

CAPÍTULO 8

“Maniobra de buques”



Fuerzas que afectan a un buque

Principios básicos.

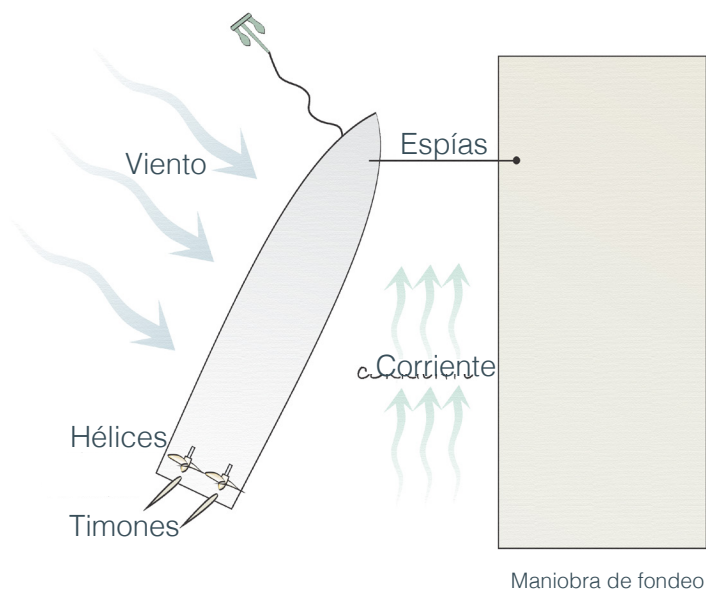
Para poder predecir con exactitud los movimientos de un buque, se debe tener un amplio conocimiento de la naturaleza y magnitud de las fuerzas que lo afectan. Existen seis fuentes generales de donde provienen las citadas fuerzas. Éstas son: las hélices, los timones, las espías, la maniobra de fondeo, el viento y la corriente. Las cuatro primeras fuentes pueden ser controladas desde el mismo buque. El viento y la corriente (incluyendo las corrientes de marea), aunque no son controladas, pueden utilizarse favorablemente para resolver algún problema en la maniobra. Cada una de estas fuerzas pueden producir efectos importantes, por lo tanto, es conveniente tomarse el tiempo necesario para estudiarlas y comprenderlas bien.

Un buque puede tener una masa de muchos miles de toneladas y una eslora de varios metros. Tal cuerpo, no solamente tiene una gran inercia para resistir la aceleración lineal, sino que también posee un gran momento de inercia para resistir aceleraciones rotatorias. El buque está en reposo en un fluido (agua) y cubierto por otro fluido (aire) y estos dos elementos ofrecen resistencia a cualquier movimiento. Así pues, cuando se aplica una fuerza única al buque, se produce una aceleración, hasta que se llega a un punto de equilibrio con la resistencia de los fluidos. Este principio impera tanto en un movi-

miento angular, producido por una fuerza fuera del centro de giro, como también en una fuerza que se aplique en el centro de gravedad. Por lo tanto, cuando se aplica cualquier fuerza a un buque, se produce un movimiento que va acelerándose gradualmente hasta llegar a un estado de equilibrio y movimiento constante.

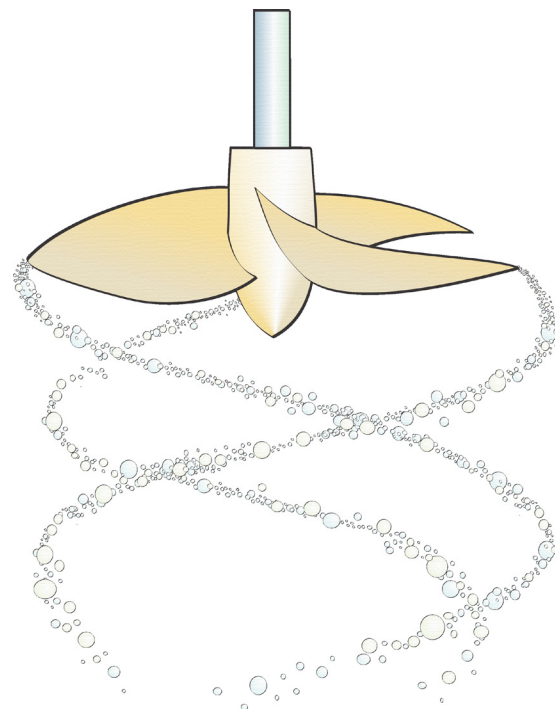
Las fuerzas en el agua se manifiestan como diferencias de presiones. El agua no se puede comprimir, pero cuando se le aplica una fuerza se crea una presión más alta en dicha área, en comparación con la de las áreas circundantes, esta diferencia de presión hará que el agua comience a fluir del área de alta presión hacia las áreas circundantes de baja presión. Cuando se aplica una fuerza a un remo en el agua, se aumenta la presión en la cara de la pala en dirección hacia donde ésta se mueve y, a su vez, se crea un área de baja presión en la cara opuesta de la pala. Durante el movimiento, el agua fluye de la región de alta presión a la de baja presión. Mientras más sumergida esté la pala, mayor será el área donde actúa la presión. Mientras mayor sea la fuerza que se aplique al remo, mayor será la diferencia de presión. La diferencia promedio entre las dos caras, multiplicada por el área sumergida de la pala, entrega la medida de la fuerza que se está ejerciendo en el agua. Como la inercia del agua se opone a la fuerza que se aplica a la pala del remo, esta resistencia a través del remo aplica una fuerza al bote en dirección opuesta. La resistencia al remo existe solamente cuando las partículas de agua han sido puestas en movimiento por el movimiento del remo. Sin la fuerza que se aplica al remo no habría movimiento, diferencia de presión ni resistencia. Por lo tanto, se puede ver que la fuerza, la resistencia y el movimiento están íntimamente relacionados cuando se trata de un medio líquido.

