

# El Arte de Fondear

Análisis de Movimientos, Capacidad de Agarre y Condiciones para Garrear de un Ancla Fondeada.

Objetivos del “Plan de Fondeo” y, Estudio de Viabilidad del Método de Fondeo “U-Turn”.



Capt. SEBASTIÁN ROJO GARCÍA  
(Práctico de Garrucha & Carboneras)

## IMPORTANCIA DEL ARTE DE FONDEAR

A pesar de las importantes modificaciones sufridas por los buques, no ha disminuido un ápice la importancia de la maniobra que los antiguos marinos llamaban “*arte de fondear*”. Los buques aumentan de tonelaje y tamaño constantemente, pero también aumenta la potencia y seguridad de sus propulsores y sus equipos de gobierno, por lo que, aún mayores deben ser las precauciones a tomar cuando sus grandes masas se dejen confiadas únicamente al ancla y su cadena. Aún más que en el pasado, puede afirmarse que hoy día es importante y necesario aplicar la técnica y el sentido común para dominar el “*arte del bien fondear*”.

La maniobra de fondear está asociada a la intencionalidad de alcanzar una inmovilización estática del buque respecto al fondo, sin necesidad de utilizar los equipos de propulsión y gobierno, con la finalidad de evitar que sea arrastrado por la acción del viento, mar, o corriente<sup>1</sup>. Esta maniobra la realiza el capitán previa elección de un fondeadero seguro<sup>2</sup>, situando el punto exacto de fondeo sobre la carta náutica, seleccionando el rumbo de aproximación en función de la costa, los bajos y densidad de buques, reduciendo la arrancada de forma progresiva hasta alcanzar la posición seleccionada y posterior parada del buque, utilizando el equipo de fondeo para dejar caer el ancla y filar la cadena suficiente y nece-



Fig. 1 – Fondeadero de Petrobras floating oil terminal (Brasil).-  
Fuente: <http://www.telegraph.co.uk>

saria para que las uñas penetren y agarren debidamente, estableciendo un radio de borneo donde se considere la distancia a tierra, a otros buques y a las aguas poco profundas, que puedan poner al buque en peligro una vez que haya fondeado, al variar la dirección del viento, mar o corriente. Además, el capitán debe sopesar los llamados parámetros variables que afectan a todo buque fondeado: naturaleza y profundidad del fondo, agentes meteorológicos, características del molinete y sus ferodos, el ancla, la cadena, etc.

De los elementos que intervienen en la maniobra de fondeo, los hay móviles, como son las anclas y las cadenas, y otros fijos, que enume-

rados de fuera adentro tenemos: regla y tubo del escoben, estopor, trinca de mar, molinete, barbotén, gatera, bocina y caja de cadenas. Las Sociedades de Clasificación, disponen de fórmulas empíricas para calcular el Numeral de Equipo, a partir del cual, se le señala a cada buque, el número de anclas, peso de las mismas, diámetro de cadena y longitud, calidad del acero, carga de rotura, etc., que debe llevar.

A finales de los años sesenta, la International Association of Classification Societies (IACS) echó por tierra todas las normas que se utilizaban con referencia al equipo de fondeo, pues solo se exigía que este aguantara con firmeza a los buques, hasta con fuertes vientos,

1.- El capitán A. Bonilla de la Corte, especifica que la inmovilización de un buque puede conseguirse de dos formas: a) utilizando los cabos de amarre en el muelle y, b) haciéndolo firme al fondo mediante el proceso de hincar el ancla en el mismo (inmovilización fuera del muelle).

2.- Se denomina fondeadero a la zona en la que los buques fondean sus anclas a la espera de poder entrar en la parte de puerto destinada a realizar las operaciones portuarias, lo que no excluye que frecuentemente estas operaciones se lleven a cabo también en los fondeaderos.



en fondeaderos abrigados o semia-brigados, basándose para ello únicamente en el peso del ancla y el diámetro de la cadena, dejando el resto de componentes del equipo de fondeo a la improvisación de armadores y astilleros. Con la llegada de los petroleros tipo VLCC y los ULCC hubo que replantearse toda la norma hasta entonces vigente en esta materia ya que los pesos y magnitudes que correspondían a estos buques, bajo dicha norma, hacían impracticable el manejo con seguridad de las anclas originando numerosos accidentes. Todo esto hizo pensar a la IACS en la necesidad de adecuar dicho equipo a las nuevas construcciones teniendo presente las fuerzas dinámicas existentes y la relación entre el peso muerto del buque y el diámetro de la cadena, llegándose a la conclusión de que no era seguro sobredimensionar solo uno de los elementos pues automáticamente el fallo vendría por avería o rotura de alguno de los elementos más débiles.

Aunque el ancla en si es, por lo general, grande en tamaño y peso, siempre sorprende ver como un ancla de once toneladas puede sujetar con seguridad a un buque de 185.000 toneladas o más. Sin embargo, el hecho de que un ancla haga buena presa depende más del modo como ha sido fondeada que de su tamaño y peso, únicamente así puede comprenderse que sea capaz de aguantar a buques cuyos desplazamiento son miles de veces mayor que su peso. A título orientativo puede cifrarse el poder de agarrar entre 3 y 10 veces su peso, en condiciones de tracción paralela al fondo y en un buen tenedero.

El diseño y construcción de anclas se fundamentaba en la experiencia práctica del propio fabricante, es más, hasta la década de los setenta era un proceso eminentemente empírico, tenía mucho más de arte que de ciencia. Actualmente, la ciencia y la tecnología se han convertido en unos factores importantes complementándose con la experiencia del fabricante. El diseño del ancla debe ser proyectado y fabricado para ofrecer una resistencia mecánica óptima y poder cumplir con las reglas y los requisitos de

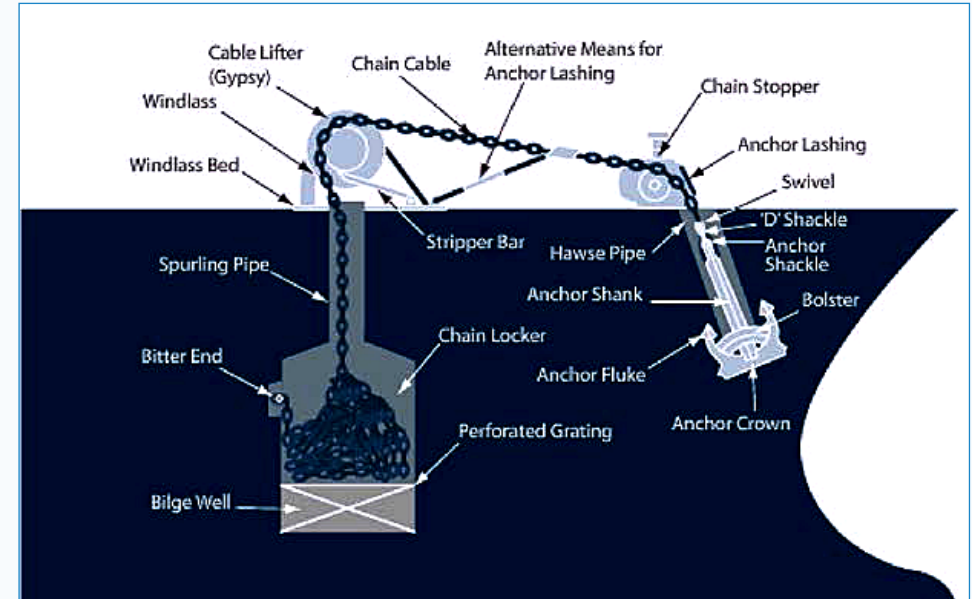


Fig. 2 – Componentes típicos de una instalación de fondeo de un buque.-  
Fuente: “Anchoring Systems and Procedures” OCIMF, 1ª edición 2010

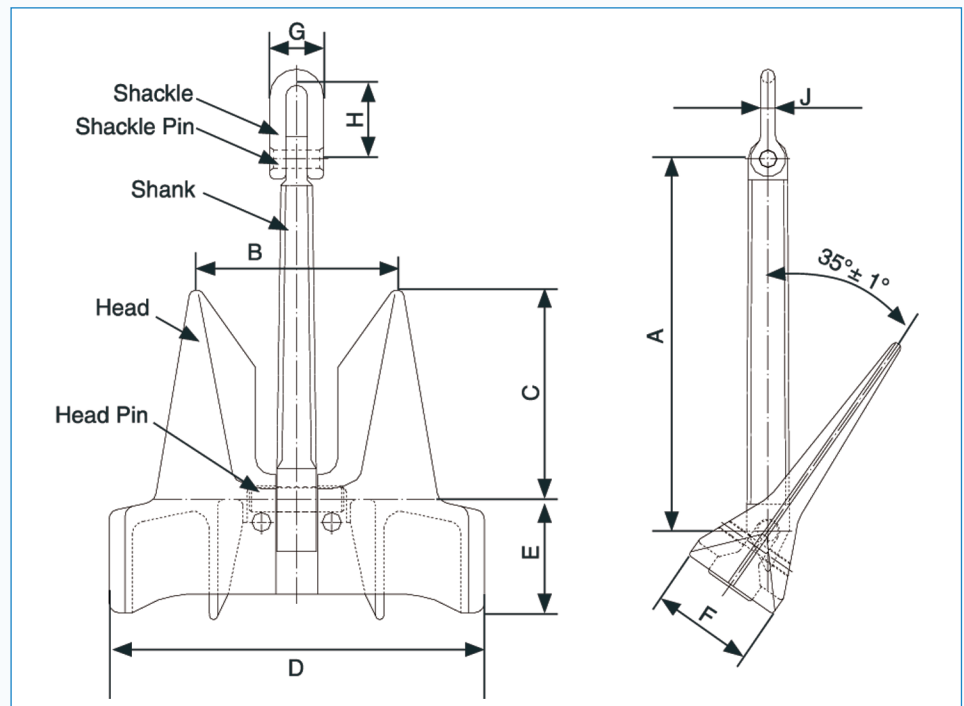


Fig. 3 – Ancla tipo AC-14 (HHP) con alto poder de agarre.-  
Fuente: www.Vryhof.com (anchor manual 2010).

las Sociedades de Clasificación. La modernización dinámica de formas se ha convertido en un aspecto muy importante para optimizar su poder de penetración y agarre. Destacamos que hoy día y fundamentado en los resultados de pruebas de campo como de laboratorio, se comprende mucho mejor el comportamiento del ancla una vez que descansa sobre el lecho del fondeadero.

En la actualidad los buques están equipados con anclas sin cepo, de patente o tragadero, con brazos

articulados que pueden girar de 30 a 35° diseñados para morder el fondo con sus uñas enterrándose profundamente en él, siendo sus partes más importantes, la cruz con las uñas que forma la cabeza del ancla (cuyo peso, incluidos los pasadores de seguridad, no será menor del 60% del peso total del ancla) a la que se le une la caña con el arganeo y su pasador de seguridad correspondiente. El ancla que actualmente se está instalando es la japonesa “AC-14 HHP” cuyos brazos articulados pueden formar

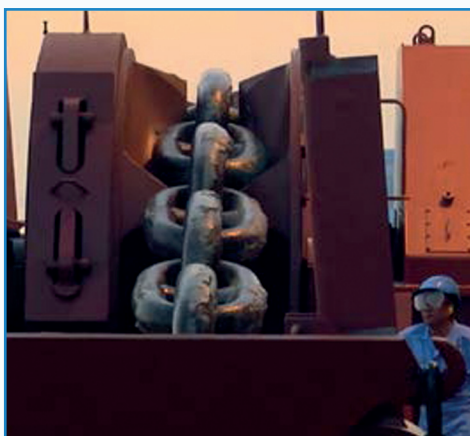


Fig. 4 – Diferentes vistas del molinete, barboten, escoben, sistema de limpieza de cadena.-  
Fuente: <http://www.marinewiki.org> & [www.universoarancelario.com](http://www.universoarancelario.com).

un ángulo de  $35^{\circ} \pm 1^{\circ}$  a cada lado con respecto a la caña. Estas anclas además ofrecen ventajas asociadas con su facilidad de estiba y manejo, ahorro de peso y eficiencia.

La cadena está formada por eslabones de forma elíptica reforzados por una pieza empotrada en ellos llamada contrete que los fortalece contra la deformación por tracción<sup>3</sup>. El largo de las cadenas se miden por ramales o paños empalmados por grilletes de unión o de patente tipo Kenter, cada largo cuenta con 27,5 metros (a esta longitud se le denomina grillete). El largo total de cadena oscila entre 9 y 28 grilletes (VLCC), dependiendo del numeral de equipo de buque. El diámetro oscila desde 14 a 132 mm en acero dulce, desde 12,5 a 152 mm en acero especial y, desde 40 a 132 mm en acero extra-especial. La cadena, por su extremo exterior, va firme al ancla mediante un pasador que se denomina “arganeo” y por su otro extremo se une al buque por la “malla” (situada en la parte alta de la caja de cadenas) de forma que ofrezca solidez y resistencia, al tiempo que también sea accesible. Es fundamental estar familiarizado con el mecanismo utilizado para fijar la cadena al buque dentro de la caja de cadenas<sup>4</sup> y mantenerlo bien lubricado, libre de obstrucción y correctamente marcado e identi-

cado, ya que puede surgir la necesidad urgente e inesperada de tener que largar toda la cadena por ojo; buscar y encontrar el chicote de cadena fijo a la malla en una emergencia no está relacionado con la seguridad del buque.

La cadena es un elemento que no solo sirve como unión entre el buque y el ancla, sino que por su peso actúa como amortiguador mejorando las posibilidades de aguantar al buque en su posición de fondeo manteniéndolo inmóvil; el efecto que origina la cadena se corresponde con la dirección en la que trabaja y al lugar donde se aplica la fuerza, el escobén del buque. La cadena que está sembrada por el lecho del tenedero aporta un poder de agarre adicional que se añade a la capacidad de presa del ancla. Para conocer en cualquier instante la cantidad de cadena que hay filada, se pintan de rojo los grillete de unión y a partir del mismo sus eslabones extremos se pintan de blanco tantos como el número de grillete que represente.

El estopor, que va instalado firme al castillo, entre el molinete y la tapa del escobén, tiene por misión trincar a la cadena entre dos eslabones consecutivos (en distinto plano por construcción) mediante una barra que se sitúa entre ellos, tro-

pezando en ella el eslabón de canto (situado verticalmente). Su fin es que la tracción de la cadena no se haga directamente sobre el barboten del molinete, cuando el buque esta fondeado.

#### PELIGROS ASOCIADOS CON LA MANIOBRA DE FONDEAR

Recientemente, los P&I han descubierto un incremento significativo en el número de accidentes en los que están involucrados anclas enredadas con cadenas, anclas y/o cadenas perdidas, garreo de anclas, etc., desembocando en derivas, colisiones con otros buques fondeados, varadas y embarrancadas, que pueden provocar un importante incidente ecológico causado como resultado de errores cometidos durante las maniobras asociadas con los fondeaderos. En dos años y medio, un conocido P&I recibió un total de 40 reclamaciones donde el fondeo fue la principal causa aportada (15 pérdidas de ancla, 8 colisiones por maniobras de fondeo o garreo de anclas, 4 varadas como resultado de estar mal fondeados, 5 ataques piratas en fondeaderos, 6 cadenas enredadas, 1 incidente de contaminación y una pérdida total). En particular, la mayoría de ellos se han producido por no controlar la velocidad de salida de la

3.- El uso del contrete, permite un menor diámetro en la cabilla de acero que forma el eslabón, haciéndolo menos pesado y la cadena más manejable. También parece ser que el contrete, o bien evita, o desde luego reduce que la cadena al salir desde la caja de cadenas tome vueltas que le impidan ser arrastrada por el peso del ancla. Desde luego el contrete rigidiza la cadena lo suficiente para permitir su maniobra.

4.- La caja de cadenas está situada a proa del mamparo de colisión y dentro de la zona del pique de proa, su parámetro básico es la altura, el resto de las medidas es el suficiente para que la cadena pueda ser estibada en su interior.



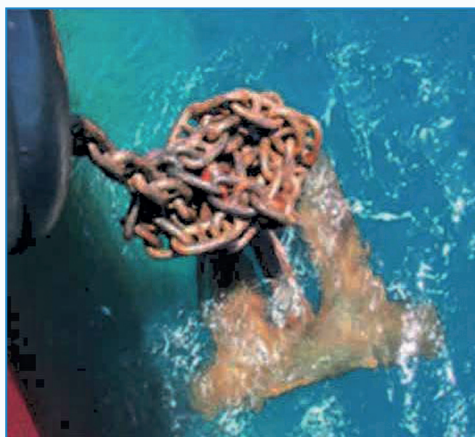


Fig. 5 – Diferentes problemas relacionados con la cadena y el ancla.-  
Fuente: Japan P&I Club; [www.ports.co.za/news](http://www.ports.co.za/news)

cadena, esto es, freno abierto en banda al fondear el ancla, cuando lo correcto sería fondear con el molinete engranado o sobre freno controlado siempre que el ferodo garantice esta delicada y equilibrada operación.

Un gran número de resultados obtenidos en pruebas reales, han demostrado que la velocidad de caída libre (sin frenar) del ancla alcanza los 10 m/s después de haber salido 50 metros de cadena; es decir, 330 metros (12 grilletes) podrían caer totalmente en 33 segundos. De acuerdo con los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en los accidentes con anclas y cadenas, la mayoría de los capitanes y oficiales que estuvieron involucrados en los mismos declararon que el freno no trabajó bien. Las investigaciones realizadas sobre este asunto, establecieron que todas las causas estaban relacionadas con ejes de frenos torcidos, ferodos gastados y/o falta de mantenimiento. Por ello, la tripulación no fue capaz de aplicar debidamente la fuerza del freno.

Todos estos incidentes han desembocado en pérdida de vidas, frecuentes lesiones, contaminaciones y unos costes que ascienden a decenas de millones de euros. Delicadísimo asunto de interés para los armadores y capitanes por igual, por tratarse de unos hechos desafortunados donde muchos de ellos han sido causados por marineros con poca experiencia y formación. Muy importante: la mayoría de incidentes notables han sido retransmitidos por las televisiones internacionales protagonizado las portadas de sus

noticias permitiendo una exposición publicitaria mundial. La aparición de los buques con grandes tonelaje, ha generado un aumento de estas preocupaciones, no solo por los costes y las consecuencias sino por el desafío que estos buques representan.

Ahora viene a colación, el refrán castizo y marinero que hemos utilizado la gran mayoría de los oficiales de puente cuando nuestros buques permanecían fondeados a ordenes: *“buque fondeado, dinero bien ganado”*. A partir de aquí, el refrán pierde toda su gracia e ironía, cuando por falta de atención o exceso de confianza durante las guardias de fondeo, surgen problemas relacionados con la estancia del ancla en el tenedero, bien por no estar correctamente fondeada, encontrarse sometida a tensiones importantes o afectada por un garreo descontrolado, causas que sin lugar a dudas pueden desembocar en un accidente de graves consecuencias para nuestro buque, otros buques, el medio ambiente marino, etc. Por ejemplo, la maniobra rutinaria de virar un ancla y su cadena, puede transformarse bruscamente en una actuación de emergencia que requiere experiencia y buen juicio.

Con todo lo escrito hasta aquí, nos podemos plantear la siguiente cuestión: ¿dónde empieza nuestro problema con las anclas? la respuesta es inmediata, en el justo instante en que desaparecen bajo la superficie de la mar, siendo imposible ver lo que ocurre después de perderlas de vista y menos observar su comportamiento como medida de preven-

ción. Como resulta que la seguridad del buque, la tripulación, la carga y del medio marino dependen del ancla, es importante obtener unos conocimientos más actualizados relacionados con su comportamiento, estabilidad, penetración y agarre. Sin olvidar que un buque fondeado a la gira, tiene muy limitada su capacidad de maniobra, igualmente sucede cuando su ancla está garrando. Ante una situación límite, la pérdida del ancla y su cadena, puede ser la solución a nuestros problemas evitando con ello un accidente mayor.

En referencia a lo indicado, tenemos los comentarios del Capitán J. L. Rodríguez Carrión: *“...las anclas, tírenlas siempre aunque sea encima del muelle...”*, el fin de esta interesante interpretación era justificar ante el seguro y el comité de investigación que el buque hizo uso de todos los medios disponibles para evitar el accidente, señalamos que el ancla es un recurso utilizable en caso de emergencias. Sin embargo, este comentario tiene su cara B, como los discos de vinilo, al navegar por estuarios y/o canales con un espacio libre bajo la quilla limitado al 10% del calado (más del 10% sería anticomercial y menos no seguro) fondear inmediatamente después de originarse un problema de control importante, que pueda desembocar en una varada, no es del todo practicable, preguntándonos de inmediato ¿por qué? la respuesta la podemos encontrar en el accidente del crucero *“Regent Estrella”* en mayo de 1990, que por un fallo en el gobierno fondeó sus anclas quedando varado en un banco de





Fig. 6 – MV TK Bremen varado en Kerminihy beach (Brittany-France).-  
Fuente:www.theatlantic.com

arena a 22 millas al Norte de Cape May (Delaware Bay), por la acción de la varada las anclas rasgaron su fondo, necesitando una operación de rescate muy costosa. Es cierto que el U.S. Coast Guard multará al capitán que aún tenga sus anclas en el escoben después de un accidente; sin embargo, en aguas poco profundas y con inercia avante, no debemos fondear pronto para evitar un accidente como el indicado. Concluyendo, debería haber fondeado después de varar. Esto es muy fácil decirlo, habría que haber estado allí para hacerlo.

