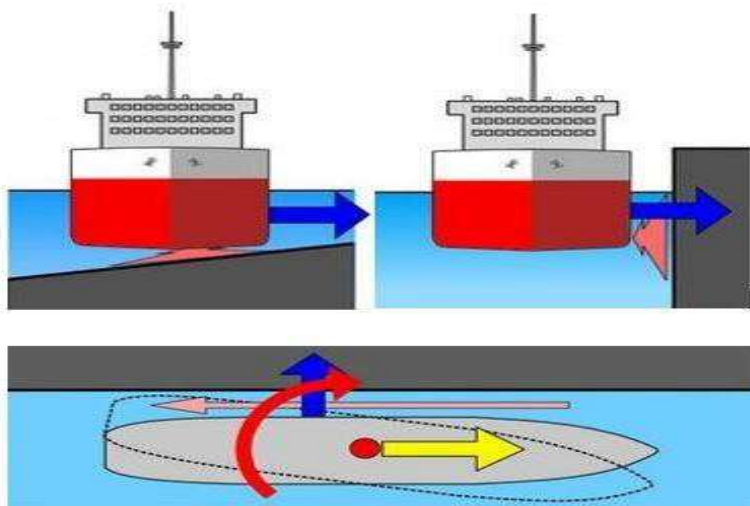


Figura 2

(Graficos Foro Naval 26/08/2021)

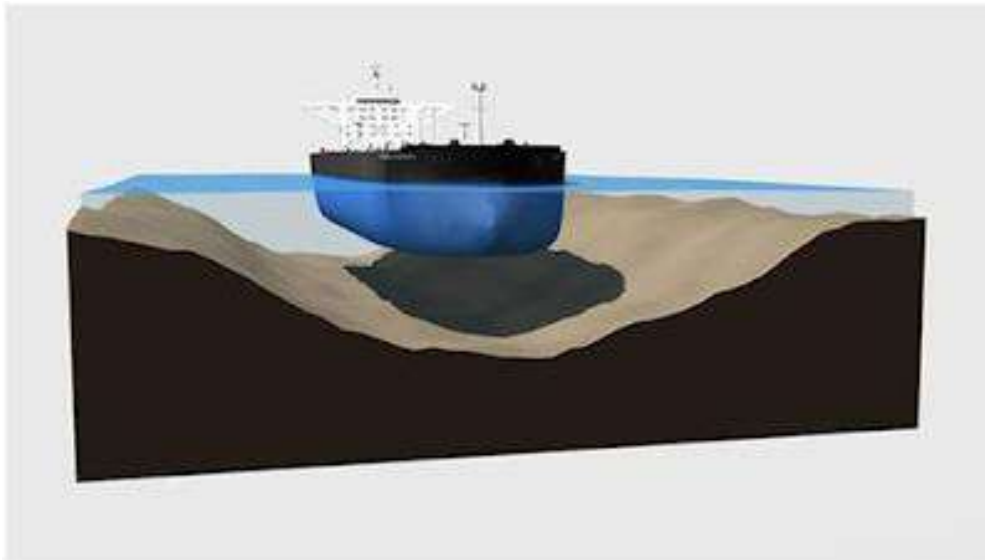


Figura3

(Gráficos Foro Naval 26/08/2021)

Cuando la relación entre la manga del buque/ancho del canal es de $1/20$, se comienza a notar el efecto de la interacción, con los efectos entre otros de un aumento en la resistencia al avance que se agudiza cuando la relación llega a $1/5$. El campo de presión que se genera a proa es mayor que el generado a popa, esto representa un empuje de la proa hacia afuera.

Por otro lado, el importante descenso de la presión a lo largo del costado genera una fuerza lateral que impulsa al buque hacia el margen más próximo; este efecto es conocido como **succión del veril** o **efecto orilla** (*bank effect / bow cushion*). La succión del veril se refiere a la tendencia de la popa de un barco a acercarse hacia la orilla cercana cuando opera en un canal, río o vía fluvial angosta. De lo expuesto se deduce que un buque que navegue cerca de un veril o una orilla deberá mantener una ligera inclinación en su rumbo hacia la banda opuesta, para compensar los efectos de la succión, y casi siempre requerirá unos grados de timón a la orilla más cercana, para contrarrestar los efectos de giro.

Aún tenemos presente el incidente originado por el buque portacontenedores Ever Given en el Canal de Suez. A la espera del informe final sobre las razones de la varada no resultaría muy descabellado adelantar, con la prudencia requerida en estos casos, que uno de los factores intervinientes fuese, en conjunción con otras causas, este fenómeno de succión de veril.