La explicación anterior ilustra el hecho de que todas las fuerzas en el agua se manifiestan como diferencia de presiones. Si se aplica una fuerza a un objeto rodeado de agua, tal como en un buque, se puede hacerlo solamente creando una diferencia de presión en una parte de la



estructura. Si un buque se mueve en cualquier dirección, se sabe que alguna fuerza está actuando sobre alguna parte de su estructura y se puede localizar dicha fuerza, si se buscan las diferencias de presión que la causan. En cualquier extensión grande de agua siempre existen dos componentes de presión en cualquier punto: una es la presión hidroestática debida a la profundidad o simplemente el peso del agua sobre el punto; la otra es la presión dinámica que es causada por el movimiento de las aguas circundantes. En el mar, la presión no causa movimiento, porque es la misma en todos los puntos que están a una misma profundidad y, por lo tanto, se puede considerar en equilibrio. Por lo tanto, se puede generalizar diciendo que las corrientes en una masa de agua se deben a las diferencias de presión. Si una corriente aumenta en velocidad entre un punto y otro, se sabe que ha aumentado la diferencia de presión entre el primer punto y el segundo; si la velocidad disminuye, se sabe que ha disminuido la diferencia de presión entre los dos puntos. En una corriente que fluye a una velocidad constante, las diferencias de presión se evidencian por las diferencias en la altura de la superficie o nivel del agua. Una última característica del agua, que es de importancia en este estudio, es su continuidad; tiende a existir como un cuerpo continuo sin vacíos, excepto aquellas causadas por fuerzas extraordinarias. Si un volumen de agua es desplazado tan rápidamente, como por ejemplo, por la pala de una hélice, y las diferencias de presión son insuficientes para acelerar el agua hacia la cara posterior de la pala, el resultado sería un hueco de aire en dicho lugar. A este tipo de interrupción se la llama **separación**.

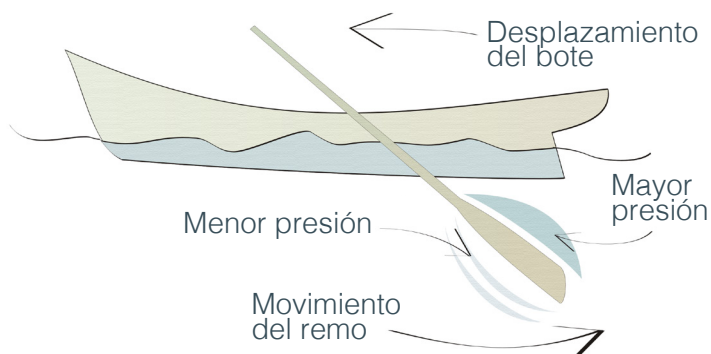
Un fenómeno que acompaña al anterior ocurre cuando la hélice gira a alta velocidad, generando gran diferencia de presión entre las caras anterior y posterior de la pala. El agua comprimida en el filo de la pala, llega al punto de vaporización (presión de vapor), y se expande al ser liberada hacia el vacío posterior. En estos casos, las moléculas de agua se vaporizan en el área posterior, de manera muy similar a cuando el agua está hirviendo. Este fenómeno lleva por nombre **cavitación**.



Cavitación

La separación y la cavitación son de interés para quien maniobra un buque, porque cuando se presentan, alteran el patrón hidrodinámico y alteran las fuerzas resultantes. Estos fenómenos, generalmente ocurren en los cambios abruptos de la obra viva de un buque que se mueve a altas velocidades o alrededor de las palas de una hélice que gira rápidamente.

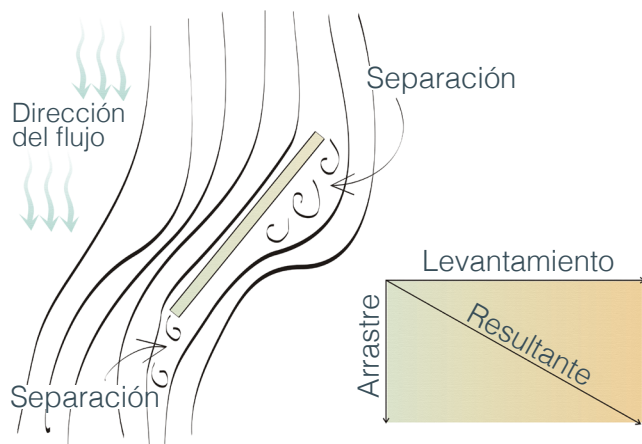
Una plancha lisa, colocada formando ángulo con una corriente de agua, hace que el agua se acelere hacia afuera, en la cara de incidencia y que se acelere hacia adentro, detrás del lado opuesto. Esto crea una alta presión en la cara de incidencia y una baja presión en la cara opuesta. Esta diferencia de presión ejerce una fuerza en la plancha. Con un flujo continuo y es-



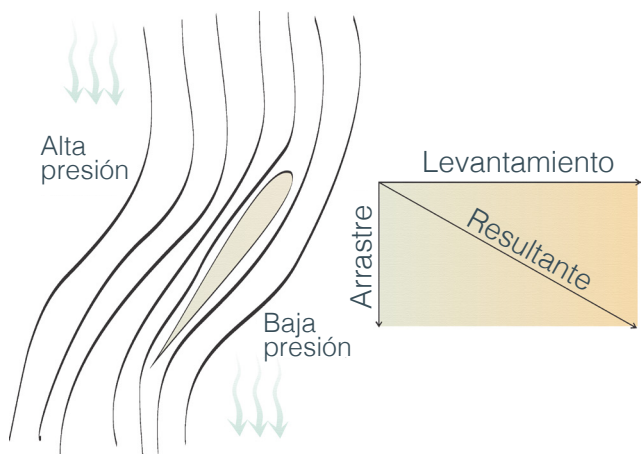
table, esta fuerza es proporcional al cuadrado de la velocidad de la corriente y al área de la plancha.

$$F = \text{Área} \times \text{Veloc.}^2$$

Como se requiere un cambio abrupto de la corriente en este punto, el fenómeno de separación pudiera existir en dicho punto y pudiera alterar la distribución de las presiones sobre la superficie de la plancha.



Sin embargo, si la plancha tiene una forma adecuada, la aceleración del agua será gradual, evitándose el fenómeno de Separación.



Antes de continuar con los efectos hidrodinámicos es necesario puntualizar ciertas definiciones:

Hidroplancha (Hydrofoil).

Cualquier elemento relativamente delgado similar a una plancha, tal como la pala de una hélice o timón, diseñado para obtener una componente de elevación cuando se inclinan a una corriente de agua.