La presión comercial sobre los atraques alrededor del mundo hace que continuamente los buques tengan que ir a fondear inesperadamente debido a cambios en la disponibilidad de los muelles o a condiciones meteorológicas adversas, permaneciendo fondeados en cualquier localización afectados o no de la mar, el viento y la corriente, durante cortos y largos periodos de tiempo, resultando esto agotador para las dotaciones, en especial para los buques de gran tonelaje donde se requiere máxima atención a la hora de fondear o virar con seguridad para no sufrir daños o causarlos a otros buques. Así pues, con tal conocimiento acumulado, siendo la maniobra de fondeo un proceso muy controlado y, realizándose con frecuencia ¿por qué los accidentes en los fondeaderos no son cosa del pasado?. La experiencia sugiere que todo capitán al mando de un

buque debería tener la suficiente experiencia, conocimiento acumulado y práctica para llevar a cabo la operación con total seguridad, pero no siempre sucede así, ¿es esto de hecho otro síntoma de la crisis de los tripulantes?, seguro que sí. El capitán elige el momento, la posición de fondeo, que ancla va a utilizar y la cantidad de cadena que se va a filar, la incertidumbre general sobre las condiciones reales del tenedero, incluso parcialmente revelada y marcada sobre la carta náutica, hacen que el capitán aplique un margen de seguridad apropiado en cada etapa de la maniobra de fondeo; el equipo utilizado es simple, visible y fácil de inspeccionar, mantener y examinar. Con frecuencia otro factor que contribuye en los incidentes en las maniobras de fondeo es el hecho de estar el buque en lastre, por ofrecer mucha más superficie velica.

#### PROCEDIMIENTOS PARA FONDEAR UN BUQUE CON SEGURIDAD

Fondear un buque con seguridad debería ser una operación sin complicaciones. Sin embargo y por pura lógica marinera, esta maniobra necesita de una correcta y adecuada planificación vinculada con un buen procedimiento donde se interrelacionen las acciones y medidas propias de la maniobra junto con un método de comprobación exacto y seguro asociado a unas

normas posteriores de vigilancia y mantenimiento de la posición que garanticen la estabilidad del fondeo y ayuden en la detección inmediata de riesgos. En otras palabras, es una operación de habilidad que requiere un análisis pormenorizado, trabajo en equipo y máquina atendida desde que el buque llega al fondeadero hasta el momento de virar el ancla. Las condiciones de seguridad de fondeo se ven perturbadas por la fuerza del viento sobre la obra muerta y la intensidad de la corriente sobre la carena, acrecentándose la posibilidad de garrear el ancla. El efecto del oleaje y la mar de fondo, aunque en menor medida, también es importante.

Ante la pregunta, ¿qué factores deben ser considerados para llevar a cabo un fondeo seguro? se puede responder que, además de los ya indicados, entran en juego unos aspectos muy significativos que son la planificación e información de la maniobra, el tipo de ancla, la condición de carga o lastre del buque, y la atención en las guardias de fondeo. Nos podemos preguntar también, ¿el buque realmente necesita fondear en condiciones meteorológicas adversas, fondeaderos congestionados, aguas profundas, o por razones de seguridad? en tales circunstancias podría ser más seguro quedarse al paio.

Por todo ello, la importancia de esta maniobra está íntimamente vinculada a la seguridad de la misma ya que es significativo tener muy claro que el conocimiento de, cómo fondear y los peligros que nos rodean cuando se está fondeado deben aprenderse en los años anteriores a ser nombrado capitán. Los armadores deben comprobar que tales conocimientos sean transferidos a los nuevos oficiales mediante un entrenamiento adecuado y correctamente estructurado. Sin olvidar que un buen marino se hace aprendiendo su trabajo a bordo mientras esté en la mar navegando. Todo ello, acarrea la necesidad imperiosa de revisar, actualizar y simplificar los procedimientos operacionales relacionados con esta maniobra con el fin de garantizar su seguridad reduciendo al máximo el riesgo de accidente.

Pues bien, ahora recordemos que el Código ISM<sup>5</sup> tiene como objetivo proporcionar una norma internacional sobre gestión para la seguridad operacional del buque y la prevención de la contaminación. Para lograrlo, las compañías deben elaborar procedimientos y directrices apropiadas para la preparación de los planes e instrucciones, incluidas las listas de comprobación que proceda, aplicables a las operaciones más importantes que se efectúen a bordo relacionadas con la seguridad del buque y la prevención de la contaminación, delimitando las distintas tareas a realizar, confiándolas a personal competente. Por esta razón podemos afirmar que, los procedimientos y las listas de comprobación existen para proporcionar instrucciones y cubrir todos los riesgos esperados, debiendo ser claros y preceptivos. Un procedimiento relacionado con la maniobra de fondeo deben incluir instrucciones para guiar sobre los puntos siguientes:

1) Facultar a los capitanes para tomar las decisiones de seguridad necesarias relacionadas con la presión comercial, los fondeaderos designados, las VTS y el asesoramiento de los prácticos. Así como la orientación y entrenamiento de los nuevos oficiales en las técnicas de entrada y/o salida de fondeo.

2) La elección, planificación y aproximación a un punto de fondeo con diferentes condiciones de visibilidad y climatología, la gestión del equipo del puente, la densidad de tráfico, las condiciones de seguridad en fondeaderos abarrotados con posible riesgo de colisión, las áreas de borneo y el agua bajo la quilla disponible en todo momento.

3) Como llevar a cabo la maniobra de acercamiento al punto de fondeo, manteniendo el buque proa al viento o corriente y orientando sobre las velocidades y distancias aplicables en esta fase hasta dejar al buque completamente parado.

4) Parámetros de seguridad a considerar cuando se prepare el buque para fondear, diferentes



Fig. 7 – Arriado del ancla y cadena por gravedad.-  
Fuente: [www.flickr.com/photos](http://www.flickr.com/photos).

Método para Reducir la Velocidad Gradualmente					
Grandes Buques Cargados			Buques Standard		
Distancia (millas)	Velocidad (nudos)	Telégrafo Máquinas	Distancia (millas)	Velocidad (nudos)	Telégrafo Máquinas
7	12	Atención	5	12	Atención
6	10	Media avante	4	10	Media avante
5	8	Poca avante	3	8	Poca avante
4	6	Muy poca avante	2	6	Muy poca avante
3	5	Stop	1	5	Stop

Si después de parar la máquina, es necesario reducir la velocidad de avance a menos de 5 nudos, se arrancara la máquina con muy poca atrás el tiempo que sea apropiado. Como la proa del buque tendera a girar, no hacer funcionar la máquina más de un minuto. Cuando falten 5 cables, paramos el barco seleccionado entre poca y media atrás.

formas de fondear con una y dos anclas por la proa en aguas no profundas, criterio de utilización y condiciones para ello de un ancla adicional, factores más influyentes para dejar la máquina en atención durante la estancia en el fondeadero, como emplear las anclas en emergencia.

5) La longitud de la cadena que se utilizara, clase de tenedero, potencia de agarre del ancla, proximidad limite a tierra, peligro de garreo y el riesgo de colisión y/o varada.

6) Límites de sonda para fondear con seguridad, aguas profundas y sonda a partir de la cual está prohibido fondear. Métodos recomendados para fondear en aguas profundas, así como análisis de los riesgos de pérdida del ancla y la cadena por fondear de forma no controlada.

7) Factores que afectan al buque cuando está fondeado con mal tiempo, incluyendo guiñadas de rumbo, tirones de cadena, etc., limitaciones del equipo de fondeo afectado por fuertes esfuerzos. Criterio de abandono del fondeadero ante la llega-

5.- Aprobado por la Resolución de la IMO A.741(18) de 4 de noviembre de 1993, adquirió carácter obligatorio con la entrada en vigor del Capítulo IX “Gestión de la Seguridad Operacional de los Buques” de Convenio SOLAS 74/78 el 1 de julio de 1998.



da de condiciones meteorológicas adversas y severas.

8) Como mantener una guardia de fondeo eficaz y segura, incluyendo la medida de demoras, marcaciones y distancias tanto electrónicas como visuales, la utilización de los anillos de guardia y alarmas de fondeo en los Radares, Arpa, y satélite GPS.

9) Instrucciones precisas sobre mantenimiento e inspecciones rutinarias del equipo de fondeo.

10) Recomendaciones para prevenir las incrustaciones del casco (hull fouling) cuando el buque permanece más de siete días fondeado. En aguas abiertas conviene levar el ancla cada siete días o menos, navegar a máxima velocidad sobre 2 horas para prevenir las incrustaciones del casco y proceder a fondear nuevamente, siempre y cuando toda esta maniobra pueda llevarse a cabo con seguridad. Debe realizarse una valoración minuciosa de riesgos antes de levar el ancla para salir de un fondeadero congestionado. Además hay que informar al departamento técnico de la compañía, fletadores y agentes del plan y del permiso solicitado a las autoridades portuarias antes de virar el ancla fondeada.

11) Los armadores y managers deben efectuar auditorias significativas de navegación que incluyan entre otros aspectos: la correcta actualización y utilización de cartas y publicaciones náuticas, el uso e interpretación del "Plan de Viaje" y del "Plan de Fondeo", el control del buque cuando se esté bajo practica, al estar atracado al muelle, control de la capacidad de fondeo del capitán, y gestión del equipo de puente durante periodos específicos.

#### MOVIMIENTOS QUE EXPERIMENTA UN ANCLA FONDEADA SOBRE UN LECHO PLANO

Desde el punto de vista geométrico el ancla tiene tres planos de referencia, donde dos de ellos son de

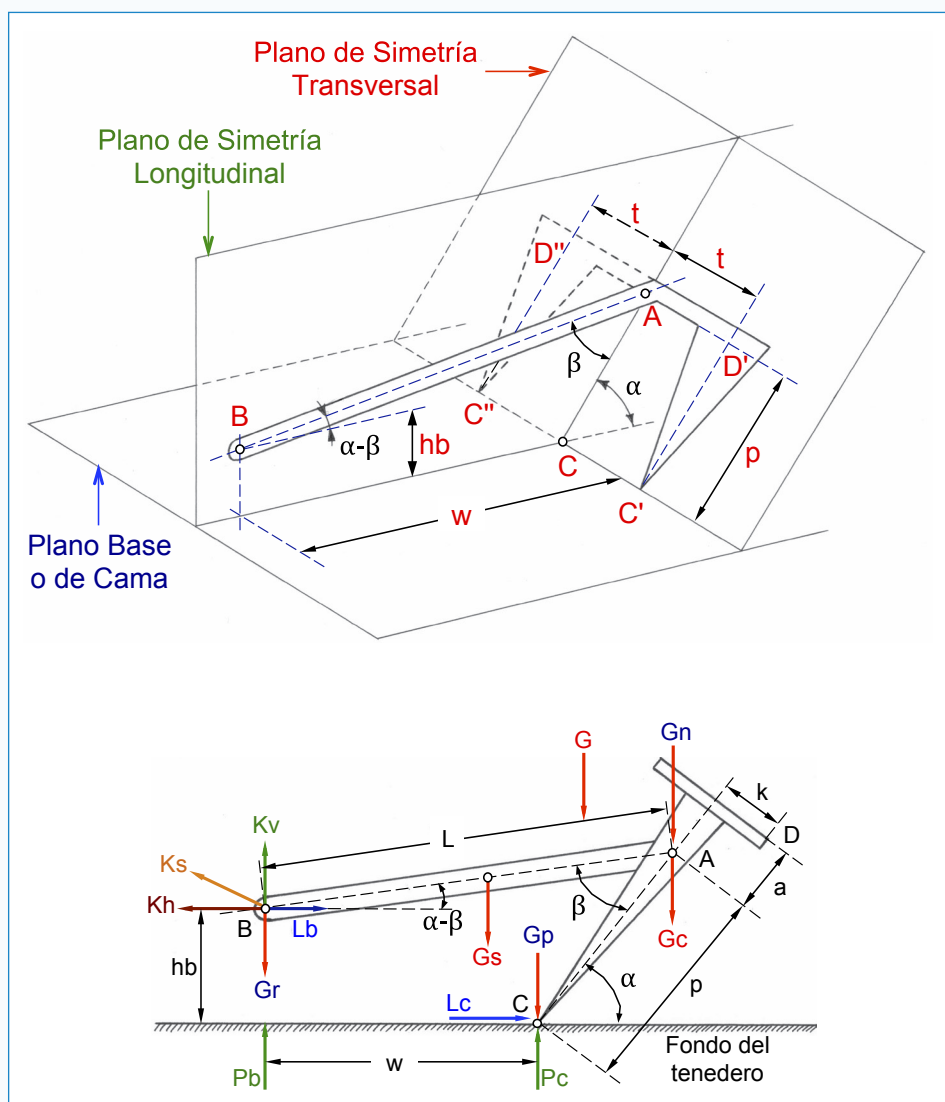


Fig. 8 – Modelo teórico de situación.-  
Fuente: On the holding power of ship's anchors.

simetría. El primero es un plano transversal de simetría que divide a las uñas junto con la cabeza en dos partes iguales, el segundo plano de simetría es longitudinal que divide la caña y la cabeza en dos partes iguales, y el tercero es el plano de cama o base por coincidir con el lecho donde descansa el ancla. En relación directa con estos tres planos tenemos los dos ángulos de referencia siguientes<sup>6</sup>.

Ángulo de presa " $\beta$ ".- Su valor nos informa de la penetración del ancla en el terreno, se mide entre la línea central de la caña del ancla y el plano de simetría transversal que contiene a las uñas.

Ángulo de inclinación " $\alpha$ ".- Su

valor indica la inclinación de las uñas sobre el lecho del tenedero, se mide entre el plano de simetría transversal y el plano de la cama o base.

En la (Fig.8) representamos las principales dimensiones, fuerzas, pesos y cargas que intervienen en el desarrollo teórico que se expone a continuación, donde se tienen en consideración los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas junto con la ayuda de modelos de situación, estudiando los diferentes movimientos que pueden producirse una vez que hayamos fondeado un ancla sobre un fondo o lecho plano. Para el estudio de movimientos, se considera como punto de partida o posición inicial cuando tenemos la caña y la cabe-

6.- Ambos ángulos pueden aparecer en el texto sin subíndice o bien acompañados del mismo. En el primer caso indica el valor actual del ángulo y en el segundo hace referencia a la posición inicial en el caso de un subíndice (b) y la posición final si se trata de un subíndice (e).



za descansando sobre el lecho del tenedero (Fig.9) y, como posición final se toma aquella en la que el ancla se eleva de manera que las uñas quedan sustentadas sobre sus puntas y el extremo de la caña descansa sobre el fondo (Fig.15).

El peso total del ancla  $G_a$  está distribuido entre el peso de la caña  $G_s$ , que actúa a una distancia  $(\lambda s \cdot L)$  desde  $B$ , y el peso de la cabeza del ancla  $G_c$ , que actúa a una distancia  $(\lambda p \cdot p)$  desde  $C$ . Estos pesos pueden distribuirse ahora de la forma siguiente:  $G_r$ , actúa sobre  $B$ , siendo  $G_r = (1 - \lambda s)G_s$ ;  $G_p$ , actúa sobre  $C$  siendo,  $G_p = (1 - \lambda p)G_c$ ; y  $G_n$ , actúa sobre  $A$ , siendo  $G_n = \lambda s \cdot G_s + \lambda p \cdot G_c$ . Identificando  $G_n$  con  $(\lambda G)$  y  $G_r$  con  $(1 - \lambda)G$ , el peso  $G = G_r + G_n$ , representa el peso del movimiento de esta parte. Este peso  $G$  se aplica en la línea central de la caña una distancia  $(\lambda \cdot L)$  desde  $B$ , donde  $\lambda = G_n / (G_r + G_n)$ .

$p$	=	Distancia entre el extremo de las uñas (pico de loro) y el eje de giro transversal de la caña.
$k$	=	Distancia de los extremos $D'$ y $D''$ al plano de simetría transversal que pasa entre las uñas.
$a$	=	Distancia medida sobre el plano de simetría transversal entre los puntos $D$ y $A$ .
$2t$	=	Distancia entre los puntos $C'$ y $C''$ .
$hb$	=	Distancia entre el centro del pasador del arganeo y la proyección vertical del mismo sobre la cama.
$w$	=	Distancia horizontal desde la proyección vertical del punto B hasta las uñas (pico del loro).
$L$	=	Distancia entre el pasador del arganeo y el punto de giro de la caña A (longitud de la caña).
$G_a$	=	Peso total del ancla.
$K_s$	=	Acción de la cadena sobre la caña del ancla.
$P_b$	=	Fuerza vertical perpendicular a la cama que actúa sobre el pasador arganeo.
$P_c$	=	Fuerza vertical perpendicular a la cama que actúa sobre los extremos de las uñas.
$L_b, L_c$	=	Resistencias horizontales que actúan en la parte final de la caña y en las uñas.
$K_h, K_v$	=	Componentes vertical y horizontal de la tracción de la cadena sobre el arganeo.

Para estudiar los diferentes movimientos del ancla, hay que asumir los condicionantes siguientes:

- Las uñas no penetran en la superficie del lecho, horizontal y plano, donde se apoyan.
- La tracción de la cadena sobre el arganeo actúa en el plano longitudinal de simetría porque usualmente el ancla y su caña irán en dirección de la misma.
- La resistencia horizontal en el punto  $B$  de la caña es igual a cero en el momento de tocar  $B$  la cama.
- Los valores de  $K_h$  y  $K_v$  cambian poco a poco, se puede despreciar la influencia del primer momento de inercia sobre el ancla.

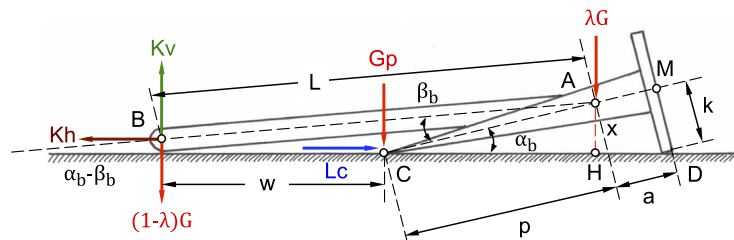


Fig. 9 - Movimiento de oscilación.-

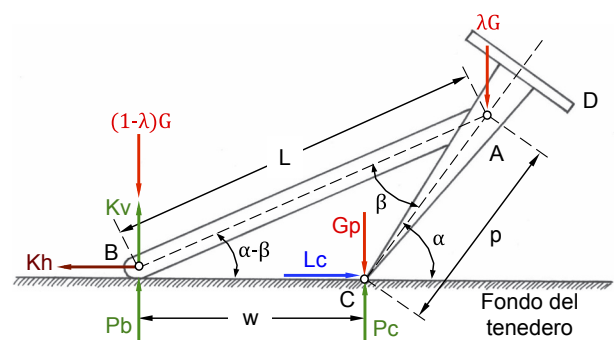


Fig. 10 - Movimiento de elevación.-

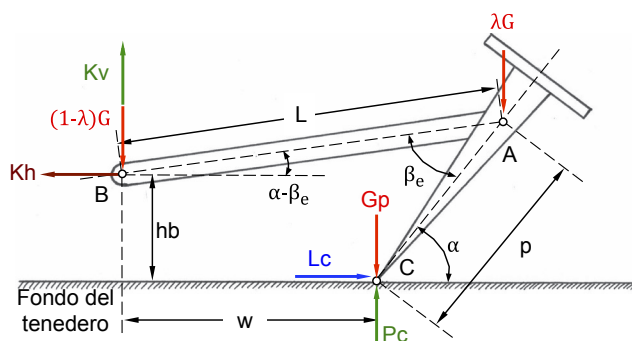


Fig. 11 - Movimiento de inclinación.-

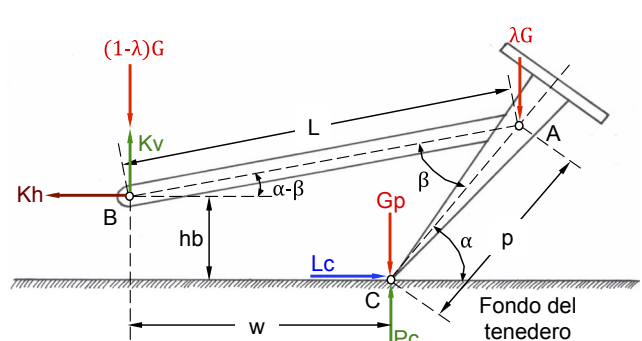


Fig. 12 - Movimiento de giro.-

• **Movimiento de Oscilación.**- (Fig.9) Inicialmente tenemos a la cruz  $D$ , las puntas de las uñas  $C$ , y el arganeo  $B$ , descansando sobre el fondo del tenedero, en estas condiciones se cumple que los ángulos de inclinación y presa valen:  $\alpha = \alpha_b$  y  $\beta = \beta_b$ , entonces tenemos que

$$\left. \begin{array}{l} BHA: \tan \alpha_b = \frac{k}{p+a}; \\ CMD: x = L \cdot \sin(\alpha_b - \beta_b) \\ CHA: x = p \cdot \sin \alpha_b \end{array} \right\} \rightarrow L \cdot \sin(\alpha_b - \beta_b) = p \cdot \sin \alpha_b$$

El movimiento comienza justamente cuando se eleva sobre el fondo el punto  $B$ , cumpliéndose la siguiente condición:

$$Kv + Kh \cdot \tan(\alpha_b - \beta_b) > (1 - \lambda)G.$$

Una vez en movimiento, resulta que  $\beta < \beta_e$  y la ecuación de equilibrio referida al punto  $B$  nos facilita el valor de  $Kn$  en función de  $Kv$  y el ángulo  $\beta$ .

$$Kh \cdot \tan(\alpha_b - \beta_b) = (1 - \lambda) \cdot G - Kv \quad [1]$$

El extremo  $D$  descansará sobre el fondo siempre y cuando  $Kh \leq (G - Kv / \tan \alpha_b)$ . Si  $Kv=0$  la condición de equilibrio será,  $Kh \leq (G / \tan \alpha_b)$ ,  $Kh \cdot \tan(\alpha_b - \beta) = (1 - \lambda)G$ , y por último  $(1 - \lambda) \cdot \tan \alpha_b < \tan(\alpha_b - \beta)$ .