Succión del veril o efecto orilla (Fig.4)

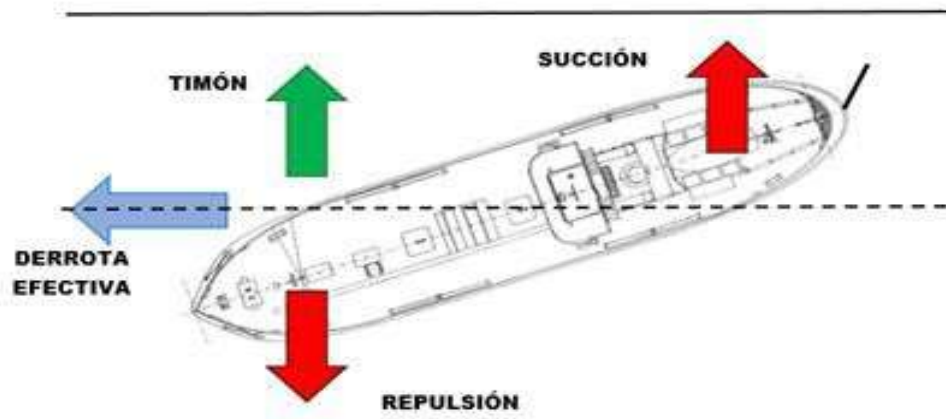


Figura 4

(Gráficos Foro Naval 26/08/2021)

2.2.3.2. Olas generadas por el barco que navega en aguas poco profundas

Un barco navegando en aguas someras genera una ola que puede causar daños importantes en las instalaciones ubicadas en la orilla del canal o río, en los barcos que estén atracados o fondeados en las mismas y en la flora y fauna que habita en ellas. En ocasiones, dicha ola puede llegar a ocasionar pérdida de vidas humanas.



Imagen 2

(Gráficos Foro Naval 26/08/2021)



Podemos asegurar que la única manera de minimizar riesgos es moderar máquina ya que, como vamos a ver a continuación, el tren de olas es directamente proporcional a la velocidad del buque.

El número de Froude basado en la profundidad resulta crítico en la determinación de las características de las olas en aguas poco profundas, al igual que el número de Froude basado en la eslora (F_n) lo es en aguas profundas. Sin embargo, la influencia de F_{nh} es mucho más visible que la de F_n . El valor crítico de F_{nh} es uno. Los valores inferiores a uno se llaman subcríticos y los superiores a uno, supercríticos.

Para valores sub críticos de F_{nh} y para valores del número de Froude inferiores a 0.9, tenemos el patrón de olas sub críticas o de Kelvin clásico, como se muestra en la figura 5. Si un buque pasa de aguas profundas a poco profundas navegando a velocidad constante, a F_n inferiores a 0.9, la dirección de propagación de olas cambia y se produce un bloqueo en la generación de olas que hace que la resistencia por formación de olas crezca de un modo importante. El fenómeno es similar al que se produce cuando un avión alcanza la velocidad del sonido. Además, en caso de que la navegación se produzca en un canal, con anchura restringida, éste fenómeno se ve aumentado. Para valores críticos de F_{nh} y para valores del número de Froude superiores a 1, se presenta el patrón de olas críticas o fenómeno de “Wake Wash”, como se muestra en la figura 6.

El tren de olas generado por un buque en aguas poco profundas viene definido por el **Número de Froude** que es un número adimensional que relaciona fuerzas de inercia con fuerzas de gravedad basado en la profundidad. La Fórmula es:

$$Fr = V / (G \times Yh)^{1/2}$$

Donde:

V. Velocidad del buque en m/s

G= Gravedad en m/s

Yh= Profundidad Hidráulica

El resultado del Número de Froude, determina las características de las olas generadas.

Si **Fr < 1** Se generan las olas subcriticas o tren de olas Kelvin (Ver Fig 5)

Si **Fr = 1** Se genera el tren de olas críticas o fenómeno *wake wash* (Ver Fig 6)



2.2.3.2.1. Olas subcríticas o tren de olas Kelvin.

Se generan dos tipos de ola: unas ligeramente divergentes a las amuras y otras transversales perpendiculares a la dirección del barco y que siguen a este aproximadamente a la misma velocidad. Cuando el seno de la ola coincide con la popa del buque se incrementa notablemente el efecto del *squat* pudiendo llegar a tocar fondo.