Angulo de Ataque.

El ángulo al cual se inclina la hidroplancha con respecto al movimiento relativo de la corriente.

Componente de Levantamiento.

La componente de la fuerza de reacción en una hidroplancha perpendicular al flujo de la corriente de agua.

Componentes de Arrastre.

La componente de la fuerza de reacción en una hidroplancha paralela al flujo de la corriente de agua.

Paso.

Cuando se refiere a una hélice, el paso se define como el ángulo helicoidal y se expresa comúnmente en pies por revolución, indicando la distancia recorrida por la hélice en una revolución si girara en un medio ideal (sin resbalamiento).

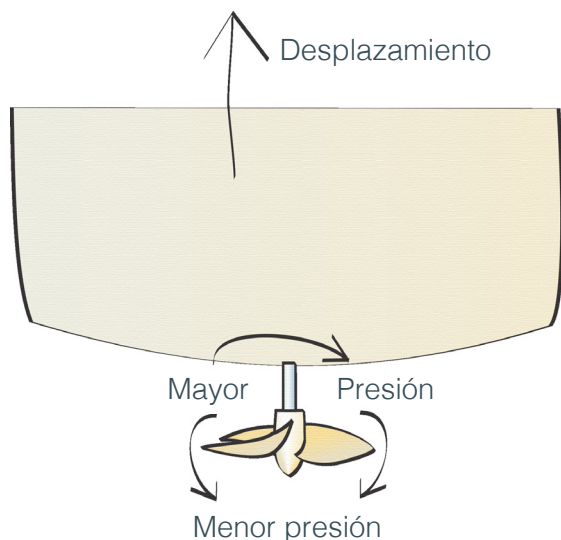
Resbalamiento.

Diferencia de la velocidad observada de la hélice en el agua con respecto a la velocidad ideal (velocidad ideal se define como el producto del paso por la RPM o revoluciones por minuto).

La hélice.

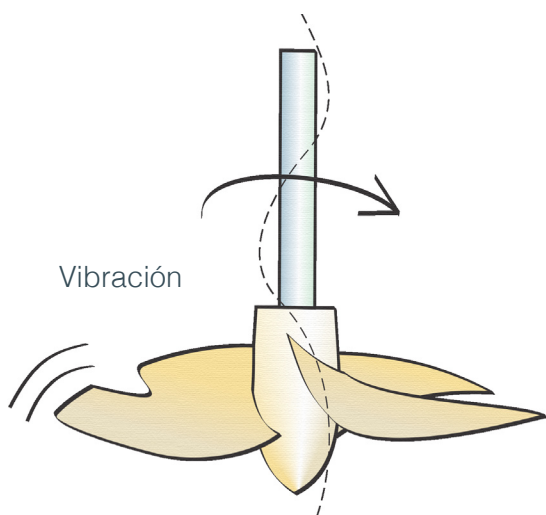
La fuente más importante de potencia que tiene un buque es su propia hélice. Se espera que como la hélice ha sido diseñada para dar movimiento al buque, cuando ésta se encuentre con viada avante, aquél se desplaza hacia proa en línea recta y que al hacer girar la hélice en sentido opuesto, se mueve hacia popa también en línea recta. El objetivo que se persigue al diseñar una hélice, es producir el máximo empuje en la dirección del eje, como consecuencia de la aplicación de una fuerza rotatoria. Una hélice de palas fijas se diseña para obtener resultados óptimos a una velocidad determinada del buque, que casi siempre es la máxima, pero que sea capaz de operar eficientemente a todas las velocidades normales del buque.

Para operar a otras velocidades que no sean las de diseño, simplemente se cambia la velocidad de rotación de la hélice a las revoluciones por minuto, correspondientes a la velocidad deseada.



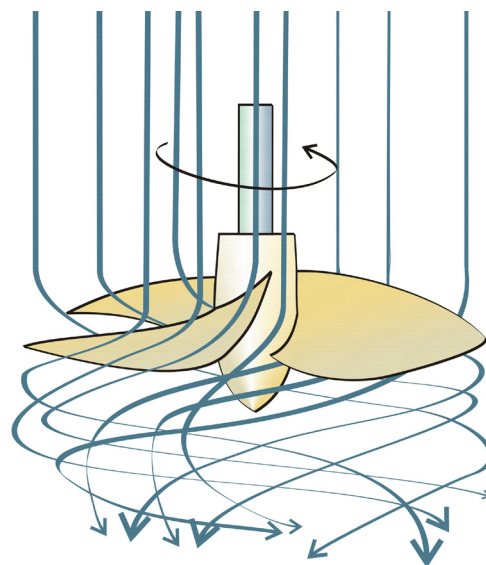
Con una hélice bien diseñada, la velocidad varía casi linealmente con las revoluciones por minuto del eje. Esta relación se mantiene hasta que se llega a una velocidad en que se acentúan los fenómenos de separación y cavitación.

El agua ejerce una fuerza sobre la hélice debido a la diferencia de presión que existe entre las caras opuestas de la pala, por lo tanto, esta fuerza debe ser perpendicular al área central de la cara de la pala. Como las palas están inclinadas, esta fuerza está inclinada con respecto al eje de la hélice, en lugar de estar en su misma dirección. Sin embargo, como generalmente las hélices tienen más de una pala y como éstas están colocadas simétricamente alrededor del eje, todas las componentes radiales se anulan y sólo queda la fuerza de empuje que actúa a lo largo del eje. Es sumamente importante el alineamiento de las palas de la hélice, porque se necesita un balance exacto de las componente radiales de la fuerza.



Una hélice se diseña para una velocidad dada, girando en el sentido avante, pero también ella trabajará bastante bien girando en el sentido atrás. El paso de la hélice es el mismo, cuando va avante que cuando va atrás, en este último caso la mayor diferencia consiste en que la sección transversal de la pala está invertida con respecto a la óptima posición, para prevenir la cavitación y la turbulencia. Cuando una hélice gira atrás es menos eficiente que cuando gira avante, esto significa que se requerirá mayor potencia para las R.P.M. en un eje atrás que para las mismas R.P.M. avante, pero se logrará aproximadamente el mismo empuje del mismo número de R.P.M. ya sea avante o atrás.