• **Movimiento de Elevación.**- (Fig.10) Cuando  $B$  se desliza sobre el fondo,  $\beta_b < \beta < \beta_e$ ,  $Pb \geq 0$  y  $hb = 0$ .

Por consiguiente de los triángulos  $BHA$  y  $CHA$  resulta que,  $p \cdot \sin \alpha = L \cdot \sin(\alpha - \beta)$ . Debido al movimiento, el punto  $D$  se eleva del fondo donde se encontraba apoyado, entonces el momento referido a  $C$  será,  $G - Kv - Pb = Kh \cdot \tan \alpha$ , y el referido a  $A$  es,  $(1 - \lambda)G - Kv - Pb = Kh \cdot \tan(\alpha - \beta)$ , así que

$$Kh = \frac{\lambda G}{\tan \alpha - \tan(\alpha - \beta)} \quad [2]$$

Como  $Pb \geq 0$ , resulta,  $Kh \cdot \tan(\alpha - \beta) \leq (1 - \lambda)G - Kv$ . Pero si  $Kv = 0$  el movimiento continua siempre y cuando se cumpla que

$$\lambda \leq \frac{\tan \alpha - \tan(\alpha - \beta)}{\tan \alpha}; \quad 1 - \lambda \geq \frac{\tan(\alpha - \beta)}{\tan \alpha}; \quad p \cdot \cos \alpha \leq (1 - \lambda) \cdot L \cos(\alpha - \beta); \quad \cos \beta \leq \frac{L^2 \cdot (1 - \lambda) + p^2}{p \cdot L \cdot (2 - \lambda)}$$

Cuando  $\alpha$  aumenta también lo hace  $\beta$  pero el  $\cos \beta$  decrece, esta última condición indica que una vez iniciado el movimiento este continuará hasta el final. El movimiento de elevación se produce exclusivamente cuando  $(1 - \lambda) \geq \tan(\alpha_b - \beta_b) / \tan \alpha_b$ , alcanzándose el máximo valor de  $Kh$  cuando se inicia el movimiento, esto es,  $Kh = \lambda \cdot G / (\tan \alpha_b - \tan(\alpha_b - \beta_b))$ . Durante el movimiento de elevación el valor de  $Kh$  decrecerá.

• **Movimiento de Inclinación.**- (Fig.11) En este caso únicamente está en contacto con el fondo las uñas del ancla y el movimiento ocurre tan pronto como  $\beta = \beta_e$

La caña y la cabeza del ancla giran a la vez entorno a  $C$ . Como  $Q = Kv(p \cdot \cos \alpha - L \cdot \cos(\alpha - \beta_e))$ , la ecuación del momento sobre  $C$  viene expresada por,

$$Kh = \frac{G \cdot (p \cdot \cos \alpha - (1 - \lambda) \cdot L \cdot \cos(\alpha - \beta_e)) - Q}{p \cdot \sin \alpha - L \cdot \sin(\alpha - \beta_e)} \quad [3]$$

$$Kv + Kh \cdot \tan(\alpha - \beta_e) \geq (1 - \lambda) \cdot G$$

Si  $Kv = 0$ , el momento queda como,  $Kh \cdot \tan(\alpha - \beta_e) = (1 - \lambda) \cdot G$  reduciéndose la ecuación a,

$$Kh = \frac{G \cdot (p \cdot \cos \alpha - (1 - \lambda) \cdot L \cdot \cos(\alpha - \beta_e))}{p \cdot \sin \alpha - L \cdot \sin(\alpha - \beta_e)} \quad [4]$$

$$Kh \cdot \tan(\alpha - \beta_e) = (1 - \lambda) \cdot G$$

• **Movimiento de Giro.**- (Fig.12) Este movimiento ocurre tan pronto como,  $\beta_b < \beta < \beta_e$  y  $hb > 0$ . Así  $p \cdot \sin \alpha > L \cdot \sin(\alpha - \beta)$ .

La ecuación de equilibrio de la cabeza del ancla será  $Kh = (G - Kv / \tan \alpha)$  y la ecuación de equilibrio de la caña es  $Kh \cdot \tan(\alpha - \beta) = (1 - \lambda) \cdot G - Kv$ . Entonces se cumple que,

$$Kh = \frac{\lambda \cdot G}{\tan \alpha - \tan(\alpha - \beta)} \quad [5]$$

combinando ahora las ecuaciones,  $(G - Kv) / \tan \alpha = \lambda \cdot G / (\tan \alpha - \tan(\alpha - \beta))$ , fórmula utilizada para hallar el ángulo  $\beta$ , en función de los valores de  $\alpha$  y  $Kv$ . En el caso particular de ser  $Kv = 0$  tenemos,

$$\left. \begin{array}{l} \tan(\alpha - \beta) = (1 - \lambda) \cdot \tan \alpha \\ \tan \beta = \frac{\lambda \cdot \tan \alpha}{1 + (1 - \lambda) \cdot \tan^2 \alpha} \end{array} \right\} \rightarrow \tan \alpha = \frac{\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 4 \cdot (1 - \lambda) \cdot \tan^2 \beta}}{2 \cdot (1 - \lambda) \cdot \tan \beta}$$

En la ecuación obtenida solo tiene una solución práctica de las dos posibles:  $\tan \beta \leq \lambda / 2 \cdot \sqrt{1 - \lambda}$ , o bien,  $\sin \beta \leq \lambda / 2 - \lambda$ . Además, el valor máximo de  $Kh$  es  $G / \tan \alpha$ , porque  $Kh$  decrece cuando  $\alpha$  aumenta.

• **Transiciones entre Movimientos y Posición Final.**- Para obtener unos patrones en los movimientos de un ancla fondeada, debemos analizar sistemáticamente las condiciones de transición entre los cuatro movimientos ya señalados. Atendiendo a la (Fig. 13) observamos que inicialmente (cabeza, uñas y caña apoyadas sobre el fondo) puede originarse un movimiento de elevación, o bien, los movimientos de oscilación-giro, oscilación-inclinación. En la zona o periodo intermedio encontramos las transiciones entre giro-elevación y giro-inclinación. Al periodo final estable llegamos mediante un movimiento de elevación o bien, por los movimientos de inclinación-giro-elevación, pero puede darse el caso de alcanzar una situación final inestable a través de un único movimiento de inclinación.

En la posición inicial, se asume un incremento de  $Kh$  tanto en el movimiento de oscilación como el de elevación. Si el movimiento de elevación prosigue hasta alcanzar la posición estable final, entonces se toma como primer patrón de comportamiento, no siendo una condición habitual. Si el movimiento que ocurre es el de oscilación, existe una transición a los movimientos de inclinación o de giro, en el caso particular de ser  $Kv = 0$ , la transición es directa al movimiento de inclinación.

Con el movimiento de las uñas, existe el riesgo de liberación del ancla, entonces el valor de  $Kh$  tiene que ser lo más alto posible. Destacar que los valores de  $Kh$  y  $hb$  son menores en el movimiento de elevación que en el de giro. Sin embargo,  $Kh$  será máximo en el movimiento de inclinación, su fórmula nos indica que un  $Kv(+)$  disminuye el valor necesario que debe tomar  $Kh$  para levantar la cabeza. En resumen, es obvio que la vieja regla de la longitud suficiente de cadena garantiza la acción de la fuerza horizontal sobre la cabeza del ancla.

Hemos apuntado que en la zona intermedia pueden ocurrir dos circunstancias:

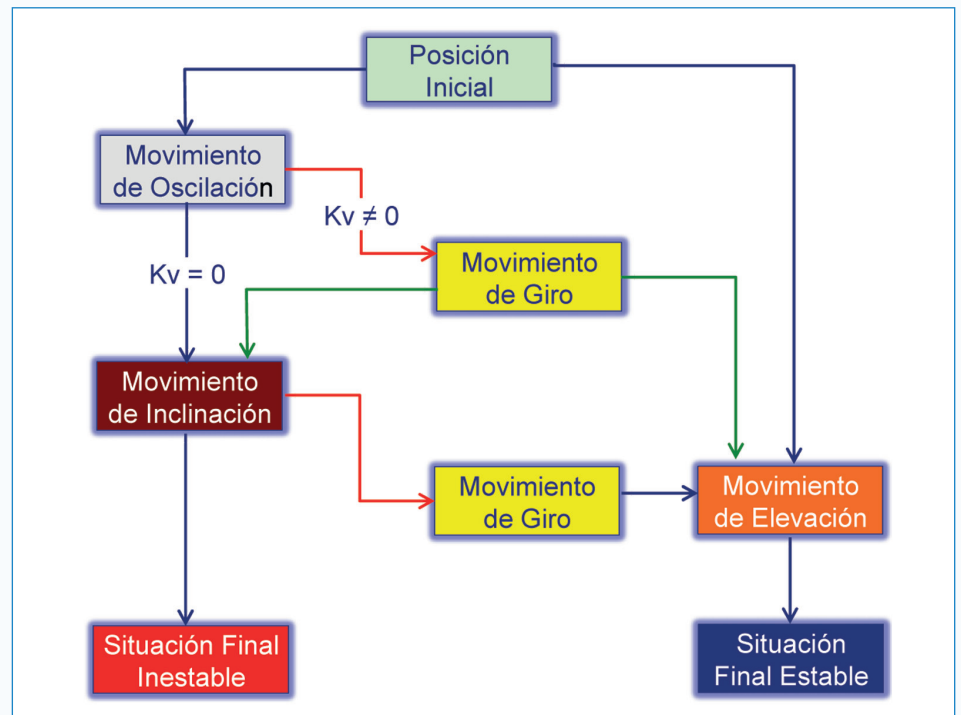


Fig. 13 – Movimientos y transiciones de un ancla.-  
Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, el punto  $B$  de la caña toca el fondo cambiando el movimiento de giro a elevación. Entonces,  $hb = 0$  y en ese instante,  $Pb = 0$ , por tanto,  $Kh = (G - Kv) / \tan \alpha = ((1 - \lambda) G - Kv) / \tan(\alpha - \beta_e)$ . Si  $Kv = 0$ , derivando se llega a,  $\cos^2 \alpha = ((1 - \lambda)^2 \cdot ((L/p)^2 - 1) / 1 - (1 - \lambda)^2)$ . La transición ocurre cuando la parte derecha de la fórmula alcanza un valor menor que uno y  $\alpha_e > \alpha > \alpha_b$ . La transición es imposible cuando el valor de  $\cos^2 \alpha > 1$ , o cuando  $(1 - \lambda) > p / L$ . En este caso solo tenemos un movimiento de inclinación. En segundo lugar, tenemos la transición entre los movimientos de giro-inclinación que solo se produce durante el giro cuando  $\beta$  alcanza su valor máximo  $\beta_e$ .

Si llamamos  $A = (1 - \lambda - Kv/G) / (1 - Kv/G)$ , resulta

$$\tan \alpha = \frac{1 - A \pm \sqrt{(A - 1)^2 - 4 \cdot A \cdot \tan^2 \beta_e}}{2 \cdot A \cdot \tan \beta_e}$$

Si,  $Kv = 0$

$$\tan \alpha = \frac{\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 4 \cdot (1 - \lambda) \cdot \tan^2 \beta_e}}{2 \cdot (1 - \lambda) \cdot \tan \beta_e}$$

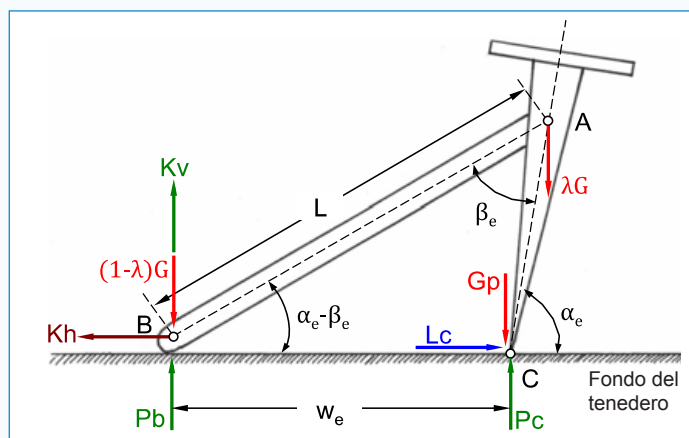
La transición se produce cuando haya una solución real de la ecuación anterior, no hay transición cuando,  $\lambda^2 - 4(1 - \lambda) \cdot \tan^2 \beta_e < 0$ , o bien,  $\sin \beta_e > \lambda / (2 - \lambda)$ .

Atendiendo a la (Fig.15) observamos que en la denominada posición final se cumple que  $hb = 0$  y en triángulo  $BAC$  tenemos  $w_e^2 = L^2 + p^2 - 2 \cdot p \cdot L \cdot \cos \beta$ , donde  $w_e$  representa la distancia entre los puntos  $B$  y  $C$  cuando  $\beta = \beta_e$ . Por todo ello, la ecuación de equilibrio sobre el punto  $C$  puede escribirse así,

$$Kv + Pb = G \cdot \frac{(1 - \lambda) \cdot L \cdot \cos(\alpha_e - \beta_e) - p \cdot \cos \alpha_e}{L \cdot \cos(\alpha_e - \beta_e) - p \cdot \cos \alpha_e} \quad [6]$$

Estáticamente, a una posición final estable no se llega cuando,  $(1 - \lambda) \cdot L \cdot \cos(\alpha_e - \beta_e) < p \cdot \cos \alpha_e$ , o bien  $Kv + Pb < 0$ . En estas condiciones, el ancla no puede estabilizarse pero si rotar alrededor del punto  $C$ , en función de los valores  $Kh$  o  $Kv$ .





También hay una posición final estable que se origina cuando,  $(1 - \lambda) \geq (\tan(\alpha_e - \beta_e)/\tan \alpha_e)$  o bien,  $\cos \beta_e \leq ((L^2 \cdot (1 - \lambda) + p^2/p \cdot L \cdot (2 - \lambda)))$ .

El valor mínimo necesario de  $Kh$  para garrear el ancla en esta posición  $Kh \geq (\lambda \cdot G / \tan \alpha_e - \tan (\alpha_e - \beta_e))$ . En el instante que  $\alpha_e \geq 90^\circ$  la condición cambia cuando  $Kh \leq 0$ . El ancla permanecerá estable sobre los extremos de sus uñas. Que las uñas se deslicen hacen que este caso sea poco probable.

## FUERZAS DE PENETRACIÓN Y AGARRE DE LAS ANCLAS

Quando el ancla choca contra el fondo, yace acostada, y por su diseño articulado las uñas puedan caer a uno u otro lado de la caña o permanecer en el mismo plano que ésta. Tan pronto como el buque ejerza tensión sobre la cadena, el ancla empezará a deslizar su caña, cruz y uñas sobre el fondo; la fase de penetración de las uñas se inicia cuando la presión del contacto entre ellas y el fondo supere la resistencia de la tierra del tenedero, solo entonces, las uñas empezarán a hundirse progresivamente y el ancla se enterrará en función a las fuerzas ejercidas por el buque. Lo más deseable es que la cadena ejerza su fuerza o tiro lo más paralelamente posible al fondo, si esto no ocurre así, el ancla tiene menos oportunidad de enterrarse bien con la consiguiente pérdida de agarre.

En el modelo de situación que nos

ocupa (Fig.16), hemos asumido que: a) la dirección del eje de giro de la cruz es paralelo a la superficie plana del tenedero, y b) la resultante de las fuerzas perpendiculares al plano de simetría longitudinal es igual a cero. Además, la fuerza de resistencia de la tierra  $E_t$ , que actúa sobre las uñas lo hace en dos direcciones: una perpendicular a la línea  $CA$  (componente  $E$ ) aplicada a una distancia  $zc$  desde  $C$  y otra en la dirección de la línea de simetría  $CA$  (componente  $T$ ).

*Pb*, *Lb*, *Pd* y *Ld* son las fuerzas de resistencia de la tierra que actúan en la zona donde el ancla está con su caña y/o su cruz sobre el fondo. *Pd* y *Ld* se aplican en *D'* a una distancia *kd* de la línea de simetría *CA*, *Pb* y *Lb* se aplican en *B'* separada de *B* una distancia *bb*. El diámetro de la cabeza de la caña es *bsh*. Las

fuerzas  $L_b$  y  $L_d$  son las de fricción que actúan cuando el ancla descansa con los puntos  $B$  y  $D$  sobre el fondo. El punto  $C$  se encuentra enterrado una distancia  $h_c$  por debajo de la superficie del fondo y las uñas están enterradas una distancia  $z$  dentro del lecho. El ancla se mantendrá agarrada y estable, si el valor de las fuerzas  $E$  y  $T$  son menores o iguales a la resistencia a la deformación que puede ofrecer la tierra donde han penetrado sus uñas. Sobrepasados estos límites, el ancla dejará de enterrarse en el lecho, o girará alrededor de sus uñas deslizándose hacia arriba, es decir, no será capaz de resistir cargas mayores.

Un ancla con una cabeza con partes sobresalientes encontrará mucho más resistencia del suelo y en consecuencia no penetrará tan



Fig. 17 – Diferentes vistas de un ancla fondeada.-  
Fuente: [www.wordpress.com](http://www.wordpress.com) & [www.diariodeibiza.es](http://www.diariodeibiza.es)

profundo como un ancla sin las partes mencionadas y con un área de uñas idéntica. La forma de la caña es otro factor a considerar, si es cuadrada (común en las antiguas), causará una resistencia a la penetración debido al hecho de que el material del fondo no puede pasar fácilmente más allá de su caña. Un terrón de lecho formado bajo la caña, aumentará la resistencia del mismo a ser penetrado, por el contrario, una caña con sus cantos biselados permite una penetración más profunda y adecuada. El ancla está unida al buque por una cadena, pudiendo utilizarse cables de acero. En el caso de alambres de acero el efecto de penetración es más profundo en todas las condiciones de suelo que al utilizar una cadena, pero la capacidad de retención de una cadena, debido a la fricción con el lecho marino, es mayor que la de un alambre de acero. Resulta destacable que un aumento del área de las uñas origina un incremento de la penetración del ancla produciendo una capacidad de agarre mayor. La modernización dinámica de las formas de las anclas, es un aspecto interesante para optimizar su poder de penetración en el fondo donde van a trabajar.

Los fondeaderos se definen como una zona en la que los buques fondean sus anclas para alcanzar su inmovilización estática respecto al fondo. El fondeadero debe tener la amplitud suficiente para permitir que los buques puedan desplazarse libremente con un adecuado

margen de seguridad según el sistema de fondeo elegido, considerando el tiempo de permanencia en el mismo, sus esloras y longitudes previstas de cadena a filar, y tomando resguardo de los peligros o buques próximos en caso de garreo del ancla. En lo que se refiere al relieve del fondo, es necesario que no presenten grandes declives, pues si la cadena trabaja en la dirección de las mayores profundidades, el ancla puede deslizarse por la pendiente y garrear con facilidad, siendo improbable que haga cabeza nuevamente.

Referente a la calidad del tenedero debemos indicar que los mejores son los de arena fina y dura, arena fangosa y fango compacto; son aceptables los de arena y conchilla, así como los de piedra suelta, grava y cascajo. Los fondos de arcilla son buenos, pero tienen el inconveniente de que si el ancla garrea es difícil que vuelva a morder, ya que sus brazos y uñas quedan en-

vueltos en una masa de arcilla; por esta razón en el caso de garrear, es aconsejable llevar el ancla, lavarla y seguidamente volver a fondearla. Los fondos de fango blando son relativamente poco seguros, pues si bien resultan fáciles de hacer presa, es probable que se llegue a garrear sin que la cadena de estrepadas perceptibles. Si el ancla se entierra demasiado profundamente en el fango, puede llegar a ser imposible o muy dificultoso llevarla; si la estancia en el fondeadero puede ser larga conviene llevarla y fondearla nuevamente. Son malos tenederos los de roca o coral y los excesivamente duros, pues las uñas del ancla no agarran en los mismos.

Los modelos actuales de anclas, tipo JIS y AC-14, hacen cabeza satisfactoriamente en casi cualquier clase de fondo, porque se entierran más profundamente durante la fase final al irse arrastrando antes de agarrarse en firme.

Tipo de Ancla	Poder de Agarre (peso x eficacia)			
	Graba/Arena	Roca con capa fina de barro	Barro o lodo blando	Arcilla
Ancla sin cepo (SS)	3,5 x Peso ancla	1,8 x Peso ancla	1,7 x Peso ancla	2,7 x Peso ancla
Alto poder de agarre (HHP)	8 x Peso ancla	2,4 x Peso ancla	6 x Peso ancla	12 x peso ancla

Fuente: "Anchoring Systems and Procedures" OCIMF, 1ª edición 2010

### Parámetros que rigen el movimiento de penetración:

- Área superficial de las uñas, limitada por el esfuerzo considerado en el diseño del ancla.
- Forma y dimensiones de las partes del ancla que penetran en el lecho del tenedero.
- Posición y actitud del ancla para penetrar en lecho.
- Tipo y dimensiones del ancla que se utilice.
- Naturaleza del fondo del tenedero.
- Tipo de línea de fondeo utilizada (cadena o alambre) y carga aplicada.