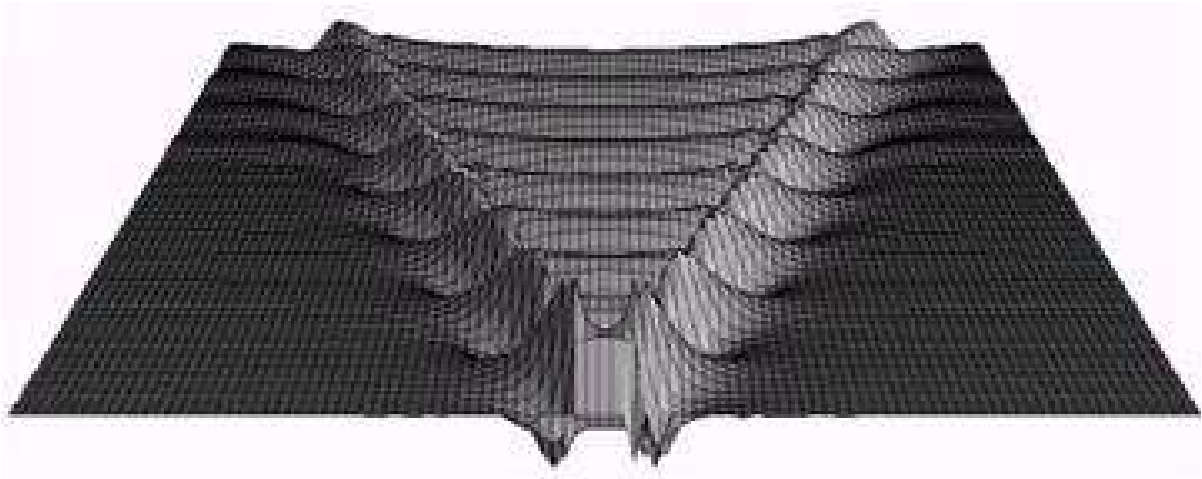


Figura5

Tren de olas subcríticas o tren de olas Kelvin (Fig.5)

2.2.3.2.2. Olas críticas.

Las olas transversales han desaparecido pero la resistencia que generan las olas divergentes alcanza su máxima amplitud. Esto se traduce en un alto consumo de combustible y una alta posibilidad de que las olas puedan causar erosión en vías fluviales restringidas o protegidas. Se agudiza el fenómeno de *wake -wash*. Son las olas a las que debemos prestar, si cabe, mayor atención.

Volviendo a la propia experiencia del que esto escribe, al navegar por los grandes ríos de Estados Unidos es muy habitual topar con numerosas embarcaciones de recreo que se dedican a la pesca deportiva en las orillas. La práctica, y el sentido común, obligan a quitar máquina con la suficiente antelación a fin de convertir las olas generadas en subcríticas. No sería la primera vez, ni por desgracia la única, en que un bote zozobra a nuestro paso.



Figura 6

Tren de olas críticas o fenómeno *wake wash*(Fig.6)

(ForoNaval© 26/08/2021)

2.2.3.3. Variación del calado por navegación en aguas restringidas

El inicio de la navegación de un buque en un canal de aguas poco profundas produce un efecto hidrodinámico conocido como «efecto squat». No es en términos teóricos un aumento del calado pero sí una reducción del margen de seguridad bajo la quilla, por lo que a efectos prácticos actúa como un aumento de calado. (Ver figura 7)

(Figura 7 Efecto squat aguas abiertas vs aguas someras)

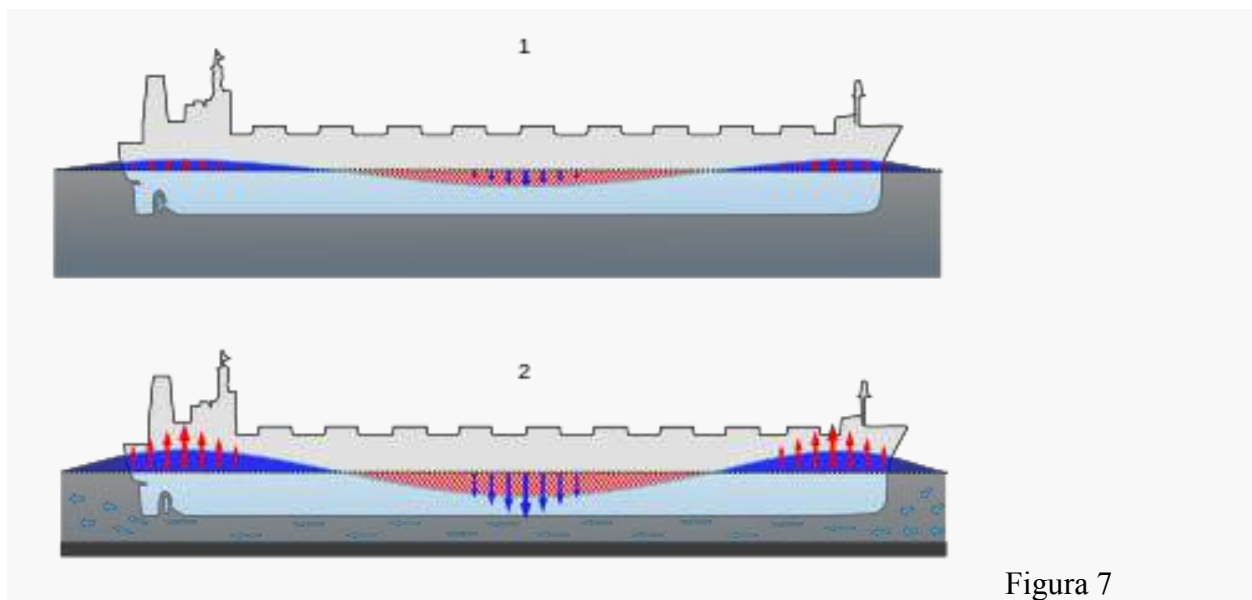


Figura 7

(Autor Walké & Sémhur - <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)



Este efecto debe ser tenido en cuenta por el práctico que pilota el buque en aguas poco profundas, para evitar varaduras o pérdidas de gobierno. Con frecuencia, al aumentar la potencia, baja la velocidad del buque al disminuir el margen bajo la quilla y consecuentemente aumenta el factor de bloqueo. Si la velocidad es cero el efecto desaparece.