Aunque la hélice se diseña para que el agua pase a través de ella en una dirección paralela al eje, en la realidad esto no ocurre así. La característica del flujo se debe a la aceleración de la corriente al pasar a través de la hélice y a la rotación que ésta le imparte. La cantidad de turbulencia del flujo paralelo varía con la diferencia de las velocidades promedio del flujo a través de la hélice y de la corriente de las aguas circundantes. Por consiguiente, la turbulencia mínima del flujo paralelo a través de la hélice, ocurre cuando ésta realiza el trabajo mínimo.

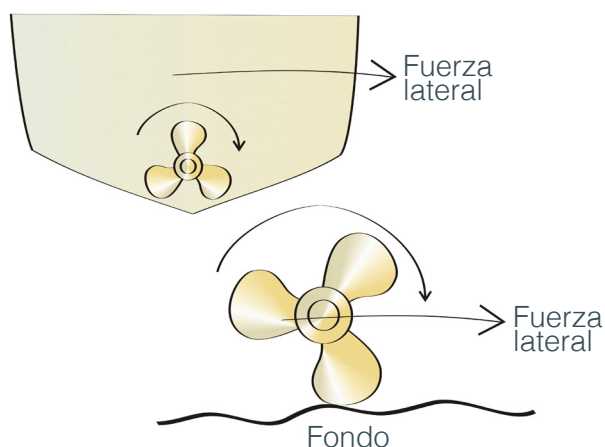


Sin embargo, cuando el buque está detenido y las hélices girando rápidamente, la turbulencia es grande y llega a su máximo cuando el buque se está moviendo en un sentido y las hélices están girando en el opuesto con su máxima potencia. También existe un componente tangencial

al movimiento impartido por la hélice al agua, como las fuerzas de las palas de la hélice son casi perpendiculares a la superficie de las mismas, la aceleración inicial del agua será en la misma dirección que estas fuerzas, por lo tanto, la hélice al girar, le imparte dos movimientos simultáneos al agua, uno de rotación y otro hacia atrás. Este efecto se hace evidente en la descarga en espiral de una hélice.

Buques monohélices

Fuerzas laterales en una hélice Como se ha mencionado anteriormente, además del empuje a lo largo del eje, también se obtiene una fuerza lateral que afecta la maniobra del buque. En este estudio la hélice se considera aislada y girando en una masa ilimitada de agua, sin embargo, en un buque la hélice no está aislada, sino que se encuentra cerca del casco y de la estructura necesaria para soportarla. Por consiguiente, el agua no puede fluir paralelamente al eje de la hélice, haciéndolo siempre con cierto ángulo de inclinación con respecto a éste. En la parte superior del disco de la hélice las palas están cerca de la superficie y bajo ciertas circunstancias el movimiento de dichas palas absorbe cierta cantidad de aire. Finalmente la descarga helicoidal de la hélice puede producir efectos pocos usuales, todas estas condiciones contribuyen a producir una fuerza lateral resultante que puede ser de suficiente magnitud para tener un efecto importante en el movimiento del buque.



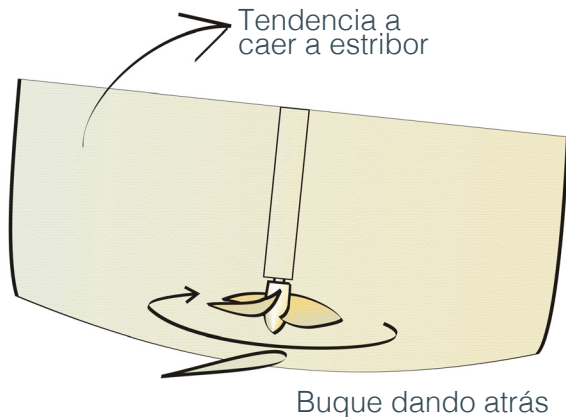
El patrón del flujo alrededor de la hélice es de gran interés para determinar las fuerzas que actúan en un buque. Aunque el efecto directo de la rotación de la hélice es obtener el empuje a lo largo del eje de la misma, los efectos secundarios del flujo de la corriente son con frecuencia tan importantes como el anterior al maniobrar un buque. A menudo el uso adecuado de los efectos secundarios de la rotación de la hélice nos permite realizar maniobras complicadas.

Las causas físicas de esta fuerza lateral resultante son bastante complicadas, por lo cual para quien maniobra el buque es suficiente saber que el resultado del movimiento de rotación de la hélice es una fuerza que tiende a mover la popa a una banda o a la otra. La magnitud de dicha fuerza lateral varía con el tipo de buque y con las características de la obra viva en los alrededores de la hélice, pero el sentido de la referida fuerza depende del sentido de rotación de la hélice misma, tal como si las palas inferiores de ésta estuvieran tocando el fondo y empujando la popa hacia la banda a la cual giran. Una hélice que gira hacia la derecha o en sentido horario vista desde la popa, hará que la fuerza actúe de tal manera que empuje la popa hacia estribor.

De la misma manera, una hélice que gira a la izquierda o en sentido contra horario empuja la popa a babor. Cuando se invierte el sentido de la rotación también se invierte el sentido de la fuerza lateral.

Cuando un buque de una sola hélice se mueve adelante a una velocidad constante, la fuerza lateral de la hélice no es grande. Con el fin de asegurar una buena eficiencia propulsiva, el buque se diseña cuidadosamente con el propósito de reducir al mínimo la fuerza lateral (y la cantidad de timón necesaria para anularla). Dando atrás o maniobrando a poca velocidad, la fuerza lateral puede ser mucho mayor.

Cuando un buque de una sola hélice da atrás, la descarga espiral de la hélice choca directamente contra la obra viva y la fuerza lateral llega a su máximo bajo cualquier circunstancia. Por esta razón, es muy difícil dar atrás con un buque de una sola hélice, de paso a la derecha, sin que la popa caiga a babor.