- Posición en la que el ancla queda descansando inicialmente en el lecho del fondeadero.

### La capacidad o poder de agarre resulta de la combinación de:

- Peso del ancla.
- Peso del lecho o suelo alterado cuando se fondea un ancla.
- Rozamiento del suelo alterado según las líneas de fractura.
- Rozamiento entre la superficie de las uñas o cabeza y el fondo.
- La capacidad de aguante de la caña y de la cadena y su rozamiento con el fondo.

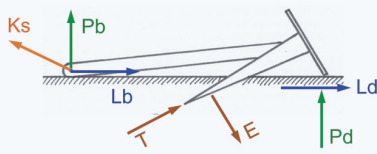


Fig. 18a - Deslizante-Elevación  
 $hd = 0 \quad hc = 0 \quad \beta < \beta_e$

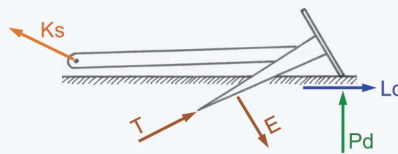


Fig. 18c - Deslizante-Oscilante  
 $hd = 0 \quad hc > 0 \quad \beta < \beta_e$

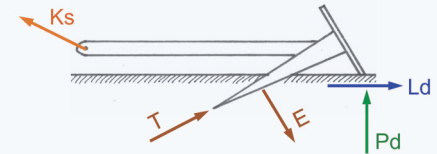


Fig. 18e - Deslizante-Inclinación  
 $hd = 0 \quad hc > 0 \quad \beta = \beta_e$

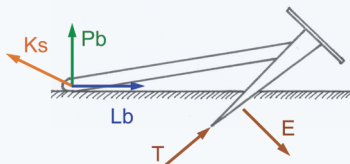


Fig. 18b - Rotación-Elevación  
 $hd = 0 \quad hc = 0 \quad \beta < \beta_e$

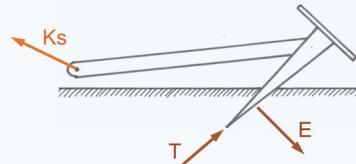


Fig. 18d - Rotación-Balanceo  
 $hd > 0 \quad hc > 0 \quad \beta < \beta_e$

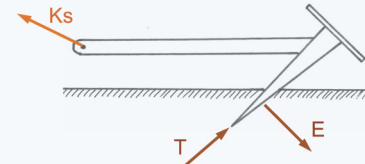


Fig. 18f - Rotación-Inclinación  
 $hd > 0 \quad hc > 0 \quad \beta = \beta_e$

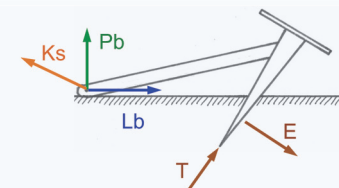


Fig. 18g - Presión-Penetración  
 $hd = 0 \quad hc = 0 \quad \beta = \beta_e$

En referencia directa a las fuerzas de resistencia de la tierra que actúan sobre el ancla, señalamos que aún no se han obtenido ni publicado una teoría o una fórmula práctica aplicable. Entonces, la dirección y magnitud de estas fuerzas terrestres solo pueden hallarse de forma exacta por ensayos con diferentes modelos de anclas. Por último, ofrecemos en la (Fig.18) los siete movimiento que se pueden producir en relación con la penetración de un ancla una vez que se haya fondeado.

### TEORÍA DEL MÉTODO DE FONDEO A LA GIRA O EN LÍNEA

Un ancla fondeada se agarra al fondo quedando fija a él y unida al buque por una cadena de longitud total,  $L_C = l_F + S$ ; donde,  $l_F$  es el tramo yacente o sembrado sobre el fondo,  $S$  representa la longitud de cadena que es preciso filar para que la catenaria que forme aguante a la fuerza  $T_0$  que representa la ejercida por el viento, corriente o mar sobre el buque (o soportada por el buque), que es igual a la fuerza ejercida sobre el ancla o fuerza de agarre al fondo; “ $P$ ” representa la distancia horizontal medida entre las verticales trazadas por el escoben y el punto de fondeo (Fig. 19).

El ancla sufre un esfuerzo horizontal  $T_a = T_0 - l_F \cdot (\tau \cdot P)$ , que es la di-

ferencia entre el esfuerzo  $T_0$  en el punto  $O$ , donde se inicia la catenaria y el rozamiento de la parte de cadena que yace sobre el fondo. El parámetro  $P$  es el peso unitario por unidad de longitud (peso del material al sustraerle el peso del agua desplazada) y “ $\tau$ ” el coeficiente de rozamiento en función de las características del fondo, alcanzando valores máximos con fondos de arena y mínimos en los de limo.

A partir de aquí, prescindimos de  $T_a$  para centrarnos en  $T_0$ , pues solo así podemos generalizar el problema, sin olvidar que para que el ancla cumpla su misión esta parte de cadena que queda sobre el fondo es muy importante no solo porque disminuye el esfuerzo que recibe el ancla, sino porque asegura que el tiro, recibido en el arganeo, sea horizontal, solo así las uñas pueden clavarse y quedar fija en el fondo. Si

el tiro tuviese componente vertical la tendencia sería a elevar el ancla, facilitando con ello su garreo.

La tensión de la cadena  $T$ , con origen en  $B$ , sigue la dirección de la tangente a la catenaria en dicho punto estando inclinada respecto a la horizontal un ángulo  $\hat{\phi}$  (al ángulo formado por dicha recta con la horizontal). Esta tensión se descompone en dos componentes, una horizontal  $T_0$  que determina el esfuerzo en el escobén, siendo igual y de sentido contrario a la que existe en el otro extremo  $O$ ; y otra vertical  $T_d$  (peso del tramo de catenaria de longitud  $S$ ) contrarrestada con el aumento de desplazamiento del buque. El viento ejerce una presión sobre el buque que tiende a alejarlo del punto de fondeo con una fuerza que vale  $T_0$ , ya que únicamente así, existe el equilibrio de fuerzas horizontales en el punto  $B$ .



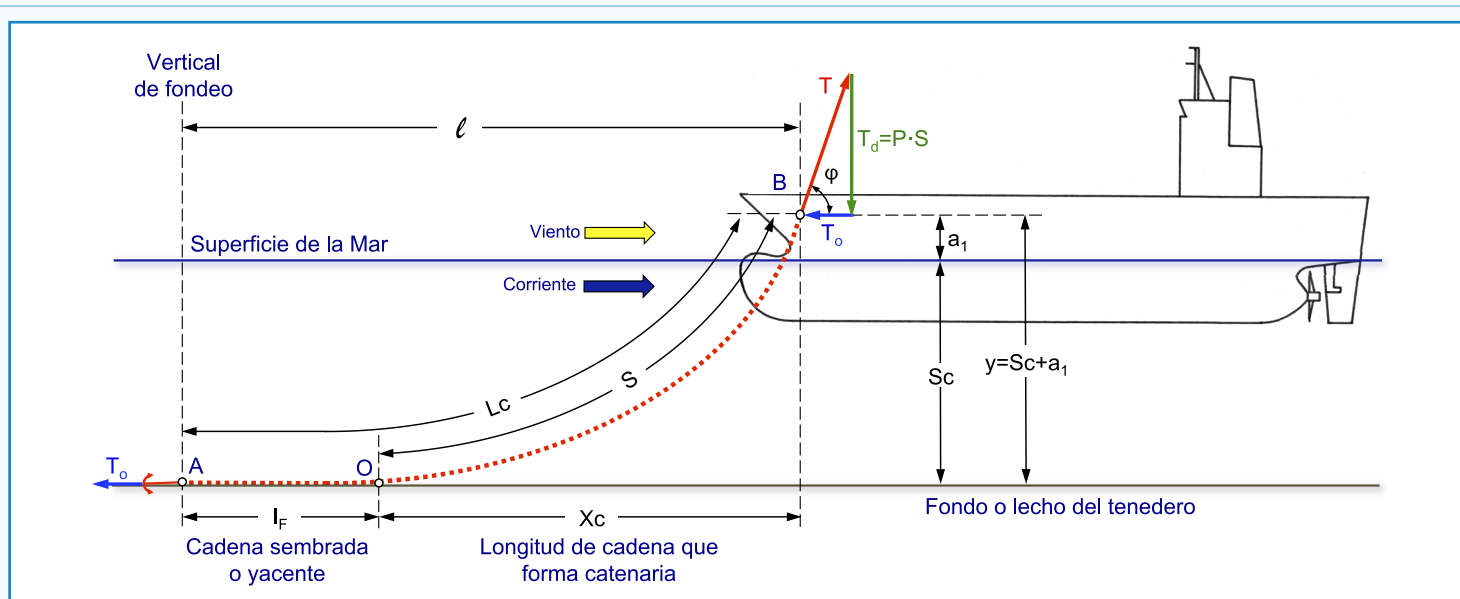


Fig. 19 – Parámetros que intervienen cuando un buque esta fondeado a la gira o en línea.-  
Fuente: Elaboración propia.

A partir del punto  $O$  la cadena, cuyo peso por unidad de longitud hemos llamado  $P$ , toma la forma de catenaria hasta llegar al escobén  $B$ , creando un ángulo  $\hat{\varphi}$  con la horizontal. Llamando  $y = Sc + a_1$ , a la distancia vertical entre el fondo y el escobén del buque<sup>7</sup>. Vamos a relacionar estas magnitudes entre sí y con las tensiones  $T_0$ ,  $T_d$  y  $T$ , con el fin de encontrar las fórmulas que relacionan estos valores y, por tanto, definen la seguridad del buque fondeado.

La catenaria es la curva que forma un hilo ideal (cuya masa está distribuida de modo uniforme) que cuelga libremente de dos puntos de apoyo  $A$  y  $B$ , siendo el vértice el punto más bajo. En la (Fig.20) observamos que el eje horizontal, trazado a una distancia “ $a$ ” del vértice, es la directriz de una catenaria, cuya expresión corresponde a la siguiente ecuación diferencial  $dy/dx = S/a$ , siendo  $S$  la longitud de la curva catenaria entre los puntos  $A(0, a)$  y  $B(l, f + a)$ . Adoptando la directriz de esta catenaria como eje  $X$ , y como eje  $Y$  una recta perpendicular a esta directriz que pasa por el vértice  $A$ , la integral de la ecuación diferencial anterior resulta ser la función hiperbólica siguiente:  $y = a \cdot \cosh(x/2)$ , que derivando respecto a la variable  $x$ , y particularizando para el punto  $B$  de abscisa “ $l$ ”, obtenemos las funciones hiperbólicas en dicho punto,

$$\sinh \frac{l}{a} = \frac{S}{a}; \quad \cosh \frac{l}{a} = \frac{f+a}{a}; \quad \tanh \frac{l}{a} = \frac{S}{f+a}$$

La altura de  $B$  sobre el vértice de la catenaria es  $f$ , es decir, la distancia  $(f + a)$  es la ordenada del punto con respecto a los ejes cartesianos seleccionados. Trazando la tangente a la curva en el punto  $B$  y teniendo en cuenta las relaciones de las razones trigonométricas,  $\cos \hat{\varphi} = (1 + \tan^2 \varphi)^{1/2}$ , junto con las relaciones de las funciones hiperbólicas  $\cosh^2 x = 1 + \sinh^2 x$ , se obtienen expresiones que permiten determinar las restantes

$$\tan \hat{\varphi} = \sinh \frac{l}{a}; \quad \cos \hat{\varphi} = \frac{l}{\cosh l/a}; \quad \sin \hat{\varphi} = \tanh \frac{l}{a}$$

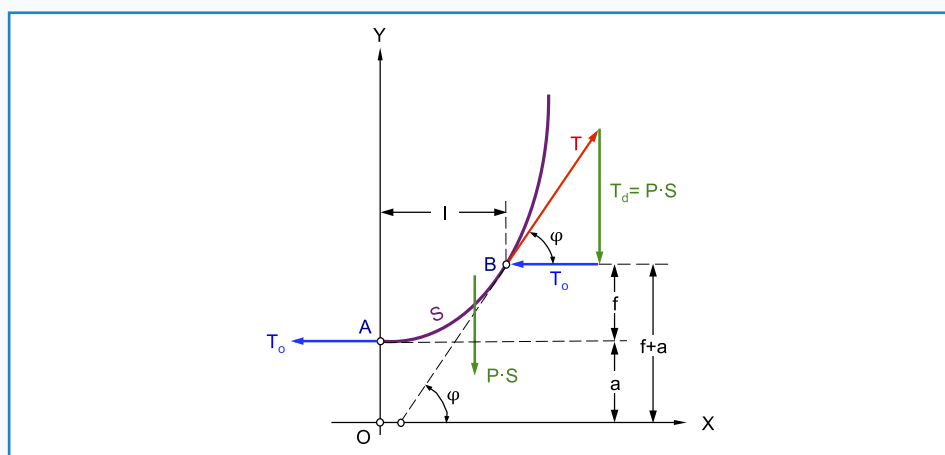


Fig. 20 – Curva catenaria y su triángulo de fuerzas.-  
Fuente: Elaboración propia.

Así, las funciones trigonométricas han quedado relacionadas con las hiperbólicas en la catenaria definida con la directriz “ $a$ ”. Si ahora consideramos las relaciones que definen los valores de esas funciones hiperbólicas, tenemos determinado el valor de las funciones trigonométricas, necesarios para establecer una relación entre la fuerza existente en los apoyos de los extremos de la curva y el peso del tramo considerado. En el triángulo de fuerzas (Fig.20), estas funciones trigonométricas se pueden emplear para relacionar las fuerzas con los parámetros de esta catenaria, a través de las relaciones hiperbólicas. La longitud del tramo de catenaria entre los puntos  $A$  y  $B$  la hemos denominado  $S$ , y su expresión analítica es,

7.- Esta distancia está formada por la suma de la sonda en la carta en el punto de fondeo ( $Sc$ ), más, la distancia vertical entre la superficie de la mar y el escobén del buque ( $a_1$ ).

$$S = \int_0^l \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx = \int_0^l \sqrt{1 + \sinh^2\left(\frac{x}{a}\right)} dx = \int_0^l \cosh\left(\frac{x}{a}\right) dx = a \cdot \sinh\frac{l}{a} \quad [7]$$

Este caso puede utilizarse como herramienta de análisis para el fondeo de buques, suponiendo que la cadena se representa como una curva catenaria que se forma desde el escobén hasta el ancla o bien hasta el punto donde la cadena empiece a descansar sobre el fondo del tenedero.

Designando mediante  $T_d$  el peso del tramo de catenaria de longitud  $S$  y significando mediante  $P$  el peso por unidad de longitud de la parte curva considerada, se puede escribir

$$T_d = P \cdot S = P \cdot a \cdot \sinh\frac{l}{a}$$

Ahora interesa escribir una relación entre los parámetros de la catenaria y las fuerzas que equilibran el sistema,

$$\frac{T_d}{T} = \frac{P \cdot S}{T} = \frac{S}{f+a} = \cosh\frac{l}{a} = \frac{f+a}{a} \rightarrow f+a = a \cdot \left(\cosh\frac{l}{a}\right)$$

Llegamos a la fórmula que liga la función hiperbólica con las fuerzas que intervienen en la catenaria,

$$\frac{P \cdot S}{T} = \frac{S}{a \cdot \left(\cosh\frac{l}{a}\right)} \rightarrow \frac{T}{P} = a \cdot \left(\cosh\frac{l}{a}\right)$$

Como,  $\sinh(l/a) = S/a \rightarrow S = a \cdot \sinh(l/a)$ , elevando al cuadrado, restando y teniendo en cuenta las relaciones de las funciones hiperbólicas  $\cosh^2 x - \sinh^2 x = 1$ , se obtiene

$$a^2 = \left(\frac{T}{P}\right)^2 - S^2$$

Calculando la raíz cuadrada y atendiendo al triángulo de fuerzas, conseguimos relacionar el parámetro “a” con la fuerza que actúa en el vértice de la catenaria.

$$a = \frac{1}{P} \sqrt{T^2 - P^2 S^2} \rightarrow a = \frac{T_o}{P} \quad [8]$$

Pero el valor del parámetro “a” también puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$\frac{T}{P} = f + a \rightarrow a = \frac{T - fP}{P} \quad [9]$$

Comparando las fórmulas (8) y (9), establecemos una relación que liga la tensión en el vértice  $T_o$ , con la de un punto intermedio  $T$ .

$$T_o = T - fP \rightarrow T = T_o + fP \quad [10]$$

La fórmula permite obtener la tensión, en cualquier punto de una catenaria en función de la tensión en el vértice, siendo  $P$  el peso unitario y  $f$  la altura del tramo que separa ambos puntos. Sustituyendo el valor de la tensión que figura en el interior del radicando de la ecuación (8) y elevando ambos términos al cuadrado, se obtiene,  $T_o^2 = (T_o + fP)^2 - P^2 S^2 \rightarrow P^2 S^2 = 2 \cdot T_o \cdot fP + f^2 P^2$ . Despejando  $S$ , calculamos la expresión que permite conocer la longitud de la catenaria en función de la tensión en el vértice,  $T_o$ .

$$S = \sqrt{\frac{f}{P} \cdot (2T_o + fP)} \quad [11]$$

En el caso de fondear con un ancla, habrá que tener en cuenta el peso aparente del metro de cadena, es decir, debe aplicársele la corrección por el empuje que la sustenta al estar sumergida en la mar<sup>8</sup>.

$$P_c = P \left(1 - \frac{\delta_{mar}}{\delta_{cadena}}\right) = \frac{7}{8} \cdot P = 0,875 \cdot P \quad [12]$$

Según la (Fig.19)  $f = y$ , por lo que la fórmula (11) se puede escribir definitivamente como,

$$S = \sqrt{\frac{Sc + a_1}{0,875 \cdot P} \cdot (2T_o + (Sc + a_1)(0,875 \cdot P))} \rightarrow S = \sqrt{\frac{y}{P_c} \cdot (2T_o + yP_c)} \quad [13]$$

8.-  $P_c$ , representa el peso por metro de cadena sumergida en el agua (peso en el aire por 0,875). Además, esta fórmula puede aplicarse al peso del ancla fondeada, (peso en el aire por 0,875).

Con esta fórmula se calcula la longitud del tramo de cadena que forma catenaria  $S$ . Ahora bien, el valor de este parámetro puede coincidir o no con la longitud total de cadena filada: si  $S = L_c$  el tramo de catenaria comienza a partir del arganeo del ancla y finaliza en el escobén, es decir, no existe cadena depositada sobre el fondo únicamente catenaria. En el caso de ser,  $L_c = S + I_F$  implica que la longitud de cadena está compuesta por el tramo de catenaria medido desde el escobén hasta el primer eslabón que descansa sobre el fondo del tenedero,  $BO$  y la longitud del tramo de cadena sembrada,  $OA$  (Fig.19). Con el fin de garantizar la seguridad del fondeo de un buque afectado por una determinada fuerza de viento, el Japan P&I Club además de trabajar con la fórmula (13) también válida la (14), utilizada para deducir la longitud de cadena que se tiene que extender sobre el fondo.

$$I_F = \frac{T_o - \lambda_a \cdot P_a}{\lambda_c \cdot P_c} \quad [14]$$

Donde,  $\lambda_a$  y  $\lambda_c$  son los factores de retención o agarre del ancla y la cadena expresado en toneladas,  $I_F$  representa la cantidad mínima de cadena en contacto con el fondo en metros. La fuerza de agarre del ancla  $T_o$ , es igual a la máxima fuerza de impacto que puede soportar un buque fondeado, su valor lo obtenemos despejando en las fórmulas (13) o (14),

$$T_o = P_c \cdot \frac{S^2 - y^2}{2y} \quad T_o = \lambda_a \cdot P_a + \lambda_c \cdot P_c \cdot I_F \quad [15]$$

$\lambda_a$ - Factor agarre ancla				$\lambda_c$ - Factor agarre cadena		
Ancla	Calidad del Fondo		Garreo	Agarre	Garreo	
	Arena	Barro			Arena	Barro
JIS	3,5	3,2	1,5	0,75 ~ 1,0	0,75	0,60
AC 14	7,0	10,6	2,0			

Analizando la información vertida en la tabla (poder de agarre en función del ángulo de inclinación), observamos que si la cadena forma un ángulo de 15° con el fondo o lecho del fondeadero a la altura del arganeo, el poder de agarre del ancla se reduce a más de la mitad, 40%. Entonces nos encontramos ante un importante elemento de juicio para valorar las consecuencias que puedan surgir cuando por cualquier circunstancia no sea posible filar la cadena suficiente para lograr la tracción horizontal deseada.

Poder de agarre en función del ángulo de inclinación (ROM 3.1-99)				
Ángulo de inclinación de la cadena con el fondo	0°	5°	10°	15°
Poder de agarre maximo (%)	100%	80%	60%	40%

### LONGITUD DE CADENA A FILAR PARA FONDEAR

Como nos podemos imaginar, la longitud de cadena que debe filar un buque para estar fondeado con la seguridad suficiente y necesaria depende de numerosos factores:

- La naturaleza y la profundidad del fondeadero.
- El tiempo que el buque permanecerá fondeado.
- El espacio disponible para bornear y la distancia a peligros fijos, a otros buques, etc.
- El abrigo que ofrece el fondeadero al viento, oleaje o corrientes.
- El estado del tiempo predominante y pronosticado.
- La intensidad y sentido de las corrientes prevalecientes.