La explicación de este fenómeno es la siguiente: El agua empujada por el buque cuando inicia su avance retorna por los costados hacia la popa y por debajo del casco llenando el vacío que produce el desplazamiento a lo largo del canal.

Al navegar en aguas de poca profundidad los "filetes" de agua se aceleran en la zona circundante al casco, lo que origina una disminución de la presión y por tanto un descenso o acercamiento de la quilla al fondo.

Las formas del casco alternan el efecto: los buques con coeficiente de bloque próximo a 1 (formas más llenas) tienden a hundir más su proa mientras que los de formas afinadas tienden a hundir la popa. Otra consecuencia de este fenómeno es el aumento del tamaño de la ola formada por el avance del buque. La aparición en proa de un "bigote" u ola de proa más significativa es un claro indicio de haber ingresado en aguas poco profundas.

2.3. Fórmula de cálculo del Squat

$h = \frac{V^2}{100} \cdot C_b$ Navegación en aguas poco profundas
abiertas.

$h = \frac{V^2}{50} \cdot C_b$ Navegación en aguas poco profundas restringidas
(Canales). Donde:

h: es el valor en metros del
efecto squat.

V: es la velocidad de buque
en nudos.

C_b : es el coeficiente de block
o bloque.

Por lo que se desprende que el efecto de "aumento de calado" es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad y al coeficiente de bloque. Esta fórmula fue obtenida por el *Doctor C.B. Barrass, del Dept. of Maritime Studies, del Liverpool Polytechnic*, como resultado del análisis de



300 casos en laboratorio con modelos a escala y otros de la práctica real. Esta fórmula es la primera que mide en metros el efecto squat y apareció por primera vez publicada en 1.979 en “Applied Mechanics Reviews Vol. 33” sin ser la única fórmula que existe en la actualidad.



El squat es entonces el incremento adicional de calado de un buque (d_t) en relación con el nivel estático del agua, producido por el movimiento del barco a una velocidad determinada.

La navegación de un buque en aguas tranquilas ocasiona una velocidad relativa entre el buque y el agua. Esta diferencia de velocidades altera la distribución de presiones hidrodinámicas alrededor del buque generando los siguientes efectos:

Un descenso del nivel del agua, que es variable a lo largo de la eslora del buque.

Una fuerza vertical descendente actuando sobre el casco del buque y un momento con relación al eje horizontal transversal, que ocasionan un desplazamiento del buque en su plano longitudinal de simetría, que se compone por tanto de dos movimientos:

A- Una traslación vertical descendente uniforme.

B- Un giro sobre el eje horizontal transversal.

El trimado o Squat dinámico es la combinación de ambos efectos (descenso del nivel del agua y los dos movimientos) que producen variaciones del calado del buque de distinto valor a lo largo de su eslora. Habitualmente se denomina trimado dinámico al valor máximo del sobre calado, que puede producirse en la proa o en la popa del barco según el tipo de embarcación, presentándose generalmente en la proa para la mayoría de los barcos comerciales.

Dado que el trimado dinámico es función de la velocidad relativa del agua con respecto al buque, su valor depende principalmente de las dimensiones geométricas de la zona en que navega el barco. Las fórmulas que permiten calcular el valor del squat están determinadas generalmente para navegación en aguas poco profundas sin restricciones laterales, de las que se han deducido generalizaciones aplicables para navegación en canales sumergidos y en canales convencionales (ver fig. 8), que cubren la totalidad de los supuestos de interés para las Áreas de Flotación que se analizan en esta recomendación. La navegación en aguas canalizadas resulta afectada fundamentalmente por la velocidad de retorno del agua, dependiendo así de la relación entre la sección transversal principal de la obra viva del buque (A_b) y la sección transversal del canal (A_c); para canales sumergidos se considera como sección transversal del canal (A_c) la superficie equivalente configurada por la prolongación de los taludes de los cajeros hasta la superficie del agua.



La determinación del trimado dinámico puede calcularse mediante la fórmula de Huuska/Guliev/Icorels, que tiene la expresión siguiente:

$$d_I = 2,4 \cdot \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \cdot \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \cdot K_s$$

En donde:

d_I : Valor máximo del trimado dinámico (m)

∇ : Volumen del desplazamiento del buque (m³)

L_{pp} : *Eslora* entre perpendiculares del buque (m)

La resistencia hidrodinámica al movimiento de un buque depende de este Número de Froude. Cuando F_{nh} se aproxima a 1.00 la resistencia al desplazamiento alcanza valores muy elevados, que la mayoría de los buques no pueden superar con la potencia instalada; de hecho todos los buques, salvo casos especiales de embarcaciones rápidas, navegan a velocidades que no ocasionan valores de F_{nh} en exceso de 0,60/0,70 (petroleros y portacontenedores respectivamente), cifras que resultan ser barreras efectivas de la velocidad del buque. En consecuencia y simultáneamente con el estudio de los requerimientos de calado, deberá comprobarse que los números de Froude resultantes, son compatibles con las condiciones del caso.