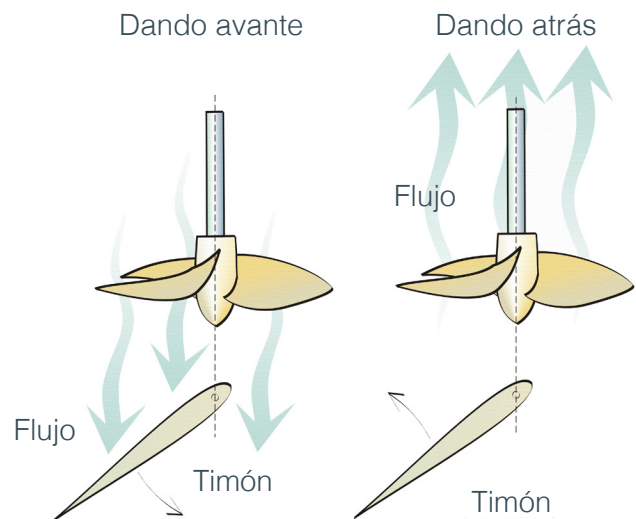


Cuando se maniobra con poca viada, la hélice puede estar girando a alta velocidad mientras el buque se está moviendo relativamente despacio. Con esta condición de gran resbalamiento, la turbulencia y separación pueden ser causa de que se experimente una poderosa fuerza lateral. Luego, independientemente del movimiento del buque, se experimenta una fuerza lateral como resultado de la rotación de la hélice y esta fuerza debe tenerse presente en los cálculos del Oficial de Guardia al estimar los movimientos del buque.

El timón en un buque monohélice.

Habiendo considerado los efectos en un buque de una sola hélice con el timón en línea de crujía, se establece ahora los efectos de éste. El timón, como cualquier otra hidro-plancha, experimenta una fuerza de elevación cuando se le inclina con respecto a la corriente de agua, en la cual se halla sumergido. Esta fuerza es proporcional al área del timón que presenta su ángulo de ataque y al cuadrado de la velocidad de la corriente. Si se estima la corriente verdadera en el timón que resulta de una combinación del movimiento del buque y de la corriente de la hélice, se puede predecir la efectividad que se obtiene del mismo. Como la fuerza en el timón varía con el cuadrado de la velocidad de la corriente, si se duplica la velocidad de la misma al

pasar por el timón, cuadriplica la fuerza obtenida para un ángulo de timón dado. En un buque de una sola hélice, como el timón está instalado directamente a popa de la corriente resultante es generalmente el factor predominante para determinar la efectividad del timón. Cuando la hélice está dando adelante, la velocidad de la corriente que pasa por el timón es casi exactamente igual a la corriente de expulsión de la hélice, sin considerar el movimiento del buque. Bajo estas circunstancias, se pueden producir grandes fuerzas laterales por medio del timón, independientemente de la velocidad del buque a través del agua. Es decir, cuando, la hélice esté dando adelante se puede afirmar que el timón es eficiente; sin embargo, cuando la hélice está dando atrás, la fuerte corriente de expulsión no va dirigida contra el timón y el buque debe depender solamente de la velocidad real para obtener la energía que se generará por el ángulo del timón. Por esta razón, un buque de una sola hélice debe llevar una buena velocidad atrás para que el timón pueda responder correctamente.



Fuerza resultante en un buque monohélice.

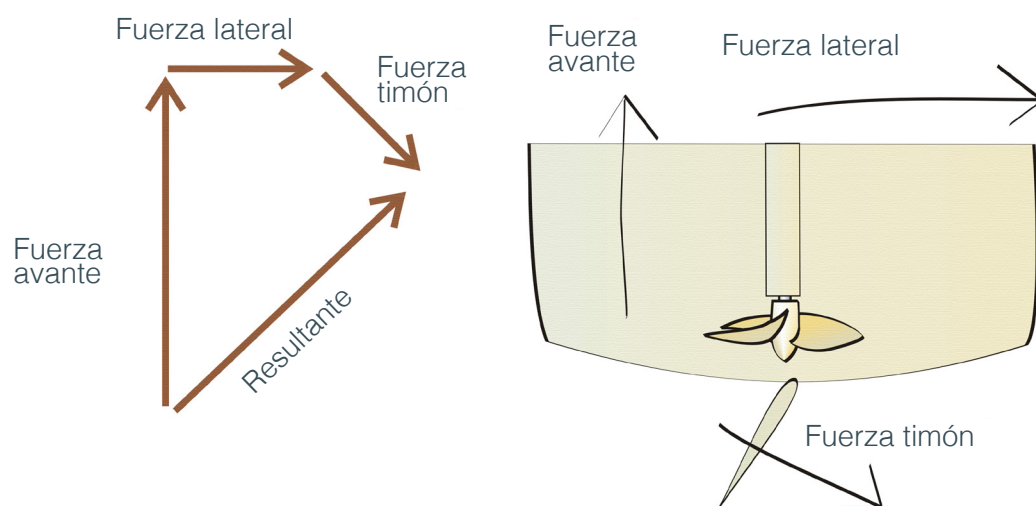
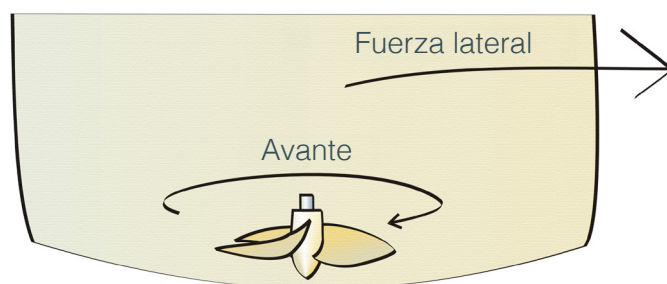
Se ha considerado el empuje, la fuerza lateral y la acción del timón separadamente, la resultante de estas tres fuerzas es la que determina el movimiento adelante, por lo tanto, se debe combinar todas estas fuerzas para obtener una resultante y poder predecir la acción conjunta de las mismas sobre el buque.

Si se define el **empuje**, como la componente que actúa en la dirección del eje de la hélice, se pueden agrupar las otras componentes de la acción de la hélice, en el plano horizontal, en una sola que se llama fuerza lateral. Como estas fuerzas actúan en puntos muy cercanos y próximos a la popa, para todos los propósitos prácticos, se considera que existe una sola fuerza resultante que actúa en la hélice y que sirve para maniobrar el buque si se controla adecuadamente.