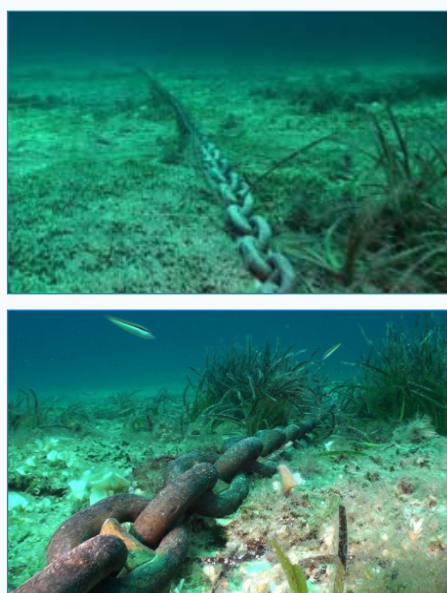


Fig. 21 – Cadena yacente o sembrada sobre el fondo.-  
Fuente: [www.wordpress.com](http://www.wordpress.com).

Para una profundidad determinada, la longitud ideal de cadena a filar resulta ser la de una catenaria tal que asegure una tracción horizontal sobre el arganeo del ancla,

cuando el esfuerzo que el buque ejerce sobre la cadena es igual a la carga del trabajo de aquella. Si ese esfuerzo crece, la tensión de la cadena aumenta, la curvatura de la catenaria decrece, y se genera una componente vertical que tiende a llevar el ancla haciéndola garrear antes que la cadena se vea sometida a esfuerzos anormales. Si por filar poca cantidad de cadena no se logra tal fin, el ancla perderá gran parte de su poder de agarre y con toda seguridad garreará. Una longitud de cadena mayor de la ideal puede someterla a esfuerzos superiores a su carga de trabajo, debidos al peso propio, con riesgo de deformarse o llegar a la rotura. Por lo tanto, para maximizar la fuerza de agarre de un ancla, resulta que la longitud de cadena debe ser la suficiente para garantizar que, con buen tiempo, un tramo de longitud adecuada de cadena descansa sobre el fondo, permitiendo a la cadena tirar del ancla horizontalmente.



La energía absorbida por la cadena, conviene que sea la mayor posible, pues el efecto de resorte que se genera es el más conveniente para amortiguar los estrechonzos que se producen al estar el buque fondeado. De ahí que haya que evitar la caída de la cadena perpendicularmente al fondo; sabido es que la pérdida de fuerza viva es proporcional al cuadrado de la velocidad. Las roturas de las cadenas son habitualmente debidas a su mal estado a causa del desgaste por el uso, entonces es conveniente evitar el esfuerzo vertical a que se somete al zarpar el ancla.



Fig. 22 – Capesize “China Steel Team” con su ancla de babor fondeada.-  
Fuente: Andrew Mackinnon.

En la actualidad, la mayoría de los buques mercantes cuentan con longitudes de cadena que varían entre 9 y 27 grilletes de cadena de 27,5 metros cada uno, cuyas longitudes están comprendidas entre 247 metros y 742 metros por ancla. Suponiendo que el tamaño de la cadena haya sido elegida con una carga igual a la máxima capacidad de agarre de su ancla, se puede aceptar que la longitud mínima de cadena a filar para garantizar que se ejerza una tracción horizontal sobre el ancla depende únicamente de la profundidad del lugar y del tipo de cadena. Debido a ello, para calcular la longitud de cadena a filar bajo varias circunstancias de sonda y condiciones meteorológicas esperadas se pueden utilizar cualquiera de los siguientes métodos empíricos:

Métodos Empíricos para Calcular la Longitud de Cadena			
Condición	Método Japonés (metros)	Método Inglés (metros)	Otros Métodos (grilletes)
Buen tiempo	$L_C = (3 \cdot S_c) + 90$	$L_C = 39 \cdot \sqrt{S_c}$	$L_C = \left[ \left( \frac{S_c}{10} \right) + 3G \right] + 2G_{swel} + 1G_{lastre}$
Regular o Mal tiempo	$L_C = (4 \cdot S_c) + 145$	$L_C = 1,55 \cdot \sqrt{S_c}$	$L_C = \left[ \left( \frac{S_c}{10} \right) + 5G \right] + 2G_{swel} + 1G_{lastre}$
Nota.- Los siguiente símbolos indican: “G” grillete de cadena, “Sc” sonda en la carta y “Lc” longitud de cadena.			

Seaways Magazine - 1983		
Buque (TPM)	Longitud Estimada de Cadena	
	Carga (mts)	Lastre (mts)
20.000 – 50.000	7 x Sonda	9 x Sonda
50.000 – 90.000	7 x Sonda	9 x Sonda
> 90.000	6 x Sonda	8 x Sonda

Los métodos empíricos recopilados en los cuadros anteriores, son utilizados a diario por capitanes y prácticos de todo el mundo. Sus valores van incrementándose en función de diferentes parámetros como son la mar, el viento, la corriente, la eslora y la condición del buque. Existen a bordo un grupo de normas tradicionales que implantan para el caso de buen tiempo una longitud de cadena entre 3 y 5 veces el fondo; con fuerza

Beaufort 3 o 4 se debe filar 6 veces el fondo; para Beaufort 5 o 6 será válida una longitud de cadena de 8 veces el fondo, y con fuerzas mayores recomendamos virar el ancla y salir a capear<sup>9</sup>. La práctica habitual de los capitanes es tomar un valor fijo como un múltiplo de la sonda; todos los autores coinciden en afirmar que con buen tiempo hay que filar cadena de 3 a 4 veces el fondo y con mal tiempo de 5 a 8 veces la sonda. Cuando au-

menten las condiciones climatológicas, el capitán debe filar cadena extra suficiente para garantizar la tracción horizontal sobre el ancla se mantenga.

RADIO DE BORNEO Y  
DISTANCIA DE SEGURIDAD

En relación con el radio de borneo y superficie ocupada por un buque fondeado a la gira<sup>10</sup>, el Japan P&I

9.- Durante muchos años se han fondeado los buques bajo el criterio de 3 a 4 veces el fondo, lo que es suficiente mientras la carga se ejerza con regularidad y el buque permanezca inmóvil; sin embargo, este criterio práctico puede generar errores graves, si no se actualizan con las importantes innovaciones que han sufrido los buques y la naturaleza de los materiales en uso hoy en día.  
10.- (según ROM 3.1-99), se dice que un buque fondea a la gira con un ancla por proa, cuando deja filar la cadena, a la que está unida el ancla, a través del escobén, permitiendo que el ancla haga presa en el fondo, quedando así como elemento único de fijación. Para virar el ancla se actúa sobre la cadena por medio del molinete, almacenándose la cadena levantada en las cajas de cadena.

Club señala que lamentablemente, no existe un criterio definido como tal, que pueda utilizarse con garantía suficiente para calibrar la distancia de seguridad a otros buques, bajos, obstrucciones, etc. Por tal motivo, los capitanes deben tener en consideración los puntos siguientes cuando calculen el área que pueden necesitar al garrear su ancla, mientras restablecen la maniobrabilidad de sus buques.

- 1) Estimar un círculo con un radio mínimo de borneo formado por la cadena más la eslora total del buque.
- 2) Valorar la velocidad del buque cuando el ancla garrea bajo la fuerza de la presión del viento, ya que puede alcanzar aproximadamente los 3 o 4 nudos.
- 3) Calcular el tiempo necesario para virar el ancla y su cadena. La cadena se recuperará a un promedio de 9 metros por minuto, es decir, virar un grillete de 27,5 metros llevará sobre 3,06 minutos, pero puede darse la circunstancia (que se da) de no poder virarla de forma continuada.
- 4) Considerar el tiempo necesario para alistar la máquina principal. Es importante tener la máquina en atención si empeoran las condiciones meteorológicas y si se prevé la posibilidad de que el ancla garree.
- 5) Sopesar el tiempo necesario para conseguir suficiente velocidad de propulsión cuando se restablezca la maniobrabilidad después de que el buque haya sido empujado a sotavento con el viento por el través.

El radio de borneo " $R_B$ " de un buque mercante fondeado a la gira o en línea medido horizontalmente al nivel de la cubierta se puede calcular (según ROM 3.1-99), por el método determinístico sumando los siguientes conceptos representados en la siguiente fórmula (Fig. 23 derecha)

$$R_B = E_T + L_C + D_S + M_S + R_S \quad [19]$$

- Eslora total del buque medida a nivel de la cubierta a la intemperie " $E_T$ ".
- Longitud de cadena que se prevé filar en el fondeadero " $L_C$ ".
- Distancia adicional de seguridad " $D_S$ " para cubrir imprecisiones del fondeo, destinada a englobar errores tales como los debidos a la exactitud del método empleado para situar la posición del buque a fondear, o el recorrido del buque en el tiempo que transcurre entre el momento en que se da la orden de fondo y el instante en que el ancla termina por hacer cabeza en el fondo. También influye la bondad cartográfica y el grado de adiestramiento del personal que interviene en la operación. Esta distancia de seguridad depende de diversos factores, pudiendo aceptarse un valor que varía entre 25 y el 50% de la eslora total del buque considerado.
- Margen apropiado de preaviso para el caso de garreo del ancla " $M_S$ " que puede evaluarse con los criterios siguientes, determinados en función de la velocidad del viento (criterios análogos podrían establecerse para la acción aislada o combinada de viento, oleaje y corriente, considerando la resultante de las fuerzas longitudinales que actúen sobre el buques):

Margen de Seguridad		
Velocidad del Viento	Resistencia del Fondo	
	Buena	Mala
Fondeo con velocidad de viento $\leq 10$ m/s	0 mts.	30 mts.
Fondeo con velocidad del viento de 20 m/s	60 mts.	90 mts.
Fondeo con velocidad del viento 30 m/s	120 mts.	150 mts.
Fondeo con velocidad del viento $\geq 30$ m/s	180 mts.	210 mts.

- Resguardo de seguridad " $R_S$ " que puede cifrarse en un 10% de la eslora total, con un mínimo de 20 metros.

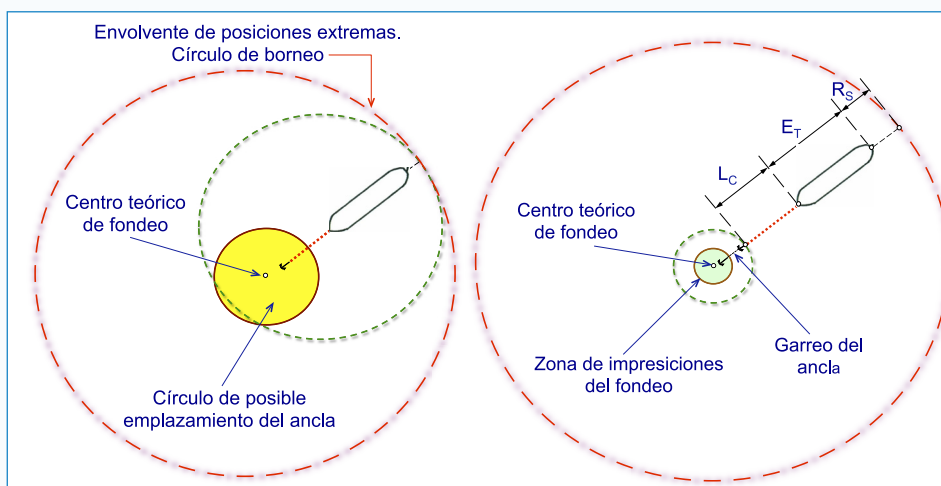


Fig. 23 – Radio de borneo (izquierda) y esquema de fondeo de un buque fondeado a la gira (derecha).-  
Fuente: ROM 3.1-99.

Referente a la separación entre buques fondeados se debe considerar que el radio y la superficie de borneo ocupada deducida en función de la fórmula (19) aseguran que si cierto número de buques de la misma clase fondean a una distancia igual al doble de los valores calculados, se podrán producir las siguientes contingencias sin que ocasionen riesgos ni dificultades:

- 1) Dos buques adyacentes podrán bornear en direcciones opuestas en máximo acercamiento con sus cadenas completamente tesas. Esto es poco probable que llegue a suceder, ya que con vientos y corrientes apreciables presentarán en forma similar. Existe la posibilidad de que tiendan a bornear en sentido contrario por acción de la corriente, cuando ésta rota o

se invierte, y a la vez existan vientos leves, pero en ese caso las cadenas no se encontraran bien templadas.

- 2) Un buque fondeado en la enfilación de otros dos próximos adyacentes, puede virar su ancla y salir del fondeadero sin peligro de abordarlos.
- 3) Un buque puede efectuar su aproximación para fondear entre otros dos buques ya fondeados, sin riesgo de que los adyacentes, al bornear, le dificulten su maniobra para ocupar el punto de fondeo.

En el caso de buques de diferente tipo o clase, se les deberá separar una distancia igual a la suma de sus respectivos radios de borneo o superficies ocupadas, para cumplir con las tres condiciones anteriores.

En el caso particular de un puerto o un fondeadero de dimensiones reducidas, puede ocurrir que el espacio disponible no permita separar los buques la distancia anterior, pudiéndose disminuir ésta hasta aceptar como mínimo una separación igual a la mitad del valor deseable establecido para buques de la misma clase; si fueran de distintas clase o tipo se adaptará como separación el mayor radio de borneo. En este caso se cumplirían las contingencias números 2) y 3) ya especificadas teniendo que es-

tar prevenidos contra borneos correspondientes a la posibilidad 1); pero en condiciones normales y en un buen tenedero, el riesgo que se corre es pequeño, pudiendo incluso eliminarlo disponiendo un remolcador que ayude a los buques a presentar en la misma posición.

Pero si aún así el espacio disponible resultase insuficiente, puede reducirse aún más la separación entre los buques calculando el radio mínimo de borneo,  $R_{BM}$ , de la manera siguiente:

$$R_{BM} = E_T + L_C + D_S + R_s \quad [20]$$

Este criterio elimina la posibilidad de poder recurrir a filar más cadena de la fondeada ante el riesgo de un empeoramiento de las condiciones climáticas; por tanto, sólo puede aplicarse, si se establece como condición que el buque deberá abandonar el fondeadero cuando se alcancen las condiciones climáticas que se utilizaron para determinar la longitud de la cadena fondeada.

El U.S. Sailing recomienda la utilización de la fórmula (21) "Anchor swing radius report" elaborada en función de la longitud de cadena y la profundidad, pudiendo ser utilizada sin problemas a pesar de no ser tan exacta como las dos anteriores.

$$R_B = E_T + \sqrt{(L_C)^2 - [(S_C + a_1)^2]} \quad [21]$$

Supongamos el caso de tener a un buque fondeado con su cadena completamente tesa. Si en tal condición determinamos su radio de borneo obtendremos un valor que nos orienta bastante sobre la distancia de seguridad que se debe aplicar con referencia a otros buques ya fondeados. Vamos a suponer que en un determinado instante, justo antes de que se exceda la capacidad de agarrar del ancla debido al impacto de fuerzas externas sobre el buque, se logra el máximo estiramiento de la cadena del ancla fondeada (Fig. 24).

- $AB \approx L_C$  = Longitud de cadena filada medida desde el extremo exterior del escoben.
- $AD \approx x$  = Distancia horizontal sobre el fondo entre las verticales del ancla y escoben.
- $AH \approx RB_{mx}$  = Máximo radio de borneo.
- $AK \approx RB_{SG}$  = Radio de borneo de seguridad.
- $BC \approx \alpha_1$  = Distancia, medida en la vertical del escoben, entre este y el nivel de la mar.
- $BD \approx S_C + \alpha_1$  = Distancia vertical, tomada en la vertical del escoben, entre éste y el fondo del tenedero.
- $BG \approx E_F$  = Eslora medida desde la vertical del escoben y la popa del buque.
- $CD \approx S_C$  = Sonda en la carta.
- $HK \approx M_{SG}$  = Margen de seguridad sobre el 35% de  $E_F$ .

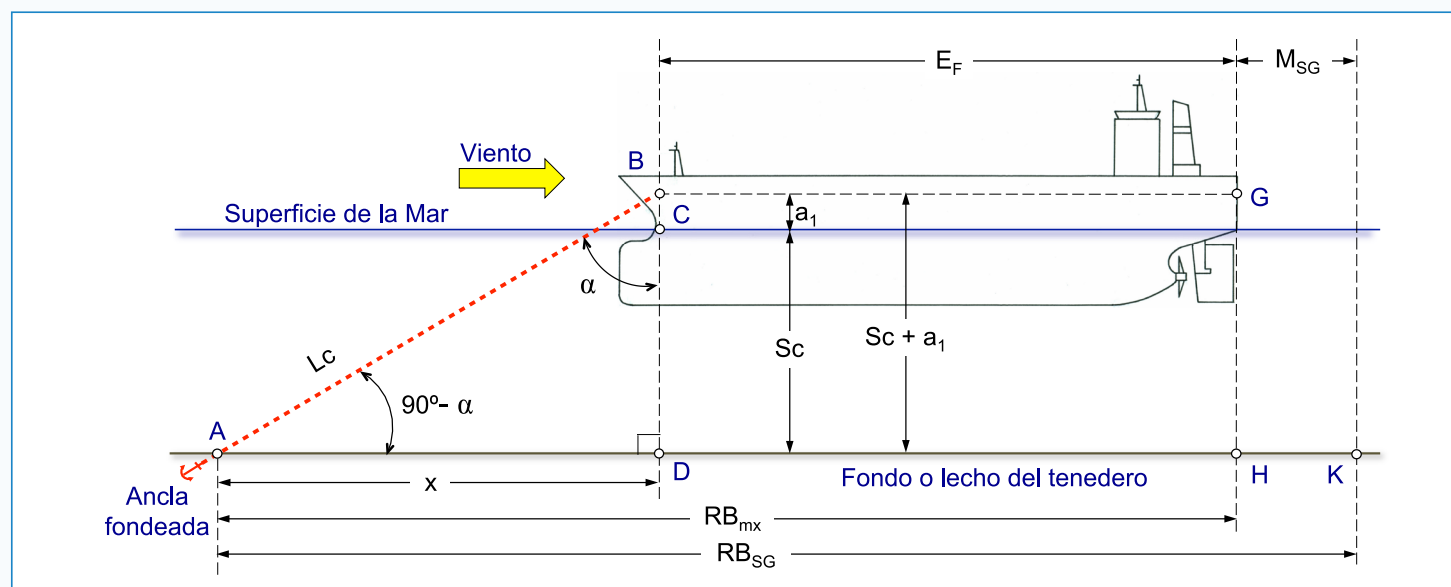


Fig. 24 – Teórico máximo radio de borneo.-  
Fuente: Elaboración propia.



Pasemos a deducir el valor del radio de borneo de seguridad y máximo de acuerdo con el supuesto, para ello trabajamos con el triángulo rectángulo  $ABD$

a) Cálculo del ángulo de fondeo.-

$$BD = AB \cdot \cos \alpha \rightarrow \cos \alpha = \frac{BD}{AB} \rightarrow \cos \alpha = \frac{Sc + \alpha_1}{Lc} \quad [22]$$

b) Cálculo de la distancia entre verticales.-

$$AD = AB \cdot \sin \alpha \rightarrow x = Lc \cdot \sin \alpha \quad [23]$$

c) Cálculo del radio de borneo máximo.-

$$AH = AD + BG \rightarrow RB_{mx} = x + E_F \quad [24]$$

d) Cálculo del radio de borneo de seguridad.-

$$AK = AD + BG + HK \rightarrow RB_{SG} = x + E_F + 35\%E_F \quad [25]$$

Resulta importante, tomar la popa de otro buque fondeado como referencia para establecer la distancia de seguridad al mismo es lo más apropiado.

### ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE UN BUQUE FONDEADO A LA GIRA O EN LÍNEA

A medida que aumenta la fuerza de impacto del viento también aumenta la longitud de cadena afectada, y asociando a ambos se encuentran las diferentes formas de catenaria que alcanza la cadena sucesivamente, cuyos parámetros corresponden a valores de la fórmula (8), tratándose de una parábola la curva que relaciona los parámetros  $T_0$  y  $S$  (Fig.25).

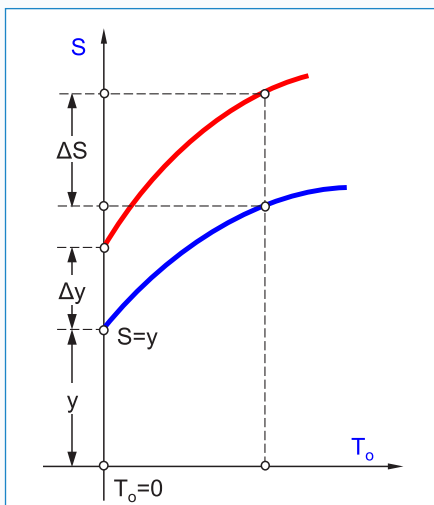


Fig. 25 - Relación entre  $T_0$  y  $S$ .  
Fuente: Fondeo: teoría matemática.