V_r = Velocidad relativa del buque con respecto al agua, excluidos efectos locales (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

h = Profundidad del agua en reposo, excluidos efectos locales (m)

K_s = Coeficiente adimensional de corrección para canales sumergidos o convencionales, (para zonas sin restricciones laterales se tomará $K_s = 1.00$). Para su determinación se emplearán las expresiones siguientes:

$$K_s = 7,45 * s_1 + 0,76 \quad \text{Para } s_1 > 0,032$$

$$K_s = 1,00 \quad \text{Para } s_1 \leq 0,032$$

$$S_1 = \frac{A_b}{A_c} = \frac{1}{K_1}$$



A_b = Área de la sección transversal principal de la obra viva del buque (m^2) $\approx 0,98 * B * D$ para buques comerciales

B = Manga del buque (m)

D = Calado del buque (m)

A_c = Área de la sección transversal del canal situado por debajo del nivel de agua en reposo (m^2). Para canales sumergidos se considerará la superficie equivalente configurada por la prolongación de los taludes de los cajeros hasta la superficie de agua.

K_1 = Factor de corrección, función de A_b/A_c y de h_z/h

h_z = Profundidad de la zanja dragada referida al nivel medio del fondo (m). Ver fig. 8.

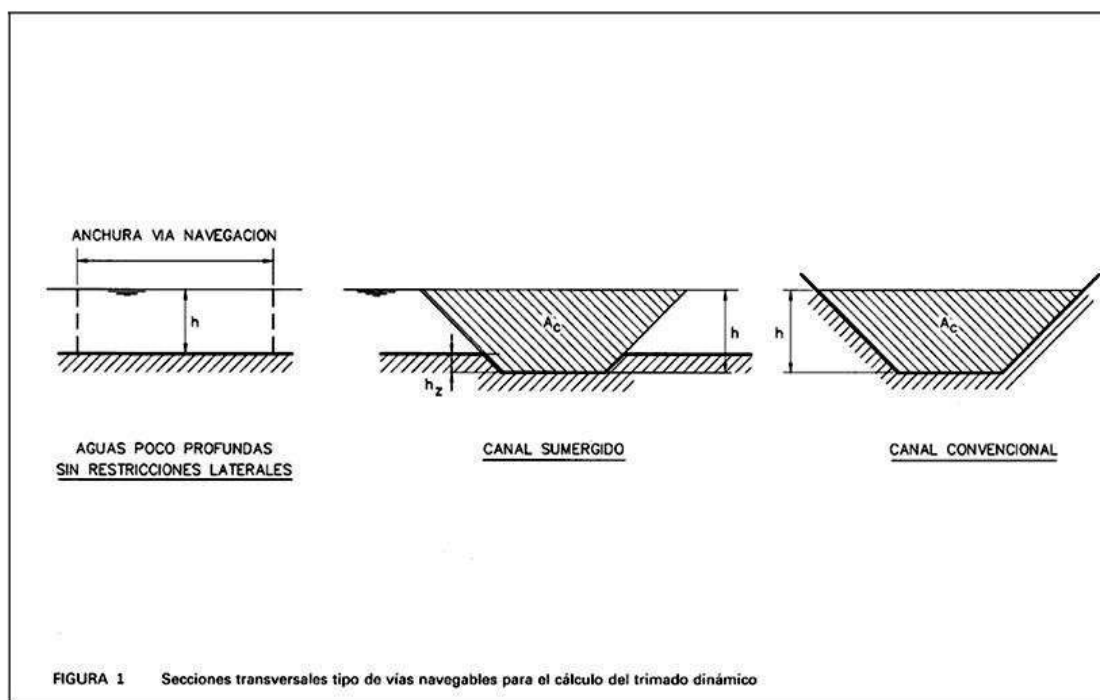


Figura 8

(Imagen tomada del Blog de Harry González Mayor, complementario a la cátedra “Estabilidad del Buque I” Facultades de Ingeniería Marítima y Náutica de la Universidad Marítima del Caribe)

Para la determinación de la velocidad Vr del buque con respecto al agua que interviene en la formulación anterior, se deberá considerar, además de la limitación ya expuesta al analizar el número de Froude, las restricciones que provengan de las normas de operación del Área de Flotación o Navegación que se considere.



Para la determinación de calados en fase de proyecto se considerarán los valores máximos de la velocidad que fijen las citadas normas de operación, o que se establezcan precisamente a consecuencia del proyecto que se realice; en el supuesto de que estas normas consideren velocidades diferentes según tipos y dimensiones de los buques será necesario analizar los supuestos más desfavorables.