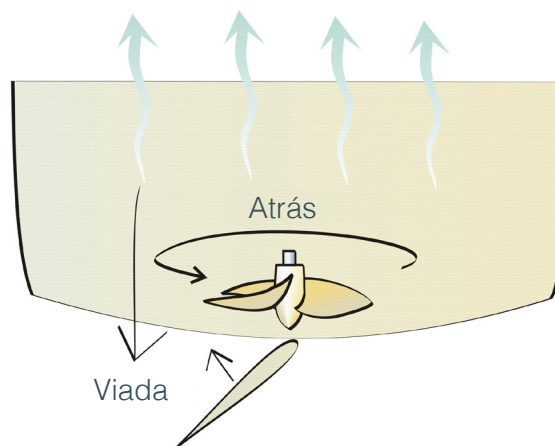
Además de las fuerzas mencionadas anteriormente existe el arrastre del casco al moverse a través del agua, éste depende de la velocidad y puede considerarse que actúa en el centro de gravedad en sentido opuesto al movimiento del buque. Si la fuerza aplicada en la popa es igual al valor del arrastre y su línea de aplicación pasa por el centro de gravedad, se llega a obtener un estado de equilibrio y el buque navegará a una velocidad constante sin tendencia a caer. Si por el contrario, la línea de acción de la fuerza resultante en la popa no pasa por el centro de gravedad del buque, éste manifestará una tendencia a caer a una banda u otra. El momento de giro será igual a la fuerza en la popa multiplicada por su brazo de palanca efectiva, con respecto al centro de gravedad del buque. Para todos los efectos prácticos, el centro de gravedad de un buque correctamente adrizado puede considerarse que está sobre la línea de crujía. Como se gobierna un buque, mediante el control que se tiene sobre la fuerza en la popa, es muy útil implantar un sistema

para determinar estas fuerzas, si se considera que todas las fuerzas en la popa están actuando en un mismo lugar, se construye un diagrama vectorial para determinar la fuerza resultante sobre el buque. La fuerza de arrastre se puede considerar como una fuerza de reacción, es decir, como la resistencia que se opone al giro del buque en el agua y, por lo tanto, se puede omitir la resolución de las fuerzas de control activas en la popa. Mientras el buque no tiene viada, la fuerza lateral es más significativa que cuando éste se está moviendo adelante, lo cual se experimenta en buques de una sola hélice. Cuando ésta se encuentra girando hacia atrás, la fuerza lateral anula completamente toda la fuerza de timón disponible.

Aunque es posible hacer caer el buque a estribor con la hélice de paso a la derecha girando adelante, caerá mucho mejor a babor, por la suma de la fuerza de la pala y la fuerza lateral.



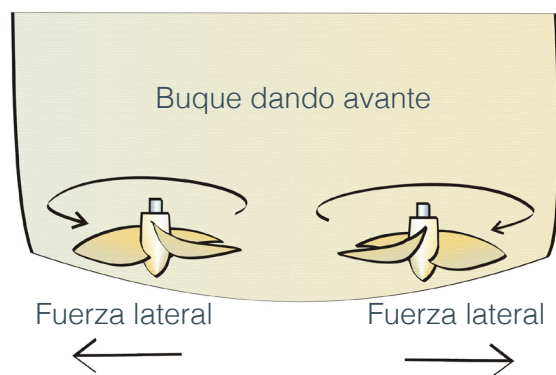
Cuando la hélice gira atrás y mientras el buque también tiene viada atrás de al menos 5 nudos, el timón comienza a ser efectivo, debido a la velocidad real del buque y no, como se podría pensar, al flujo que produce la hélice.



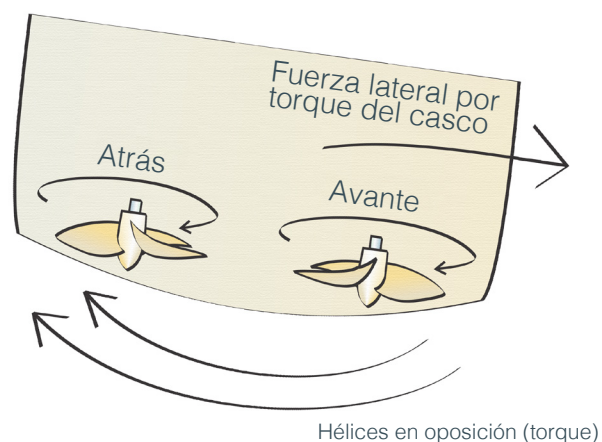
Buques de dos hélices

Fuerzas laterales con dos hélices.

Muchos buques de la Armada tienen dos hélices y algunos hasta cuatro. Normalmente, cuando se está dando avance, las hélices giran hacia afuera, es decir, que la hélice de estribor gira en el mismo sentido de las manecillas de un reloj y la de babor, en sentido contrario. Dándole a un buque un número par de hélices, girando en sentido opuesto, cuando se da avance, se pueden eliminar muchos de los problemas de los buques de una sola hélice, siempre y cuando las hélices estén girando, las fuerzas laterales con las mismas R.P.M. en cada eje y en el mismo sentido, se anulan ya que las hélices están girando en el sentido avance o atrás. Por otra parte, si las hélices están en oposición, es decir, una girando en sentido avance y la otra atrás, entonces las fuerzas laterales de cada una se suman, por lo tanto, con dos o cuatro hélices, se tiene una situación ideal, donde es posible anular las fuerzas laterales si se está dando avance o atrás y, al mismo tiempo, se pueden aumentar dichas fuerzas si se ponen las hélices en oposición.



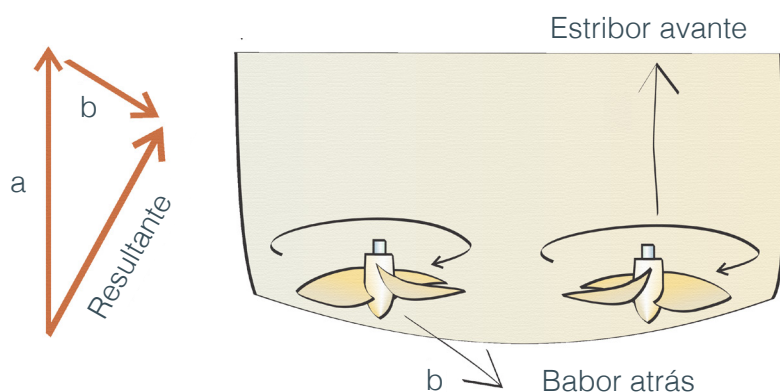
Además de aumentar las fuerzas laterales con las hélices en oposición, también se obtiene un efecto de giro en el buque, porque los ejes están uno a cada costado de la línea de crujía. Como la línea de empuje de cada hélice pasa por un lado del centro de gravedad, el momento de giro de ambas hélices se suma y el momento resultante tiende a hacer caer el buque a una banda u otra. A mayor distancia que haya entre las hélices (con ejes paralelos) mayor será este efecto.