Cuando  $T_0 = 0$ , es decir, ausencia de viento, mar o corriente afectando al buque, la longitud de cadena será  $S = y$  (cadena a pique). Si la fuerza del viento aumenta de forma progresiva, llegará un mo-

mento en el que toda la cadena, excepto el ancla, estará levantada del fondo ocurriendo cuando  $T_0 = S$  (catenaria límite). Si la fuerza de impacto del viento hace que  $T_0 > S$  el tiro se hará ante la presencia de una componente vertical que tiende a levantar la caña del fondo y posteriormente el ancla adquirirá tendencia a garrear. Si hay marea, entonces variará el valor de " $y$ ", para un mismo viento a una carrera de marea " $\Delta y$ " corresponderá un  $\Delta S$  necesario. En el caso de existir corrientes, su efecto para estos cálculos, es igual al del viento, por originar una fuerza de arrastre en su rozamiento con la obra viva.

Un buque fondeado a la gira o en línea está sometido a la acción de la fuerza del viento  $T_v$ , para alcanzar el equilibrio, el agarre del ancla debe compensar la fuerza del viento  $T_0 = T_v$ . A partir de aquí y cuando no existe la igualdad indicada, podrá suceder que: si  $T_0 > T_v$  (el agarre del ancla es superior a la fuerza del viento), el buque avanzará hacia la vertical del ancla y parte de la cadena se depositará en el lecho hasta que el nuevo

valor de  $S$  establezca el equilibrio. Si  $T_0 < T_v$  (el agarre del ancla es inferior a la fuerza del viento), el buque retrocederá y con su movimiento elevará del fondo la cantidad necesaria de cadena para que se restablezca el equilibrio, en caso de no ser así, el ancla estará afectada de una componente vertical y garreará.

En el supuesto que nos ocupa (viento con fuerza  $T_v$ ), puede afirmarse que su intensidad es proporcional a la presión ejercida sobre la obra muerta del buque, representada por  $W$ . La presión,  $W = k_1(V_v^2/16)$  (presión dinámica del viento en  $\text{kg/m}^2$ ) proporcional a la velocidad del viento  $V_v$  (en  $\text{m/s}$ ) puede determinarse por medio de la incorporación de un coeficiente,  $k_1$ , con valor comprendido entre las constantes 1 y 1,3; dependiendo de cómo esté de resguardado el fondeadero.

En buques fondeados a la gira, la presión ejercida por el viento en la zona de proa y la succión en la zona de popa obligan a los buques a girar, poniéndose proa al viento.

Límite de Permanencia de un Buque en un Fondeadero			
Tipo de Fondeo	Velocidades Absolutas		
	Viento	Corriente	Altura ola
A la gira o en línea	24,0 m/s.	2,0 m/s.	3,5 m/s
Barbas de gato	30,0 m/s.	2,0 m/s.	4,5 m/s
Entrante / Vaciente	24,0 m/s.	2,0 m/s.	3,5 m/s

Fuente: ROM 3. 1-99

Por consiguiente, la fuerza se define en función de la superficie del buque que quedará por encima de la línea de flotación, cuando esté fondeado.

$$T_v = \frac{3}{4} \cdot W \cdot M \cdot H \quad [26]$$

Siendo  $M$  la manga y  $H$  la altura desde la línea de flotación hasta el tope de la caseta más alta con manga superior a  $M/4$ , en metros. Si deseamos calcular la intensidad del viento que soporta un buque fondeado en aguas abrigadas ( $k_1 = 1$ ) en las condiciones que determinan  $S$  e “ $y$ ”, bastaría con despejar el parámetro  $V_v$  que define la velocidad del viento en m/s, en la ecuación (26) y tener presente que  $T_v = T_o$ , ecuación (15).

$$P_c \cdot \frac{S^2 - y^2}{2y} = \frac{3}{4} \cdot \frac{V_v^2}{16} \cdot M \cdot H \rightarrow V_v = 3,266 \cdot \sqrt{\frac{P_c}{M \cdot H} \cdot \frac{S^2 - y^2}{y}} \quad [27]$$

### FONDEAR EN AGUAS PROFUNDAS

Desafortunadamente, los buques con frecuencia necesitan fondear en aguas profundas por existir alrededor del mundo un número de fondeaderos donde la profundidad del agua es un factor a considerar, con la presencia de un riesgo real de pérdida de ancla y cadena al fondear si no se lleva acabo de forma controlada. Recordemos que la publicación “*Anchoring Systems and Procedures for Tankers*” de OCIMF, ofrece claros conceptos sobre este asunto, (...) lo que es aplicable para petroleros grandes es también aplicables para otros grandes buques tales como bulkcarriers y containeros (...).

Con el fin de orientar, los armadores deben incluir en sus procedimientos operacionales asociados a la maniobra de fondeo, el concepto de aguas profundas especificando el límite de agua asociado al concepto, así como el límite de sonda a partir de la cual queda prohibido fondear. La máxima profundidad no debería ser mayor de 82 metros. Sin embargo, hay fondeaderos de 90 y 100 metros como el fondeadero de Khor Fakkan (Fujhaira). Si nuestro buque cuenta con un molinete especial, no hay problema, pero si en el certificado del molinete no hay una referencia especial a la sonda máxima, el límite estará en 82 metros. El criterio más común para toda la sociedad náutica es utilizar como puntos límites a partir de los cuales se sitúa el concepto de aguas profundas, entre 40 y 85 metros de sonda, quedando prohibido fondear en aguas que excedan de los 100 metros a menos que sea una situación especial donde el

Equipment for Self-propelled Ocean-going Oil Tankers and Bulk Carriers (ABS – 2011)						
Deep Water Equipment Numeral	Deep Water Equipment Numeral (DE)*	High Holding Power Stockless Bower Anchors		Chain Cable Stud Link Bower Chain		
		Num.	Mass per Anchor (Kg)	Length (mts)	Diameter	
					High-Strength Steel (grade 2) (mm)	Extra High-Strength Steel (grade 3) (mm)
D31	1.670	3	14.150	1.017,5	105	84
D32	1.790	3	14.400	990	105	84
D33	1.930	3	14.800	990	105	84
D34	2.080	3	15.200	990	105	84
D35	2.230	3	15.600	990	105	84
D36	2.380	3	16.000	990	105	84
D37	2.530	3	15.900	990	105	84
D38	2.700	3	15.800	990	105	84
D39	2.870	3	15.700	990	105	84
D40	3.040	3	15.600	990	105	84
D41	3.210	3	15.500	990	105	84
D42	3.400	3	15.400	990	105,5	84
D43	3.600	3	16.600	990	106,5	85
D44	3.800	3	17.800	962,5	107,6	87
D45	4.000	3	18.900	962,5	111	90
D46	4.200	3	30.100	962,5	114	92
D47	4.400	3	22.000	962,5	117	95
D48	4.600	3	22.400	962,5	119,3	97
D49	4.800	3	23.500	962,5	121,7	99
D50	5.000	3	24.000	935	125,2	101,5
D51	5.200	3	24.500	907,5	130	105
D52	5.500	3	25.000	907,5	132,9	107,3
D53	5.800	3	25.500	880	137	111
D54	6.100	3	25.500	880	140	112,7
D55	6.500	3	26.000	852,5	142,8	115,3
D56	6.900	3	26.500	852,5	147	117,5
D57	7.400	3	27.000	825	152	120,7
D57	7.900	3	27.000	825	154,1	123,3
D59	8.400	3	27.000	797,5	157,9	127
D60	8.900	3	27.000	770	162	132
D61	9.400	3	27.000	770	-	135
D62	10.000	3	27.000	770	-	138,7
D63	10.700	3	27.000	770	-	142,5
D64	11.500	3	29.500	770	-	147
D65	12.400	3	31.500	770	-	152
D66	13.400	3	34.500	770	-	157
D67	14.600	3	38.000	770	-	162

\* For intermediate values of Deep water Equipment Number, use equipment complement in sizes and weights given for the lower equipment number in the table.

capitán considere que es extremadamente necesario. Según el ABS, en el caso de buques con numeral de equipo para aguas profundas, el límite puede ampliarse a 120 metros de sonda, 3 nudos de corriente, 27 nudos de viento y 3 metros de ola.

El método más seguro para fondear en aguas profundas consiste en arriar el ancla y la longitud de

cadena seleccionada previamente con el molinete engranado observándose los siguientes puntos:

- 1) Comprobar que los ferodos están en buen estado y el estopor ajusta adecuadamente.
- 2) Arriar toda la cadena con el molinete engranado, es decir, bajo potencia hidráulica.

- 3) Mientras se baja el ancla el buque debe permanecer completamente parado, sin inercia alguna.
- 4) Cuando tengamos sobre el fondo el ancla y 1 o 2 grilletes de cadena, seleccionamos “muy poca atrás”, y así extender la cadena de forma adecuada. No se debe superar medio nudo de inercia atrás.
- 5) Después de que el buque tenga toda la longitud de la cadena seleccionada en la mar, cerramos la guillotina del estopor, y cuando haga cabeza, frenamos la cadena debidamente y desengranamos el molinete.

Sin embargo, esta maniobra requiere extremar la precaución mientras se realiza, pues hay que llevar a cabo un cálculo exacto del movimiento del buque sobre el fondo, con el fin de evitar posibles daños al molinete.

Algunos armadores permiten para profundidades igual o superiores a 35 metros pero inferiores a 70 metros fondear de la forma siguientes: con el molinete engranado, se apea y baja el ancla hasta quedar sobre 10 o 15 metros del fondo, seguidamente se desengrana y controlando la salida de la cadena con el freno se fondea por gravedad. Al tener sobre un grillete en el fondo, se da una ligera palada atrás para ayudar a extender la cadena.

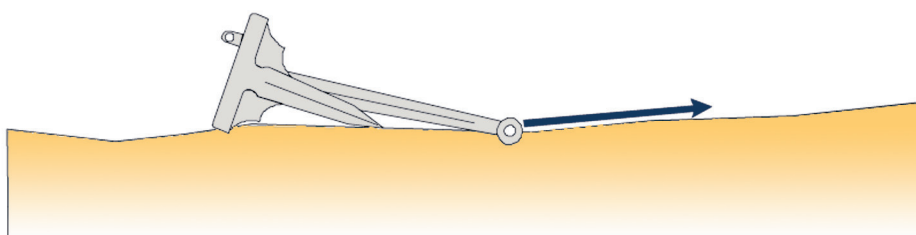
#### CONDICIONES POR LAS CUALES GARREAN LAS ANCLAS

El término “garrear” se define como el arrastre del ancla por el lecho del fondeadero sin que se clave o sujete en el mismo. Un ancla garrea cuando su capacidad de agarre se excede por el impacto de fuerzas extremas sobre el buque que suele ocurrir en condiciones meteorológicas adversas. En este sentido, un ancla que no ha hecho presa al ser fondeada puede garrear de diferentes maneras: en primer lugar, si el fondo es muy duro para que agarren las uñas, garreará intermitentemente con un movimiento de saltos al golpear los diferentes accidentes; por el contrario, cuando el lecho

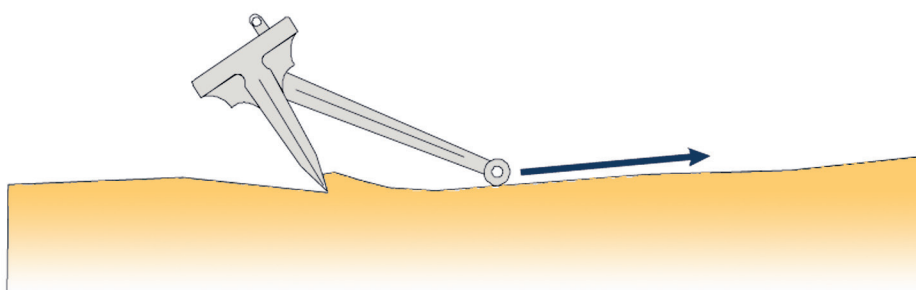


Fig. 26 – Distancias de seguridad entre varios buques fondeados a la gira.-  
Fuente: [www.flickr.com/photos](http://www.flickr.com/photos).

(a) ANCHOR DRAGGING ON HARD SEAFLOOR WITH FLUKE TIPS UNABLE TO BITE IN.



(b) ANCHOR STANDING UP ON HARD SEAFLOOR AFTER TIPS HAVE BITTEN IN. FLUKES UNABLE TO PENETRATE.



(c) ANCHOR STANDING UP BUT TIPPING TO SIDE AND DRAGGING.

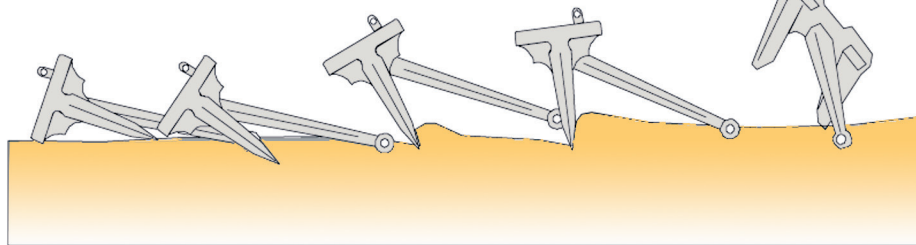


Fig. 27 – Garreo de un ancla sobre un fondo duro.-  
Fuente: US Navy. Salvage Manual. Volume 1.

sea lo suficientemente blando pero de consistencia irregular, el ancla puede enterrarse, volcarse, salirse, volver a enterrarse e ir repitiendo este proceso de forma continuada. De cualquier manera, el garreo se aprecia cuando la cadena, de

forma alternativa, se temple y se afloja al ejercer el buque fuerza sobre ella.

Es importante apuntar que puede llevar tiempo darnos cuenta que nuestro buque se encuentra



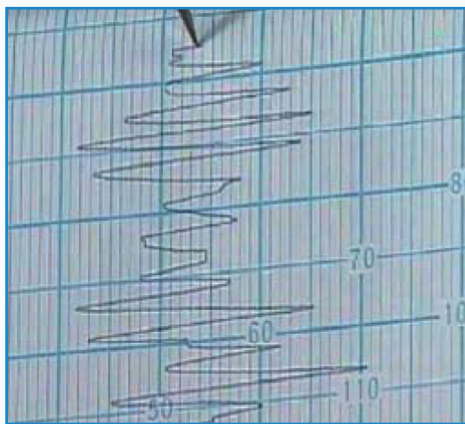


Fig. 28a – Registrados de rumbo.-

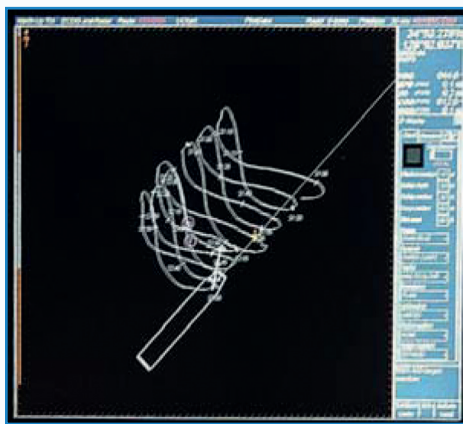


Fig. 28b – Imagen de garreo ECDIS.-

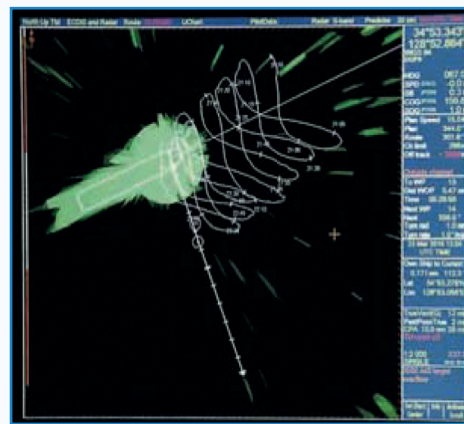


Fig. 28c – Imagen de garreo Radar.-

garreando, igualmente sucede con la maniobra de virar el ancla y la cadena en estas circunstancias. Tener conciencia del tiempo transcurrido entre el periodo inicial de detección del posible garreo y la consecución de la plena maniobrabilidad, por estar el buque derivando sin máquina corriendo un serio peligro de abordar a otros buques, estructuras, y/o entrar en aguas poco profundas que lo emboken a una varada inminente, resulta fundamental.

Los capitanes y oficiales tienen que ser conscientes de cómo la longitud de la cadena en relación con la sonda, los efectos del viento, las olas y la intensidad de la corriente sobre el buque, puede llegar a ejercer fuerzas excesivas sobre el ancla y la cadena haciendo que zarpe del fondo y garree. Queda a cargo del oficial de guardia, la necesidad responsable de comprobar detalladamente la posición del buque mientras permanece fondeado.

A no ser que el mal tiempo cause que el buque zozobre, ningún accidente serio suele ocurrir cuando un buque garrea, siempre y cuando exista suficiente espacio a su alrededor para maniobrar y cuente con el tiempo necesario para restablecer su pleno control. Todas estas consideraciones llegan a tener importancia destacable en el caso de fondeaderos abarrotados

donde podría ser insuficiente el espacio entre buques para poder manejarse de forma oportuna en una emergencia tal y como el garreo del ancla junto con la deriva asociada sin control.

#### Como detectar si un ancla esta garreando

Los puntos que señalamos a continuación, están sobradamente contrastados, sin embargo solo confirman que el ancla está garreando, no predicen cuando es probable que el garreo vaya a comenzar (Fig. 28):

- Sin lugar a dudas, la forma más fiable para determinar si el ancla garrea, es comprobar la situación de fondeo mediante varios métodos para confirmar si permanece dentro de radio de borneo dibujado en la carta náutica, cuando la posición del buque se localice fuera del mismo, es probable que el ancla esté garreando. No debemos utilizar un único método (visual o electrónico) para posicionar al buque en la carta náutica, es recomendable usar varios tales como, alidadas, Ecdis, Radar, Arpa<sup>11</sup>, es también conveniente y práctico activar las alarmas de fondeo en los satélites Gps.
- La proa pierde la enfilación con

el viento, apartándose de él.

- El costado que el buque presenta al viento (barlovento) se mantiene constante, no cambia.
- La cadena no afloja justo antes de que el costado del buque contra el viento gire.
- Comprobar si existen vibraciones y/o esfuerzos poco habituales al estar la cadena de través.
- Comprobar si el registrador de rumbos del buque no indica un punto de movimiento en forma de ocho.

Gracias a un estudio desarrollado actualmente sobre el comportamiento de las anclas al garrear, se ha podido demostrar que existen dos etapas asociadas al proceso, que nos informan que el garreo del ancla puede estar a punto de ocurrir, incluso antes de ser detectado por los métodos ya indicados (Fig.29).

La primera, está relacionada con los movimientos de guiñadas y deriva del buque cuando está fondeado. En la zona "A" se aprecia el movimiento en forma de ocho del buque afectado por las guiñadas de su proa. En la zona "B" vemos que cuando la fuerza de impacto del viento comienza a superar la fuerza de agarre del ancla, el bu-

11.- Respecto al Radar y Arpa, el mejor recurso para evitar riesgos durante la estancia en el fondeadero es tenerlos trabajando en "movimiento verdadero" por permitir visualizar mejor el movimiento del buque como si se trata de la carta del puerto o rada, siendo útil además para efectuar un cambio de fondeo, teniendo incluso la posibilidad de marcar el nuevo punto en la pantalla. Además, permite establecer diferentes demoras y distancias a otros buques fondeados y a puntos de la costa destacados y fácilmente reconocibles. La triangulación de la que hablamos es fundamental para el fin que perseguimos.

que empieza a ser arrastrado hacia sotavento. Durante esta etapa, debe ser relativamente fácil virar el ancla y la cadena para recuperar la maniobrabilidad del buque.

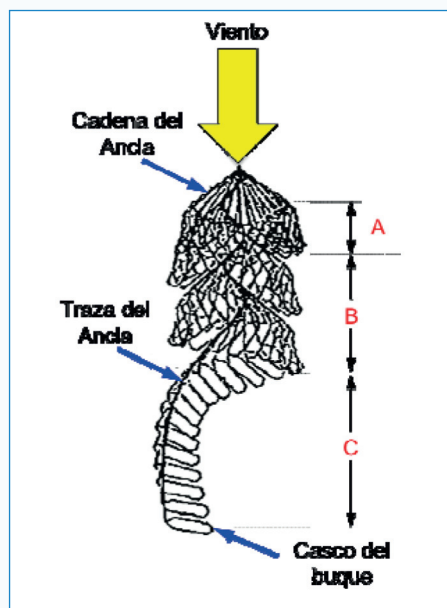


Fig. 29 – Diagrama por etapas.-  
Fuente: Japan P&I Club

La segunda, está asociada directamente con el garreo del ancla debido a la presión del viento, destacando que si la fuerza del viento llega a ser muy fuerte, un costado del buque gira contra él siendo literalmente empujado y movido hacia sotavento a cierta velocidad, como se observa en el área “C”. Durante esta etapa, es difícil virar el ancla y su cadena, pero si fuese posible, llevaría una cantidad de tiempo considerable. Los buques de área vélica importante (cocheros y contenedores, etc.) pueden perder el control a pesar de utilizar la máquina principal y la hélice de proa en el momento de virar el ancla.

En la actualidad, los ordenadores se utilizan para calcular las fuerzas externas que actúan sobre el ancla y la cadena. Estos cálculos utilizan la ecuación de la catenaria que, como ya se indicó, considera como variable la profundidad del agua, el poder de agarre del ancla, el tipo de ancla, las fuerzas medioambientales y las fuerzas que actúan sobre el molinete y el estopor. El resultado nos informa

de la longitud mínima requerida de cadena (catenaria y sobre fondo) y del área de seguridad necesaria alrededor del buque.