A falta de criterios específicos al respecto se recomienda adoptar valores máximos de la velocidad absoluta de los buques “V” dentro de los márgenes siguientes, sin que en ningún caso resulten números de Froude mayores de 0.70 (Ver Cuadro 2 y 3)

	Velocidad absoluta del buque “V”	
	m/s	≈ nudos
- Áreas exteriores		
• Navegación por vías de aproximación.		
Largas ($\geq 50 L_{pp}$)	4-7,5	8-15
Cortas ($< 50 L_{pp}$)	4-6	8-12
• Navegación de acceso a fondeaderos	1-1,5	2-3
• Navegación por canales de acceso	3,5	6-10

Cuadro 2

(Cuadros 2 y 3 tomados del Blog de Harry González Mayor, complementario a la cátedra “Estabilidad del Buque I” Facultades de Ingeniería Marítima y Náutica de la Universidad Marítima del Caribe)

	Velocidad absoluta del buque “V”	
	m/s	≈ nudos
Navegación de acceso a áreas de maniobra	2-3	4-6
• Navegación de acceso a áreas de atraque.	1-1,15	2-3
- Cruce de bocanas de puertos	2-4	4-8
- Áreas interiores		
• Navegación de acceso a fondeaderos	1-1,15	2-3
• Navegación por canales	3-5	6-10
• Navegación de acceso a áreas de maniobras	2-3	4-6
• Navegación de acceso a dársenas, muelles y atraques	1-1,15	2-3

Cuadro 3



Todas estas velocidades recomendadas corresponden a la navegación que se define en cada uno de los epígrafes, por lo que será necesario considerar todos los supuestos que puedan presentarse en cada caso para hacer un estudio correcto (p.e. la navegación de buques por un canal puede corresponder no sólo a embarcaciones en tránsito hacia áreas interiores, sino también hacia atraques que estén emplazados en el mismo canal).

Se hace notar que estas velocidades recomendadas son absolutas “ V ”, mientras que la velocidad “ V ” que interviene en la formulación es la velocidad relativa del buque con respecto al agua, por lo que será necesario tomar en consideración la velocidad del agua en el supuesto de que existan corrientes fluviales, de marea, etc.

Para la navegación que se efectúe en la fase final de las maniobras de aproximación y atraque, o a comienzo de las de salida, en las que la velocidad es inferior a 1 m/s y suele efectuarse con ayudas de remolcadores, puede considerarse que el efecto del squat es despreciable.

La fórmula de cálculo del trimado dinámico recogida anteriormente no toma en consideración todas las circunstancias que pueden presentarse, al no disponerse actualmente de estudios globales que cubran todos los aspectos, por lo que se recomienda su utilización tanto para estudios determinísticos como semi - probabilísticos. Las circunstancias más habituales que suelen presentarse y que no están cubiertas por la formulación, son las siguientes:

Adelantamiento y cruce de buques. El flujo de agua alrededor del buque resulta afectado modificándose el trimado dinámico, cuyo valor puede incrementarse hasta el 50-100%. Si el adelantamiento o cruce de buques es ocasional se recurre normalmente a reducir la velocidad de los buques para no aumentar los requerimientos de calado. Si estas maniobras fueren habituales deberá considerarse un incremento del trimado dinámico.

Navegación descentrada. El movimiento de un buque fuera del eje de un canal y la proximidad a un talud modifica el régimen hidráulico del agua alrededor del barco aumentando el trimado dinámico. El efecto es despreciable si la distancia de los taludes es mayor de 2 ó 3 mangas del buque (dependiendo del Número de Froude: a mayor Número de Froude se requiere mayor separación). Análogamente al caso



anterior, si el descentramiento es ocasional se recurre normalmente a reducir la velocidad del buque, precisándose efectuar estudios de mayor detalle si las maniobras son habituales.

Configuración geométrica del fondo. El procedimiento de cálculo descrito anteriormente presupone que la profundidad de agua disponible y la velocidad del barco permanecen constantes. Si la profundidad de agua disminuye progresivamente, como sucede habitualmente al acercarse a puerto, aumenta la resistencia del agua, disminuye la velocidad del buque y se reduce el fenómeno de trimado dinámico. Sin embargo, si se produce una disminución rápida de la profundidad de agua y el buque entra navegando a velocidades elevadas en esta zona, el trimado dinámico aumenta significativamente produciéndose vibraciones violentas. En estos casos se recomienda reducir la velocidad del buque de manera que el número de Froude no supere el valor de 0,50.

Fondos fangosos. La presencia de una capa de fangos fluidificados en el fondo produce en general disminuciones del trimado dinámico debido a variaciones en el régimen hidráulico del flujo alrededor del barco y a la variación de las condiciones de flotabilidad. Excepcionalmente pueden presentarse mayores valores del trimado dinámico en caso de que el barco se desplace a través de fangos muy poco densos y en el supuesto de que la velocidad de navegación supere los 4 m/s (≈ 8 nudos).

Navegación en curva o con ángulo de deriva. En la actualidad no se conocen investigaciones que permitan cuantificar la transcendencia de estos supuestos. A efectos prácticos se mantendrá el cálculo para navegación en tramos rectos sin ángulo de deriva, recurriéndose a disminuir la velocidad del buque en el supuesto de que el trimado dinámico fuese más desfavorable.