Cuando las hélices situadas a ambos lados del buque se ponen en oposición se crea una corriente circular en un plano horizontal mediante la corriente de aspiración y expulsión de las hélices. Cuando esta corriente actúa sobre una parte de la obra viva del buque produce una fuerza. A proa de las hélices hay muchos obstáculos a esta corriente y se experimenta una fuerza lateral considerable. A popa de las hélices solo están el timón o timones y si éstos se ponen

en un ángulo tal, que sigan la dirección del flujo, opondrán poca resistencia. Consecuentemente el efecto de la corriente circular puede considerarse como una fuerza lateral que actúa sobre la obra viva a proa de las hélices. Cuando un buque de dos hélices se mueve avante, con una hélice solamente, se crea una tendencia a hacer caer el buque hacia la banda opuesta de la hélice que está usándose, esta tendencia es naturalmente causada por la fuerza lateral y porque la hélice no está en la línea de crujía.

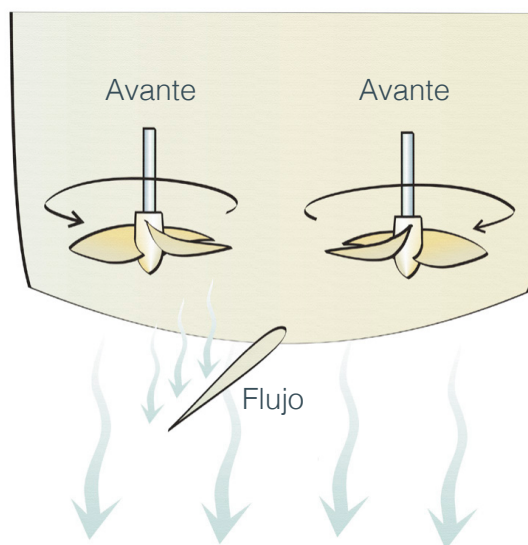
A bajas velocidades esta tendencia es bastante fuerte, pero a altas velocidades se puede contrarrestar dándole al timón un pequeño ángulo opuesto. Cuando se está dando atrás con una sola hélice, esta tendencia de giro es más notable. En este caso no sólo se tiene la fuerza lateral normal y el giro debido a que la hélice no está en la línea de crujía, sino que también la fuerza lateral se ve aumentada considerablemente por la corriente helicoidal de descarga que golpea el casco. Cuando se da atrás, la hélice lanza una fuerte corriente helicoidal hacia los arbotantes, que están por encima del eje, dando como resultado una importante fuerza lateral, esto hace que dicha fuerza lateral sea mucho mayor cuando el buque va atrás que cuando va avante. Siguiendo las observaciones anteriores, es posible dibujar un diagrama donde se muestra la dirección y sentido de la fuerza que se puede aplicar a la popa de un buque de dos hélices, haciendo girar cada una individualmente. La dirección promedio aparece indicada en la figura y si la longitud del vector se hace proporcional a las revoluciones por minuto del eje se pueden combinar los vectores para determinar la magnitud de la fuerza resultante en la popa del buque de las dos hélices.



Buque dando avante con estribor y atrás con babor

El timón en buques de dos hélices.

Un buque de dos hélices con un solo timón tiene éste colocado en la línea de crujía, justamente a popa de las hélices. Dicho timón no siente el efecto de la corriente de expulsión de las hélices cuando se encuentra en la línea de crujía. Consecuentemente, cuando se usan pequeños ángulos, solamente el movimiento avante del buque, a través del agua, tiene un efecto algo apreciable en la velocidad de la corriente que pasa a través del timón. Con ángulos de timón grande, sin embargo, (por lo general de 15 grados o más, de acuerdo con el tipo de buque) el borde exterior de la pala del timón entra en la corriente de expulsión de la hélice hacia la cual se ha hecho girar el mismo. Por lo tanto, con ángulos grandes de timón se obtiene un efecto aumentado si la hélice de la banda a que se mete el timón está girando avante.

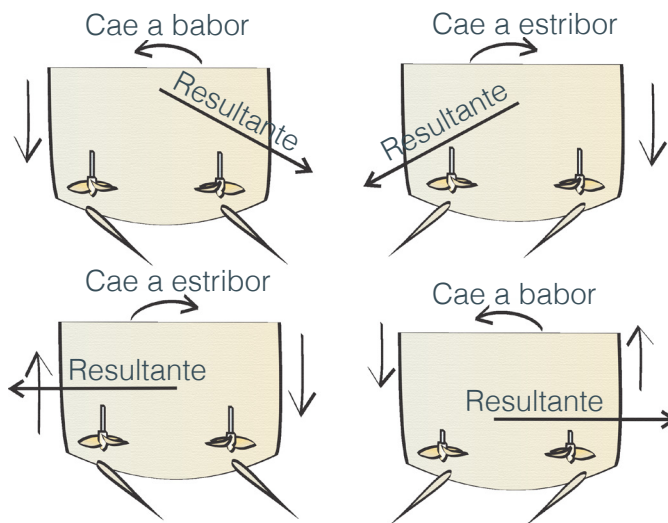


Muchos buques están equipados con dos timones. En esos diseños, los timones están instalados a popa de las mismas y su efectividad es aumentada por la corriente de las hélices que actúa directamente sobre los timones. Como la hélice puede producir una corriente de expulsión de alta velocidad sin tener en cuenta el movimiento del buque, es esa corriente, el factor que controla la eficiencia del timón. Si las hélices giran en sentido opuesto, la que va adelante tendrá el mayor efecto sobre la acción del timón. Resumiendo, con un buque de dos hélices y dos timones se puede girar fácilmente en el mismo lugar, sin tener viada adelante, dando la máquina en sentido opuesto y poniendo el timón todo a la banda hacia donde se quiere caer. La fuerza lateral del timón, a popa de la hélice que va adelante, sobrepasa la débil fuerza opuesta del otro timón.