#### Medidas de emergencia a considerar cuando se produce el garreo de un ancla

Inmediatamente que el ancla comience a garrear deberán tomarse contramedidas que incluyan: virar el ancla de forma que se pueda restablecer la maniobrabilidad y seguidamente, volver a fondear de nuevo si así lo deseamos, buscar refugio en un área más segura o regresar a mar abierta. Un requisito fundamental para atajar este problema con garantías es, disponer del espacio suficiente en torno a nuestro buque para maniobrar en función de otros buques fondeados en las inmediaciones, y de esta forma tener tiempo para alcanzar una posición de control apropiada al viento y virando el ancla. Sin embargo, un estudio de los casos donde los buques han garreando, revela que los accidentes tales como colisiones y varadas, son casi siempre el resultado de un buque que no ha podido restablecer su control a tiempo.

El Japan P&I club señala que en la fase más temprana, cuando los movimientos de campaneio llegan a ser importantes y antes de que el buque sea empujado a sotavento, puede ser beneficioso largar más cadena o utilizar un segundo ancla. Sin embargo como se ha discutido anteriormente, la incorporación de más cadena no se espera que incremente significativamente la potencia de agarre del sistema por lo que no se considera un método efectivo. Fondear un segundo ancla que actúe como freno (filando aproximadamente 1,5 veces el fondo), puede reducir de forma efectiva el llamado movimiento de campaneio. Sin embargo, es imposible parar por completo el mismo. Hay que tener cuidado al utilizar el segundo ancla para evitar que las cadenas se enreden o se den vueltas.

Así mismo, también señalar que mientras se garrea el buque está siendo forzado hacia sotavento, el uso de la hélice de proa para hacer que el buque se aprobe al viento podría ser efectivo. Sin embargo, para tener éxito, la mínima potencia de la hélice de proa debe ser igual a la fuerza del viento que nos afecta<sup>12</sup>.

Por último y con referencia a la utilización de la máquina principal, el Japan P&I club aconseja que para mantener la proa del buque al viento, se deben utilizar grandes ángulos de timón, aplicando la potencia necesaria de la máquina principal para garantizar el objetivo buscado. Con mal tiempo, con balances, cabeceo y guiñadas de rumbo, etc., podrían necesitarse ajustes en la máquina principal diferentes, siempre teniendo en cuenta la necesidad de evitar que la hélice quede fuera del agua.

#### PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES ASOCIADOS AL FONDEO DE BUQUES

Las compañías deben adoptar dentro de su Sistema de Gestión de la Seguridad, los procedimientos, instrucciones y listas de comprobaciones, apropiadas y aplicables a las operaciones más importantes que se lleven a cabo a bordo de sus buques en relación con la seguridad de la tripulación, del buque y la protección del medio ambiente. Los procedimientos existen para proporcionar instrucciones y cubrir todos los riesgos esperados, debiendo ser también claros y preceptivos. Cualquier procedimiento relacionado con la maniobra de fondear tiene que incluir instrucciones para guiar sobre:

- Como facultar a los capitanes para tomar las decisiones de seguridad necesarias relacionadas con la presión comercial, los fondeaderos designados, las VTS y el asesoramiento de los prácticos.
- La elección, planificación y aproximación de un buen punto de fondeo con diferen-

12.- Por ejemplo, en el caso de un roll-on puro, asumiendo que el movimiento en la dirección del viento se ha iniciado a una velocidad media del viento de 18 m/s, la potencia necesaria de la hélice de proa debería ser de alrededor de 2.800 hp (28 toneladas).





Fig. 30 – Buques fondeados a la gira.-  
Fuente: [www.flickr.com/photos \(Alexgordo\)](http://www.flickr.com/photos/Alexgordo/).

tes condiciones de visibilidad y climatología, la gestión del equipo del puente, la densidad de tráfico, las condiciones de seguridad en fondeaderos abarrotados con posible riesgo de colisión, las áreas de borneo y el agua bajo la quilla disponible en todo momento.

- c) Como mantener una guardia de fondeo segura, incluyendo la toma de posiciones electrónicas y visuales, la utilización de los anillos de guardia y las alarmas de fondeo del Radar, Arpa, Gps, etc.
- d) La cantidad y clase de cadena; tipo, características y potencia de agarre del ancla, la proximidad a tierra, peligro de garreo y el riesgo de colisión y/o varada.
- e) Los factores que afectan al buque cuando está fondeado con mal tiempo, incluyendo guiñadas de rumbo, tirones de cadena, etc. Abandonar el fondeadero ante la llegada de condiciones meteorológicas adversas importantes.
- f) Concepto de aguas profundas o límites de sonda para fondear. Utilización de las anclas en caso de emergencia. Ventajas e inconvenientes al fondear dos anclas.

- g) Las limitaciones del equipo de fondeo afectado por fuertes esfuerzos. Instrucciones claras y precisas donde se distinga el mantenimiento de las inspecciones rutinarias del molinete, anclas, estopor y cadenas.
- h) Como llevar a cabo auditorias significativas de navegación que incluyan: correcta actualización y utilización de cartas y publicaciones náuticas, interpretación adecuada del “plan de viaje”, control del buque cuando se esté bajo practica, al estar atracado al muelle, fondeado, y gestión del equipo de puente durante periodos específicos.

#### OBJETIVOS QUE SE PERSIGUEN CON EL “PLAN DE FONDEO”

Los capitanes tienen que incluir en cada “plan de viaje” un apartado dedicado exclusivamente a la maniobra de fondear denominado “plan de fondeo”. Se trata de un documento esencial para el viaje del buque ya que se encuentre o no programado, el barco puede fondear en cualquier instante y por cualquier razón. Este documento debe recopilar instrucciones generales y medidas de seguridad asociadas con esta maniobra tan habitual que sirvan de guía para la segura ejecución de la mis-

ma. La persona encargada a bordo de elaborar el “plan de fondeo” es el segundo oficial de cubierta bajo la supervisión del capitán que es la persona designada por el armador para elegir el punto exacto y el momento adecuado para fondear considerando la seguridad del buque y del medio ambiente marino.

El “plan de fondeo” debe realizarse en función, entre otros, de los siguientes puntos:

- 1) Seleccionar las cartas y publicaciones náuticas de la zona donde se vaya a fondear estudiando el tipo de tenedero, sondas, bajos, veriles, estructuras, corrientes, distancias a tierra, peligros, horas y alturas de la marea, coeficientes de marea, etc.
- 2) Estudiar las predicciones meteorológicas próximas a la fecha del fondeo así como los patrones meteorológicos estacionales del fondeadero seleccionado. Además, tener en cuenta las fuerzas externas asociadas con la velocidad del viento, dirección, altura y periodo de ola, dirección e intensidad horaria de la corriente.
- 3) Utilizar las informaciones locales incluyendo áreas y restricciones del fondeadero designado, número de buques fondeados, densidad de tráfico y cualquier otra información referente a la navegación.
- 4) Considerar la condición de carga o lastre del buque que se va a fondear, sus calados y asiento, las dimensiones de su obra viva y muerta, la superficie velica expuesta al viento y el cálculo cuantitativo de las fuerzas generadas por la presión del viento.
- 5) Conocimiento de la relación entre la potencia de agarre y las fuerzas externas que actúan contra el buque. Como detectar el posible garreo del ancla observando el movimiento de campaneo que puede adquirir un buque fondeado. Utilización de la función derrota en las pantallas del Ecdis, Radar y Gps.
- 6) Contramedidas a tomar después





Fig. 31 – Oficial de cubierta.-  
Fuente: OCIMF Annual Report 2014.

de detectar el garreo del ancla, valorando el tiempo para establecer la maniobrabilidad en función de las distancias a otros buques, bajos, tierra, etc. Como virar el ancla lo antes posible y como virar el ancla durante el periodo de movimiento de giro.

- 7) Señalización luminosa, sonora y marcas diurnas establecidas en las reglas aplicables por el Colreg-72 y sus enmiendas.
- 8) Si las condiciones meteorológicas lo demandan o en viento excede de los 45-50 nudos, hay que considerar proceder para alta mar, fondear nuevamente una milla alejado de otro buque, utilizar más cadena, máquina, o la segunda ancla.
- 9) Precauciones de seguridad aplicables a un buque fondeado y su tripulación sobretodo en áreas de fondeo donde pueda prevalece el robo y la piratería.

También es necesario que el “*plan de fondeo*” disponga de un apartado destinado a recomendaciones relacionadas con las guardias de fondeo, toma de situaciones para verificar la posición del buque fondeado y movimientos en un fondeadero, destacando entre otras:

- 1) Las guardias de vigilancia durante el fondeo deben man-

tenerse en todo momento y circunstancia por parte de un oficial responsable en el puente de navegación. En muchos de los incidentes analizados, una guardia mediocre durante el fondeo fue un factor contribuyente. El oficial de guardia está autorizado por el capitán para tomar cualquier acción apropiada y necesaria. Las ordenes del capitán, expuestas en el puente de gobierno, deben ser claras y específicas en todo su contenido.

- 2) Durante la estancia en el fondeadero, el oficial de guardia tiene que comprobar que se utiliza la última edición de la carta de punto menor que corresponda, así como, que la posición inicial de fondeo está trazada sobre la carta junto con un radio de borneo y seguridad aplicable. También tiene que verificar la posición del buque utilizando marcaciones, demoras, ángulos horizontales y distancias a puntos conspicuos de la costa, revisar habitualmente que las distancias a los buques próximos se mantienen constantes, inspeccionar la cadena a intervalos frecuentes y constatar que las condiciones meteorológicas son monitorizadas debidamente, en caso de apreciar algún cambio significativo en las circunstancias de la guardia, llamar al capitán.

### MÉTODO DE FONDEO “U-TURN” O “MÉTODO ORTOGONAL”

Este método de fondeo a la gira o en línea cuenta con un largo precedente histórico siendo practicado por algunos capitanes durante muchos años. Antes de que el Capitán Allan McDowall (2000) llevara a cabo el análisis matemático y físico de este otro método, no era tan conocido como para crear una tendencia que prevaleciera y llamara la atención de los armadores, de tal forma que incorporaran el mismo a sus procedimientos operacionales. Sus ventajas fueron descubiertas en situaciones de emergencia, cuando el capitán tiene que reaccionar rápidamente aplicando todos sus conocimientos y experiencias para fondear el ancla y extender su cadena en movimiento.

El método como tal, tiene su riesgo, pero su éxito depende de un entendimiento y preparación adecuada asociada con la utilización de los equipos involucrados en la maniobra por parte de la tripulación, ya que la elección del momento para fondear, es crucial. Por tal motivo, se recomienda para tripulaciones que no lo hallan utilizado antes, tener la precaución de contar con un espacio disponible adecuado; sin embargo, la maniobra puede completarse con seguridad dentro de un área relativamente compacta.

El secreto de la aproximación al punto de fondeo utilizando este método, consiste exclusivamente en separar el movimiento del casco del buque de las fuerzas necesarias para controlar el movimiento de la cadena, cambiando la fuerza longitudinal sobre la cadena por otra fuerza rotacional. El objetivo del método estriba en fondear el ancla y filar la cadena con el buque moviéndose lateralmente sobre el lecho del tenedero a una velocidad entorno a los 0,5 nudos, manteniendo la cadena sobre el través hasta que la velocidad del buque sea cero<sup>13</sup>.

13.- Según el Capitán Allan McDowall, esta velocidad puede ser mucho mayor, la maniobra se ha llevado a cabo con éxito con velocidades mayores de 4 nudos avante mientras el buque gira. El movimiento lateral es muy suave pero el giro siempre parará al buque.

Sea un bloque rectangular flotante cualquiera con coeficiente bloque igual uno. La fuerza necesaria que se debe aplicar sobre la línea de crujía del bloque flotante para imprimirle una aceleración longitudinal es tres veces mayor que la fuerza necesaria para hacerlo rotar sobre su eje de giro. Por ejemplo, en un bote de remos se cumple que es más fácil y hay que ejercer menos fuerza para hacerlo girar con los remos sobre su eje, que moverlo longitudinalmente. De inmediato se deduce que para desacelerar el bloque en su rotación hay que aplicar una fuerza que sea la tercera parte de la fuerza necesaria para que avance. Esta diferencia de fuerzas es debido a que la inercia rotacional es menor que la lineal, produciéndose un cambio de aceleraciones pasando de la lineal (hacia proa) a la angular (giro).

Si consideramos la forma de un rombo como la más aproximada a la de un buque, el coeficiente bloque no será 1 sino 0,5 y el radio de giro es ahora 1/3 de la forma anterior. Como el radio de giro es parte

de la ecuación que nos facilitó el tercio de reducción en la fuerza necesaria para desacelerar el bloque rectangular, ahora resulta que con un coeficiente bloque de 0,5 la reducción es de 1/9. Pero la masa se ha reducido ahora a la mitad, así pues el factor de 9 debe también ser dividido a la mitad, dando una cifra final de 4,5. Resumiendo, para un coeficiente de bloque de 0,5 el factor de reducción es de 4,5 mientras que para un coeficiente bloque de 1 es de 3; como la forma de un buque se encuentra entre estos dos factores de reducción, puede asumirse el factor 3,5 como bueno.

Como uno de los factores del momento de rotación es la distancia al eje de giro, al utilizar el ancla y su cadena, esta distancia se verá incrementada por la longitud de cadena un determinado factor que se obtiene al dividir la longitud de la misma entre la distancia boca de escobén-fondo (p.e. supongamos 323 metros de cadena y una distancia al fondo de 49 metros, el factor será de 6,59). Aplicando los dos factores indicados anteriormente (3,5

x 6,59) obtenemos la fuerza sobre la cadena que resulta ser aproximadamente 23,07 veces menor. En otras palabras, al utilizar la cadena formando un ángulo recto con la línea de crujía, es alrededor de 23 veces más efectiva que cuando se usa en línea (proa-popa).

Evidentemente, manteniendo la cadena formando un ángulo recto con la crujía se reduce en gran medida la probabilidad de que fuerzas extremas actúen sobre el equipo de fondeo y además los movimientos longitudinales no afectan a la tensión de la cadena o si lo hacen será mínimamente. De este modo, es muy difícil exceder las fuerzas que todo capitán está intentando con dificultad evitar con el método tradicional de fondeo a la gira o en línea. Es por todo ello que este método es mucho más seguro que otros y se asocia con menos accidentes.

Diferentes fases para llevar a cabo este método de fondear (Fig. 32)

- 1) La aproximación al punto de fondeo se realiza de forma

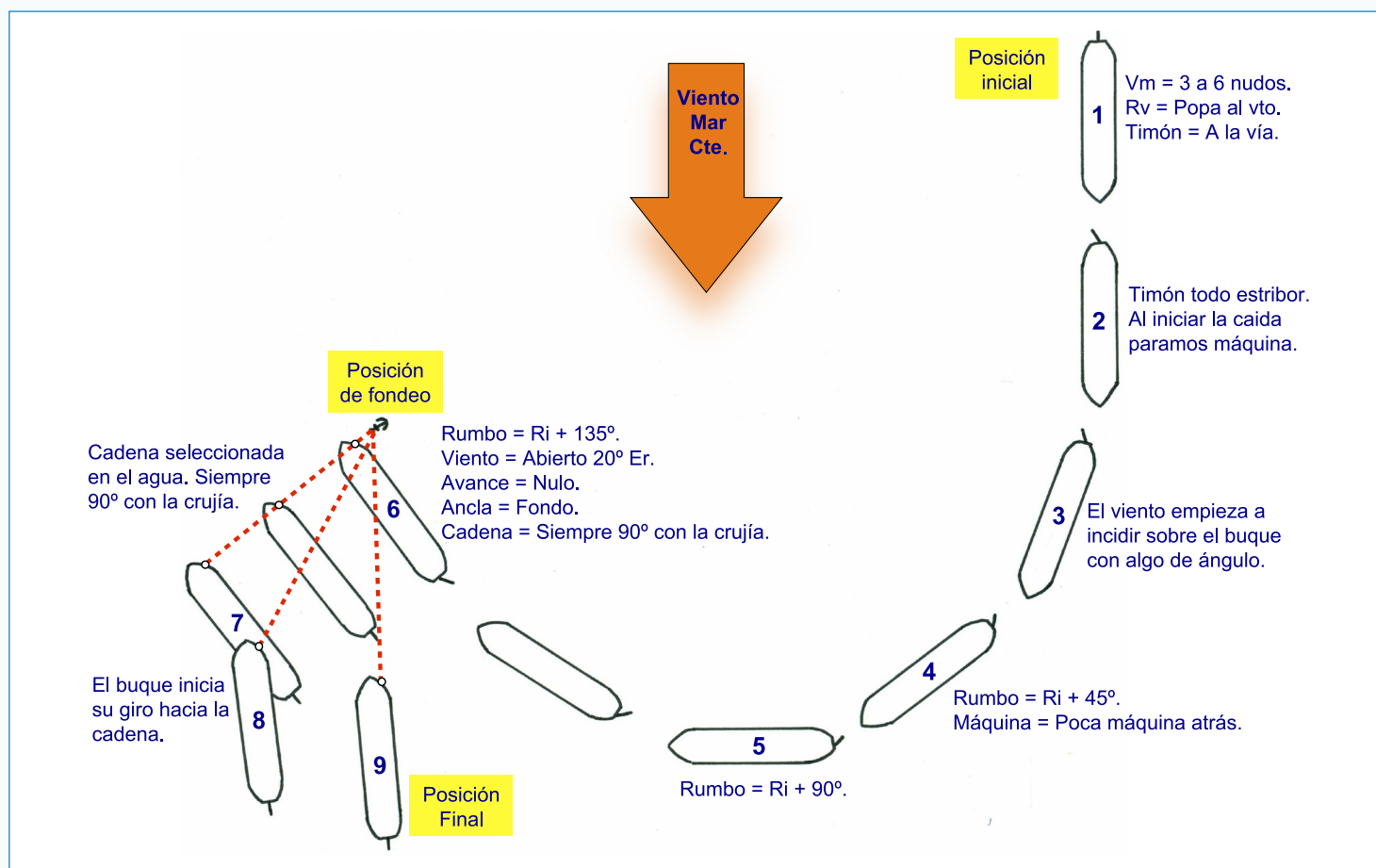


Fig. 32 – Esquema del fondeo utilizando el “Método U-Turn”.-  
Fuente: Elaboración propia.

opuesta al método tradicional, es decir, el buque navega con el viento/mar/corriente por la popa, moviéndose avante con una velocidad comprendida entre 3 y 6 nudos, en función de si el fondeadero está libre o abarrotado. La maniobra de evolución o giro necesita de toda la velocidad, no importa cual es la de aproximación. El ancla y el equipo se preparan como para cualquier otro fondeo normal.

- 2) Cuando estemos próximos al través de la posición seleccionada para fondear, metemos todo el timón a la banda del punto de fondeo y tan pronto como la caída de la proa se inicia en el sentido correcto, paramos la máquina. En este instante se ordena liberar la guillotina del estopor de la cadena del ancla que se vaya a fondear.
- 3) En este punto, el viento incide con ángulo sobre el buque, no se debe permitir que incida sobre la banda contraria de la superestructura ya que puede provocar el giro en el sentido opuesto. Cuanto mayor sea la velocidad de aproximación mayor será el traslado lateral, que neutralizará cualquier tendencia de abrir paso en otra dirección.
- 4) El traslado lateral se inicia cuando el rumbo se modifique unos 45° del inicial. En este momento ordenamos a la máquina *"poca atrás"* durante el tiempo suficiente para extinguir el movimiento de avance, pero sin conseguir que el buque se mueva hacia popa. Sin embargo, esta orden a la máquina es normalmente innecesaria ya que la acción de giro junto con el área lateral proyectada por el buque bajo el agua, después de una evolución de alrededor de 120°, lo para o reduce mucho su inercia avante.
- 5) Cuando el rumbo inicial haya

cambiado 90°, la componente mayor de su movimiento será la lateral contando con una componente pequeña hacia avante. El ancla debe ser apeada un número determinado de grilletes sobre la cubierta antes de desengranar y abrir el freno.

- 6) Al cambiar el rumbo inicial 135°, las acciones del viento/mar/corriente quedan abiertas 20° de la proa, todo el movimiento avante deberá ser nulo, para garantizarlo puede ordenarse una palada con *"poca atrás"*, experimentándose un movimiento transversal apreciable. De inmediato, fondeamos el ancla filando de forma continua toda la cadena programada, controlando su velocidad con el freno para conseguir identificar la salida de los grilletes a la vista, si esto no se cumple, se estará filando la cadena demasiado rápido.
- 7) Permitir la salida de la cadena hasta el grillete seleccionado (acción opuesta a lo que la mayoría de los capitanes aprenden de otros), a continuación se frena y se pone la guillotina del estopor, estamos en el punto crucial de seguridad del fondeo. El buque continuará con su lenta deriva lateral y debido a ella ira extendiendo de forma

progresiva la cadena por el lecho del fondeadero formando siempre con la línea de crujía un ángulo recto. Para el éxito de esta maniobra, las comunicaciones entre el puente y castillo son primordiales, y más ahora, ya que el oficial de proa debe informar continuamente al puente de la dirección en la que llama la cadena que debe permanecer siempre por el través (ángulo recto), manteniéndola así con pequeñas paladas avante o atrás según sea necesario<sup>14</sup>.