3. APLICACIONES EN EL PRACTICAJE

El practicaaje en sí mismo es un proceso que involucra subprocesos todos concebidos dentro del marco de la seguridad, el conocimiento y la experiencia. Ningún eslabón puede estar comprometido, porque una falla puede ocasionar pérdida de vidas, de mercancías, de dinero y podrían paralizar la actividad portuaria con el consiguiente perjuicio para la actividad económica de un puerto e inclusive un país.

La aplicación directa en el practicaaje para evitar una varada o accidente debido al efecto squat es principalmente la capacitación técnica del Piloto Práctico, sin descuidar las recomendaciones que deben observar todos los implicados en los procesos del mantenimiento del dragado de los puertos (los que necesiten este mantenimiento), las condiciones climáticas, el tipo de embarcación, las medidas de seguridad y la experiencia y pericia del Piloto práctico.

Nos compete entonces todo un compromiso personal, empresarial e institucional; es decir integral para observar que las recomendaciones que se exponen en pro de una adecuada maniobra, no afecten de manera negativa nuestro trabajo y se mantengan altos estándares en la operación de nuestros puertos. La aplicación en el practicaaje del efecto squat se debe traducir en las recomendaciones y procedimientos para reducir el efecto, que garantizarán una maniobra segura.

Procedimientos para reducir el Squat. (Giraldoni, E. 2009) traducción libre.

3.1. 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 Cb 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 en modelos en escala se han confirmado que incrementando la relación profundidad/calado se alcanzan menores valores de squat.

3.2. Navegar dentro de lo posible, en aguas lo más profundas que sea posible.

3.3. Dentro de lo posible físicamente, evitar los efectos de la interacción navegando lo más alejado de buques en movimiento o de veriles o bancos.



3.4. 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)

3.5. Instruir a investigadores, capitanes, primeros oficiales y prácticos sobre el fenómeno y los riesgos que el mismo implica.

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

3.7. Reducir al mínimo las maniobras con condiciones climáticas adversas.

4. EXPERIENCIAS

Con la puesta en práctica de la resolución A.601 de la I.M.O. la administración debe exigir que: los buques de nueva construcción con obligación de cumplir el convenio SOLAS'74, y que son todos los buques de más de 100 m de eslora y todos los gaseros y quimiqueros incluso de menores dimensiones, lleven a bordo un manual de maniobra, que incluye las características de maniobra del buque en aguas someras, con determinación específica de las curvas de squat en aguas someras y en canales restringidos. Por todo ello tiene especial importancia una adecuada predicción de dichos valores que deben ser mantenidos al día si el buque sufre algún tipo de modificación que altere sus características de maniobra. Haciendo mayor énfasis en la importancia del fenómeno, este ha sido factor clave en algunos accidentes, como el caso del hundimiento del ferry “Herald of Enterprise”, en el que la aparición de squat facilitó la entrada de agua por los portales mal cerrados, y en otros como el del Queen Elizabeth 2, Sea Empress, European Gateway y Diamond Grace, con considerables costos económicos y lo que resulta más grave, elevados costos en la pérdida de vidas humanas y daños ecológicos.

Se evidencian a continuación algunos incidentes famosos y citaremos tres de las experiencias más relevantes de la historia reciente sobre accidentes de buques reconocidos y otros tristemente célebres por las vidas perdidas al naufragar. Todos los casos están ligados al efecto squat en mayor o menor incidencia. Hemos dejado links de acceso a la información completa con el fin de no hacer demasiado extenso este texto y para los que tengan mayor interés puedan encontrar artículos varios sobre cada uno de los casos citados.



4.1. Caso del Ever Given (Copiar enlace en el navegador de preferencia)

https://cecoldodigital.dimar.mil.co/2870/1/dimar_2021_Paismares_11_72-79.pdf

<https://www.nytimes.com/es/2021/07/19/espanol/canal-suez-evergiven.html?smid=url-share>

4.2. Caso del hundimiento del ferry “Herald of Free Enterprise”

<https://exponav.org/blog/puertos-y-buques/el-efecto-squat-y-el-hundimiento-del-herald-of-free-enterprise/>

El efecto Squat y el hundimiento del “Herald of Free Enterprise” (Villa Caro 2015)

4.3. Caso de la varada del Queen Elizabeth II

<https://riull.ull.es> (copiar enlace en navegador de preferencia)

Varadas involuntarias, Squat and bank effect (Chillon Garcia 2019) pag. 46.

5. CONCLUSIONES

Si bien es cierto que el Squat es un fenómeno calculable y medible, existen variables que afectan el cálculo definitivo comparado con el resultado real. Lo importante como se ha venido planteando a lo largo de este documento, es que la experiencia y el conocimiento de quien realiza la maniobra tenga en consideración múltiples aspectos. El control al mantener una baja velocidad es fundamental para evitar el incremento del Squat cuando se transita en canales restringidos; sin embargo como en el caso del “Herald of Free Enterprise” el efecto Squat sumado a un mal cierre de las compuertas ocasionaron un accidente debido principalmente a la velocidad que llevaba la embarcación cuando empezó a inundarse.

Los costos en pérdidas de vidas humanas, de mercancías, de la misma embarcación y la obstrucción de puertos y canales por no tener en cuenta el efecto Squat son altísimos. Por ello es necesario que en las labores de practica todo el equipo en puerto, la tripulación, los responsables de dragado y de mantenimiento de canales y en especial el Piloto práctico, estén familiarizados con las variables que afecten los cálculos matemáticos e induzcan a un error con las consecuencias antes mencionadas. No hay nada más importante que la capacitación sumada a la experiencia, sean observadas con detalle; y es allí donde se hace necesario responsabilizar a las organizaciones que asocian a los Pilotos Prácticos en generar espacios para impartir teoría, y conocimientos prácticos de la mano de personal experimentado en campo.



6. ANEXOS

Es importante aclarar que las figuras explicativas disponibles en varios documentos son de baja calidad y por ello hemos recurrido a las disponibles en blog “Foro Naval”. Foro Naval es una Asociación Cultural, integrada por personas interesadas en diversas actividades relacionadas con el mundo naval en general. La entidad Foro Naval se halla inscrita en el Grupo 1, Sección 1, Nº Nacional 595406 de la Subdirección General de Estudios y Relaciones Institucionales de la Secretaría General Técnica del Ministerio del Interior de España y por el amplio material didáctico fotográfico y gráficos disponibles, hemos utilizado algunas de sus imágenes en este documento, dando el respectivo reconocimiento.

7. BIBLIOGRAFIA.

ANCLADEMIA, 2021 Escola Náutica, Barcelona.

Longa, J. 2021. Boletín 2 ANPRA Squat realidad y ficción – El Pilotaje y su Normativa

Bach, Claudio. 1977. Navegación en canales y aguas restringidas,

en Revista del Instituto Argentino de Navegación No 3, Buenos Aires 1994.

Barras, C. 1977. Ship Squat Manual

1979. The phenomena of ship squat. Dept. of Maritime Studies, Liverpool Polytech
England.

1984. Reduction of ship speed and propeller when vessels are in shallow waters

2004. Squat – Workshop United Kingdom

Berenguer, I.- Iribarren, J. – Lopez, C – Herreros, M. – Souto, A.

2002. "Transportes e Industrias Marítimas Especiales y de Dragado"

XXL Sesiones técnicas de ingeniería naval “Estudio de generación de oleaje por el
Buque en la ría de Sevilla”.

Chillón García J, 2019 Varadas involuntarias, Squat and bank effect, Universidad de Laguna
Santa Cruz de Tenerife

ForoNaval© 12/07/2021

26/08/2021

Gilardoni, E. 1999. Maniobra de un buque mono hélice de paso controlable en aguas restringidas,
en Centro de Capitanes de Ultramar y Oficiales de la Marina Mercante, Buenos Aires



2006. Manejo del buque en aguas restringidas, Buenos Aires

Gilardoni, E. 2009. 3rd. Nautical aspects of ship dynamics.

Actualización 3rd Squat WorkShop. University of applied sciences, Elsfleth

Gonzalez, H. 2012 Blog complementario a la cátedra “Estabilidad del Buque I”
Facultades de

Ingeniería Marítima y Náutica de la Universidad Marítima del Caribe

Hensen, H.1997. Tug use in port, a practical guide

Herreros Sierra – Zamora Rodríguez – Perez Rojas, 2016 El fenómeno Squat en
áreas de profundidad variable y limitada (I) Universidad Politécnica de
Madrid

Journal of Maritime Research (JMR) 2022 “Squat and Bank effect as a
consequence of unintentional grounding of vessels: Study of cases”

Villa Caro R, 2015. Fundación Exponav “El efecto squat y el hundimiento del Herald of free
Enterprise”

Watt, A. 1970. Vessel performance in confined and restricted channels of St. Lawrence
River

Otawa..

INSTRUCCIONES TÉCNICAS DE PRACTICAJE
ASOCIACIÓN NACIONAL DE PILOTOS PRÁCTICOS DE COLOMBIA
ITP 020

SECRETOS DEL TRIMADO DINAMICO O EFECTO SQUAD

Bogotá, mayo de 2023

Bogotá:

Tequendama Suites. Carrera 10 #27 - 51, Oficina 2803.

Barranquilla:

Centro Empresarial Torres del Atlántico. Carrera 57 #99a - 65.

Buenaventura:

Edificio Nápoles. Carrera 1° #2A - 19, Piso 2.

Edificio Pacific Trade Center. Carrera 3 #7 - 32, Piso 20, Oficina 2003.

Santa Marta:

Carrera 2 #170 - 276. Km 14 Vía SMR - CIÉNAGA detrás EDS Don Jaca.

Troncal del Caribe, Carretera 90 #Km 9 - 350, Sector Bomba Zuca.

Turbo:

Carrera 12 #96A - 45.

 **ANPRA Colombia**

anpracolombia.org

anpra2011@yahoo.com
infoanpra@yahoo.com.co

#ConProaAlFuturo



ASOCIACIÓN NACIONAL DE
PILOTOS PRÁCTICOS DE COLOMBIA