- 8) Llegará un momento en que toda la cadena trabaje sobre el estopor debiendo mantenerla de través con la línea de crujía hasta que la tensión afloje. Entonces y de forma eventual, la tensión en la cadena parará la proa e iniciará el giro del buque hacia la cadena; en este punto podría ser necesario utilizar la máquina para controlar la inercia de este giro. Como el buque apunta sobre su cadena el efecto del viento/mar/corriente iniciará un movimiento a popa. De nuevo podrá ser necesario controlar este efecto usando la máquina.
- 9) Hasta que el movimiento no haya cesado, solo entonces, puede permitirse que la proa gire lentamente hacia donde llama la cadena y para cuando el buque esté



Fig. 33 – CT Team Actinia fondeado en New York.-  
Fuente: [www.flickr.com/photos \(Tom Turner\)](http://www.flickr.com/photos/TomTurner/).

14.- El freno está diseñado y construido para controlar el movimiento de la cadenas, por el contrario, el estopor esta preparado para mantener la masa del buque. El estopor hay que ponerlo en el momento que toda la cadena esta filada. Cuando finalice la maniobra de fondeo, la cadena por delante del estopor debe ser balizada correctamente para ser visualizada desde el puente. Conocer cuanta cadena está fuera es obviamente necesario. Los buques modernos tienen un indicador de cadena pero tener la cadena marcada adecuadamente y con las marcas bien mantenidas, es esencial.



colocado proa al viento/mar/corriente la cadena habrá seguido un arco sobre el lecho del tenedero actuando como un amortiguador de choque adicional.

**Resumen:** este método, probado en diferentes tipos y tamaños de buques, ha sido muy utilizado durante muchos años por un número de prácticos y capitanes muy experimentado, demostrándose que es un método de fondeo seguro y fiable. La duración de la maniobra está entorno a los 12 o 15 minutos desde el inicio de la evolución hasta la parada de la proa si se hace fluidamente, incluso para grandes buques. El método parece realmente claro y organizado, como ciertamente lo es por lo que debería ser incluido en el programa para la formación de nuevos marinos mercantes, así como en los diferentes procedimientos operacionales de las compañías navieras, para que los buenos hábitos sean adquiridos desde el principio. Los escépticos solamente tienen que observar una demostración para estar totalmente convencidos<sup>15</sup>.

## CONCLUSIONES

- 1) La capacidad de uso de las anclas se analiza de forma teóricamente resumida, teniendo presente de forma simultánea los conocimientos prácticos adquiridos y experiencias vividas a bordo de los buques donde hemos desarrollado nuestra profesión primero como oficiales y capitanes y ahora como asesores de ellos.
- 2) El capitán y los oficiales de puente deben familiarizarse con los siguientes conceptos con el fin de evitar en todo lo posible que su buque garree y al unísono derive sin control: a) como y porque garrea un ancla, b) dificultades y limitaciones con la maniobrabilidad del buque mientras se encuentra garreando

do y, c) evaluación del concepto de fondeo seguro, incluyendo el plan de contingencias que conlleva el tiempo y espacio necesarios para recuperar el control del buque si el ancla garrea.

- 3) Actualmente, fondear un ancla en un atraque para utilizarla en la maniobra de salida como medio de tiro, es poco útil, particularmente porque la fuerza del motor del molinete no suele ser adecuada en cierto tamaño de buques.
- 4) Los capitanes tienen que tener especial precaución al fondear ceca de tierra con mal tiempo, próximos a bajos y en malos tenederos; en estos casos, es un requisito fundamental tener la máquina principal en atención para uso inmediato y estar preparados para virar el ancla con la rapidez suficiente antes de que se desarrolle una situación potencial de peligro. Hay que recordar que un factor muy significativo en muchos incidentes relacionados con maniobras de fondeo, muestran fallo del capitán para apreciar con prontitud que una situación peligrosa se está desarrollando y tomar acciones rápidas y decisivas.

- 5) Un conocimiento lo más exacto y profundo posible sobre la instalación de fondeo y su correcta manipulación, permite evitar toda una gama de accidentes generados por una mala utilización o por los excesivos esfuerzos que tienen lugar, sobre el ancla, la cadena y el molinete, debido al desconocimiento de sus características y propiedades reales. Muchas compañías, como medida preventiva, envían a bordo circulares a sus capitanes sobre el uso y mantenimiento de los elementos que componen esta instalación, siendo en la mayoría de los casos descripciones generales que no ayudan a formar un juicio razonable de esta maniobra, ya que

### 1.-

Proa al viento, mar, o corriente, arriado del ancla y la cadena con el molinete engranado.



### 2.-

Palada atrás para extender la cadena por el fondo del tenedero conforme se va filando.



### 3.-

Toda la cadena en el agua, colocamos el estopor y observamos su forma de trabajar



### 4.-

El ancla hace cabeza, aflojando la tensión de la cadena. El buque queda parado aproándose al viento.



### 5.-

Fin de la maniobra, buque fondeado.



Fig. 34 – Fases del fondeo a la gira o en línea.-

Fuente: Anchoring Safety - Videotel.

un correcto y exhaustivo conocimiento de estos medios, evitará que se produzcan accidentes innecesarios con cuantiosos daños materiales, y lo que aún es peor, la posible pérdida de vidas.

- 6) A pesar de todo lo indicado, en muchos incidentes, se ha demostrado que las guardias durante el fondeo se mantenían adecuadamente y el capitán era llamado inmediatamente, pero aún así, garreaba su ancla

<sup>15</sup>.- Una compañía que había estado previamente plagada de accidentes, incidentes y sucesos peligrosos relacionados con el fondeo de sus barcos, estuvo utilizando este método unos 5 años y desde entonces no ha tenido ningún incidente de fallo del equipo de fondeo u otro incidente peligroso durante el fondeo.

y terminaba el buque colisionando o varando. Las razones incluyen el hecho de que el buque estaba o muy cerca de la costa, la máquina no estaba disponible inmediatamente, el ancla era imposible de virar en las condiciones meteorológicas debido a un fallo del molinete o hidráulico, o el buque era incapaz de maniobrar suficientemente en condiciones meteorológicas adversas.

- 7) Para conseguir mayor seguridad en el agarre del ancla en el tenedero, es importante garantizar que su acción se realice en un plano horizontal, para ello resulta primordial que parte de la cadena (1 o 2 grilletes)

descansen sobre el fondo del tenedero, ya que de otra forma el poder de agarre del ancla disminuye considerablemente.

- 8) Si el fondeadero está abarrotado, es muy conveniente no fondear en el centro del mismo ya que mientras se fondea, el buque es incapaz de evitar otros buques y está sin capacidad de maniobra, en este caso es mejor fondear en sus bordes, ya que es más seguro que la gabarra de combustible vaya hacia ti, que tu ir hacia ella.
- 9) Para fondear con seguridad será preciso prever la fuerza máxima que el viento puede ejercer sobre el buque a fil de roda y

conocer la profundidad del fondeadero, así como el peso unitario de la cadena (afectado por el principio de Arquímedes). Con estos datos, filar la longitud de cadena para el fondeo, tal como ya se ha indicado.

- 10) Todo capitán debe sopesar las dimensiones del área de giro, la sonda y si el buque está en lastre o cargado. Con buen tiempo, en un fondeadero reducido con área de giro limitada y con una estancia supuestamente corta, se puede utilizar menos cadena; sin embargo, aumentar la vigilancia, con la máquina en atención debe evaluarse en función de las circunstancias que nos rodean. ■

## SIMBOLOGÍA

$a$	=	Directriz de la curva catenaria, igual al radio de curvatura en el vértice.
$A$	=	Vértice de la catenaria.
$D_S$	=	Distancia adicional de seguridad.
$E_F$	=	Eslora medida entre la vertical del escoben y la popa del buque.
$E_T$	=	Eslora total medida a nivel de la cubierta a la intemperie.
$E_t$	=	Fuerza de resistencia ofrecida por la tierra del fondo del tenedero.
$f$	=	Flecha de la curva catenaria en un punto o altura sobre el vértice de la catenaria.
$G_a$	=	Peso total del ancla.
$G_c$	=	Peso de la cabeza del ancla.
$G_n$	=	Porción de peso que actúa en el bulón de seguridad entre la caña y la cabeza del ancla.
$G_r$	=	Porción de peso que actúa sobre el pasador del arganeo.
$G_s$	=	Peso de la caña del ancla.
$H$	=	Altura medida desde la línea de flotación hasta el tope de la caseta más alta con manga superior a $M/4$ .
$hb$	=	Distancia entre el centro del pasador del arganeo y la proyección vertical del mismo sobre la cama.
$hc$	=	Distancia entre el extremo de las uñas y la superficie del fondo del tenedero.
$I_F$	=	Tramo de cadena yacente o sembrada sobre el fondo.
$k$	=	Distancia de los extremos $D'$ y $D''$ al plano de simetría transversal que pasa entre las uñas.
$Kh, Kv$	=	Componentes vertical y horizontal de la tracción de la cadena sobre el arganeo.
$Ks$	=	Acción de la cadena sobre la caña del ancla.
$l$	=	Distancia horizontal longitudinal entre las verticales que pasan por el ancla y el escoben del buque.
$L$	=	Distancia entre el pasador del arganeo y el punto de giro de la caña (longitud de la caña).
$Lb, Lc$	=	Resistencias horizontales que actúan en la parte final de la caña y en las uñas.
$Lc$	=	Longitud de cadena filada.
$Ld$	=	Fuerza de reacción que actúa en el extremo de la cruz paralela al fondo y/o en dirección de la caña.
$M$	=	Manga del buque.
$M_S$	=	Margen de preaviso para el caso de garrear el ancla.
$M_{SG}$	=	Margen de seguridad.
$p$	=	Distancia entre el extremo de las uñas (pico de loro) y el eje de giro transversal de la caña.
$P$	=	Peso unitario por unidad de longitud.
$Pa$	=	Peso del ancla en el agua = peso en el aire por 0,875.
$Pb$	=	Fuerzas vertical perpendicular a la cama que actúa sobre el pasador arganeo.
$Pc$	=	Fuerzas vertical perpendicular a la cama que actúa sobre los extremos de las uñas.
$Pc$	=	Peso por metro de cadena en el agua = peso en el aire por 0,875.
$Pd$	=	Fuerza de reacción que actúa en el extremo de la cruz perpendicular al plano del fondo de la mar.
$R_B$	=	Radio de borneo.
$R_{BM}$	=	Radio de borneo mínimo.
$R_S$	=	Resguardo de seguridad.
$RB_{mx}$	=	Máximo radio de borneo.
$RB_{SG}$	=	Radio de borneo de seguridad.

## SIMBOLOGÍA

$S$	=	Longitud de cadena que forma catenaria.
$Sc$	=	Sonda en la carta.
$T$	=	Tensión de la cadena del ancla.
$Td$	=	Peso del tramo de cadena que forma catenaria.
$T0$	=	Fuerza o capacidad de agarre de un ancla fondeada.
$Ta$	=	Esfuerzo horizontal que sufre el ancla.
$Tv$	=	Fuerza del viento.
$Vv$	=	Velocidad del viento.
$w$	=	Distancia horizontal desde la proyección vertical del punto $B$ hasta las uñas (pico del loro).
$W$	=	Presión ejercida por el viento sobre la obra muerta del buque (presión dinámica).
$x$	=	Distancia horizontal sobre el fondo entre las verticales del ancla y del escoben.
$y$	=	Distancia vertical entre el escoben del buque y el fondo del tenedero.
$z$	=	Distancia que las uñas han penetrado en el fondo del tenedero.
$\hat{\alpha}$	=	Ángulo de presa de las uñas del ancla.
$\hat{\beta}$	=	Angulo de inclinación del ancla.

$\hat{\phi}$	=	Ángulo generado por la tensión de la cadena y la fuerza de agarre.
$\hat{\alpha}_b$	=	Ángulo de presa cuando la cabeza y la caña reposan sobre el fondo del tenedero.
$\hat{\alpha}_e$	=	Ángulo de presa en la situación final o máxima.
$\hat{\beta}_b$	=	Ángulo de inclinación cuando la caña y la cabeza reposan sobre el suelo del fondeadero.
$\hat{\beta}_c$	=	Ángulo de inclinación cuando la caña y la cabeza se levantan y comienza el movimiento de giro.
$a_1$	=	Distancia vertical entre el escoben y el nivel de la mar.
$\lambda$	=	Factor de distribución de pesos.
$\lambda a$	=	Factor de agarre del ancla.
$\lambda c$	=	Factor de agarre de la cadena.
$\lambda p$	=	Factor relacionado con el punto de aplicación del peso de la cabeza del ancla.
$\lambda s$	=	Factor relacionado con el punto de aplicación del peso de la caña del ancla.
$\tau$	=	Coefficiente de rozamiento en función de las características del fondo.
$\Delta y$	=	Carrera de la marea.
$2t$	=	Distancia entre los puntos $C'$ y $C''$ .

## BIBLIOGRAFÍA

1. J. ARTYSZUK, "Feasibility analysis of orthogonal anchoring by merchant ships", Marine Navigation and Safety of Sea Transportation: Advances in Marine Navigation, 2013, pp. 155-161.
2. OCIMF, "Anchoring Systems and Procedures", London, 1ª edition, 2010, pp. 53-68.
3. OCIMF. "Estimating the Environmental Loads On Anchoring Systems", London, first edition, October – 2010, pp. 7-13.
4. C.A. McDOWALL, "Anchoring large vessels a new approach", The Nautical Institute, London, 2000, pp. 3-18.
5. COPINAVAL 2013: "Selección del equipo de amarre y fondeo de un remolcador" - Raúl Villa Caro. Luis Manuel Carral Couce. José Ángel Fraguera Formoso.
6. PUERTOS DEL ESTADO ROM 3.1-99, "Proyecto de la configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación", Madrid, 2000, pp. 306-316.
7. RICARD MARI SAGARRA, "Maniobra de los buques", Barcelona, junio 1999, pp. 147-182.
8. GRAHAM DANTON, "The theory and practice of seamanship", eleventh edition, 2009, pp. 96-102.
9. C.A.MCDOWALL, "Anchoring large vessels, a new

approach", Publihed by The Nautical Institute, London, 2000, pp. 3-18.

10. JOHNATHAN PRIEST, "Anchoring system", Videotel production, London, 2005, pp. 4-20.
11. CHRIS SPENCER, "Anchoring – Special Edition", P&I The Standard Club, Octubre- 2008, pp.4-6.
12. BONILLA DE LA CORTE, ANTONIO, "Construcción naval y servicios", Vigo, 1984, pp. 229-237.
13. QUEREDA LAVIÑA, RAMÓN, "Análisis de esfuerzos en la cadena y el ancla de buques fondeados a la gira", Ingeniería Naval, Mazo-2000, pp. 93-102.
14. COLL ALAS, MARIO, "Fondeo: Teoría Matemática", Ingeniería Naval, Núm. 537, Marzo-1980, pp.77-81.
15. KAREL JAN SAURWALT, "On the holding power ship's anchors", Delf-009209, pp.10-67.
16. H. YABUKI & T. TAKEMOTO, "On the development of an anchor watch supporting system for small merchant ships", Transnav, vol. 6, number 3, sept 2012, pp.331-335.
17. JAPAN P&I CLUB LOSS PREVENTION BULLETIN, "Preventing an anchor from dragging", Vol. 25, july 2013, pp. 2-32.
18. THE STEAMSHIP MUTUAL UNDERWRITING ASSOCIATION & VIDEOTEL PRODUCTION, "Anchoring Safely", 2005, pp. 4-22



## ANEXO 1: LISTAS DE COMPROBACIONES

Lista de Comprobación: Antes de Fondear			
Conceptos a Comprobar	Si	No	N/A
1) ¿Se ha informado con la antelación suficiente al capitán, la máquina y al equipo de fondeo del ETA al fondeadero así como del momento de atención a la máquina?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) ¿La instrucción general del armador para fondear han sido debidamente firmada por el equipo que forma parte de la maniobra y enviada a la compañía?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) ¿Se está reduciendo la velocidad de aproximación del buque con antelación suficiente?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) ¿Hay establecido un plan de fondeo adecuado donde se incluyan el ancla a fondear, profundidad del agua, longitud de cadena a filar y tipo de maniobra a realizar?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) ¿Se ha probado la máquina atrás antes de llegar al fondeadero?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6) ¿La carta náutica utilizada es de última edición y está correctamente corregida según el último "Weekly Notices to Mariners" disponible a bordo?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7) ¿Se han seleccionado e identificado las marcas visibles de navegación y/o puntos conspicuos de tierra que sirvan de referencia a la hora de comprobar la situación de fondeo?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8) ¿Se han estudiado el tipo de tenedero, sus sondas, áreas con prohibiciones de fondeo, presencia de cables submarinos, tuberías, obstrucciones, etc.?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9) ¿Están las luces, marcas y señales sonoras de fondeo operativas y listas para su utilización?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10) ¿Se han establecido y comprobado las comunicaciones puente-proa-control de máquinas?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11) ¿Se encuentra el molinete comprobado, destrincadas ambas anclas y retiradas las tapas de los escobenes y gatera?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12) ¿Está el ecosonda encendido y la sonda monitorizada constantemente?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13) ¿Se están considerando la dirección y fuerza del viento, el efecto e intensidad de la corriente y la marea cuando se maniobra a baja velocidad?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14) ¿Se ha evaluado la posición de fondeo asignada en función de la ocupación del fondeadero?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15) ¿Se ha mostrado la atención suficiente a los movimientos de otros buques en las proximidades?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16) Con referencia al punto de fondeo: evaluar el riesgo de que nuestro ancla pueda enredarse con las anclas de buques próximos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17) Si la visibilidad es reducida ¿está listo para su utilización el equipo de señales acústicas?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18) ¿Se encuentra en proa el oficial responsable y los integrantes del equipo de fondeo?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19) ¿El ancla se encuentra apeada y lista para fondear?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20) ¿Se ha tenido en cuenta si el fondo es adecuado y seguro, en particular a sotavento para mantener una distancia segura a otros buques fondeados?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21) ¿Se ha contactado con el control del puerto para recibir instrucciones del punto de fondeo?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Lista de Comprobación: Después de Fondear			
Conceptos a Comprobar	Si	No	N/A
22) ¿Se ha anotado la situación de fondeo según el satélite GPS en el instante de ordenar "fondo"?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
23) ¿Está informando al puente del número de grilletes que van saliendo, como llama la cadena y que grado de trabajo está tomando?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
24) ¿Está marcada en la carta náutica la situación de fondeo y los círculos de borneo y seguridad?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
25) En el caso de orincar el ancla fondeada ¿Se ha colocado suficiente cabo en relación con la sonda existente en el punto de fondeo?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
26) ¿El barco ha hecho cabeza sobre el ancla?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
27) ¿Se ha comunicado a la autoridad competente la hora, situación y número de grilletes que se han fondeado?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
28) ¿Se encuentran las luces, señales sonoras y marcas diurnas correctamente seleccionadas y exhibidas y operativas?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Lista de Comprobación: Durante las Guardias de Fondeo

Conceptos a Comprobar		Si	No	N/A
1)	¿Están debidamente marcados en la carta la posición de fondeo y establecidos los círculos de borneo y seguridad?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2)	¿Se mantienen las escuchas en VHF ch.16 y en el canal de trabajo del puerto?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3)	¿Se comprueba regularmente la situación de fondeo utilizando diferentes métodos (demoras y distancias o marcaciones a puntos conspicuos de la costa, distancias radar, etc.), para verificar que el buque se encuentra bien fondeado?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4)	¿Se han calculado las horas de marea (pleamares y bajamares), así como las mínima profundidad de agua disponible durante la guardia?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5)	¿Se encuentra en "stand by" la máquina principal?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6)	¿Se realizan periódicamente rondas de seguridad donde se incluya una comprobación de la dirección y trabajo de la cadena del ancla fondeada??	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7)	¿Están establecidas las medidas de seguridad relacionadas con piratas y robos? ¿Se cumple con el estado de vigilancia indicado en el ISPS?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8)	¿Está seleccionada en el AIS el estado "at anchor"?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9)	¿El Navtex y los mensajes GMDSS están funcionando y sincronizados correctamente?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10)	¿Funciona correcta la ecosonda y se comprueba periódicamente el agua bajo la quilla?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11)	¿Hay uno o varios anillos de distancias radar establecidos a otros buques y a la costa?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12)	¿Esta activada la alarma GPS por alerta de un posible garreo?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13)	¿Se observan las condiciones meteorológicas y el estado de la mar?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14)	En caso de empeoramiento del tiempo o predicción de empeoramiento ¿ha sido informado el capitán y el periodo de aviso anterior ajustado?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15)	¿El buque exhibe las adecuada luces y marcas y emite la señal sonora aplicable de acuerdo con las regulación internacional del Colreg?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16)	¿Se muestra una atención especial durante el cambio de marea y máxima corriente?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17)	¿Se ha cubierto correctamente el Record de Observaciones Horarias?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18)	¿Se está cumpliendo con las siguientes ordenes de fondeo establecidas por el capitán?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	• Si otro buque fondea a menos de una milla de nuestro buque.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	• Si la visibilidad se reduce a 3 millas náuticas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	• Si la velocidad del viento aumenta a más de 10 nudos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	• Si se sospecha que nuestro buque puede o está garreando, u otro buque que garree se dirige hacia nosotros.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	• Si se observan manchas de aceites, fuel, basuras, etc. relacionadas con la contaminación marítima anotando instantáneamente el tipo de viento, velocidad, corriente, intensidad y proa.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19)	Contactar con otros buques para mantener una distancia de seguridad apropiada si existen buques aproximándose para fondear, muy cercanos o a una proximidad insegura.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20)	Tomar todas las medidas para proteger el medio ambiente de cualquier contaminación del buque y cumplir con las regulaciones anticontaminación aplicables.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



*"There will be times when the anchor is the best navigational instrument in the ship, and you want to be able to rely on it".*

*Admiral V. Cunningham*