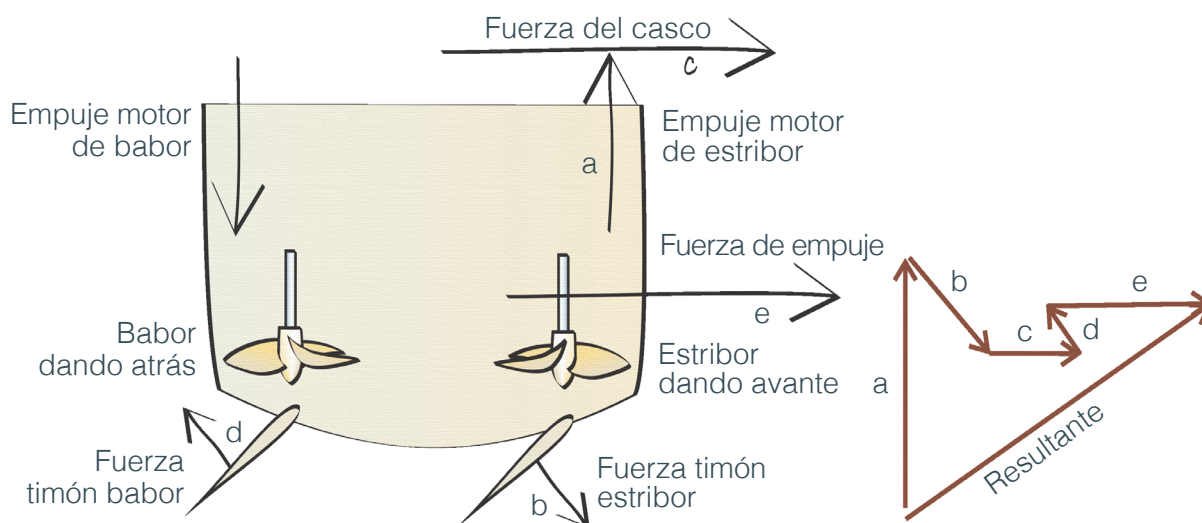
Fuerza resultante en un buque de dos hélices.

Para construir completamente el diagrama vectorial de las fuerzas que actúan en la popa, es necesario resolver el efecto producido por las hélices situadas a ambos costados, sustituyendo el par de fuerzas resultante, por una fuerza lateral equivalente que actúa en las hélices. Una vez efectuado eso, se puede considerar que todas las fuerzas actúan en la línea de crujía, entre las hélices y así se puede resolver en una sola fuerza resultante, por medio de un polígono de vectores. Esto, por supuesto, no considera la distancia longitudinal de las hélices a los timones, pero esta discrepancia produce una pequeña inexactitud.

Sin embargo, por medio de una selección debida de las combinaciones de máquinas y timón con un buque de dos hélices, se puede crear una fuerza en la popa en el sentido que se desea. Existe una combinación de máquinas y timón que se necesitan para producir una fuerza en cada uno de los octantes relativos. En la figura se considera que el buque no tiene viada y se notará que los timones están en posición para obtener un máximo efecto cuando la hélice gira adelante.



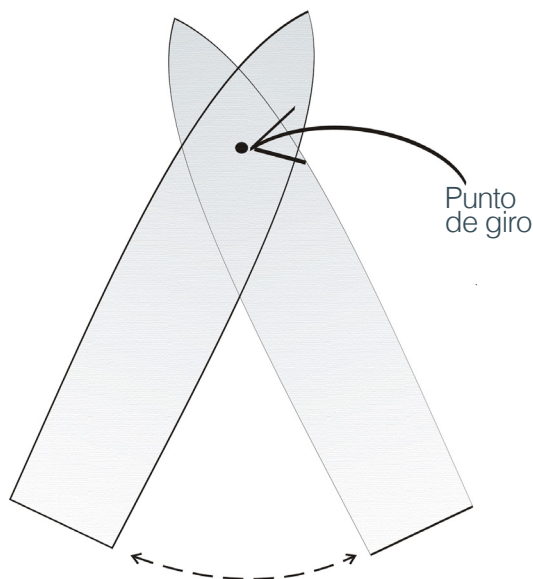
Al maniobrar con un buque, a veces, es muy difícil juzgar correctamente la corriente real que hay en los alrededores de las hélices y timones. Cuando se tenga duda del efecto combinado de las máquinas y timones, se debe observar la superficie del agua en los alrededores de la popa, estimándose la magnitud de esta fuerza observando la fuerza de la corriente.



El giro (caer hacia una banda)

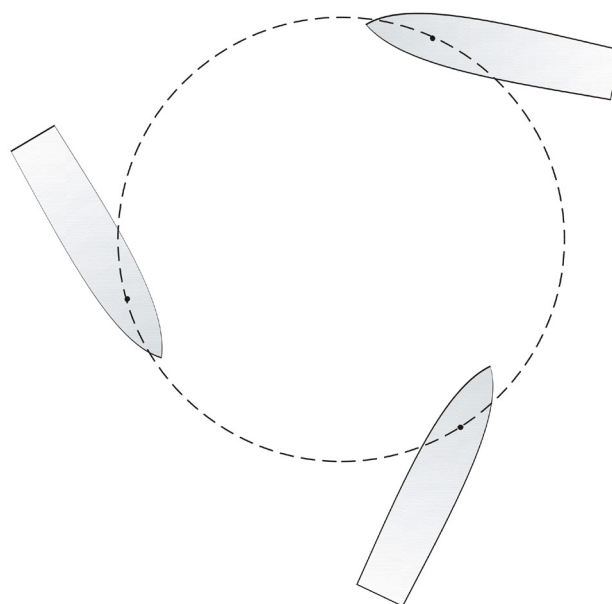
Principios básicos.

Ya se ha explicado cómo las fuerzas del timón y de las hélices actúan sobre la popa del buque, pero no se ha explicado la reacción del buque al aplicársele estas fuerzas. Siempre y cuando el vector de la fuerza resultante pase por el centro de gravedad no se producirá ningún giro. Cuando por medio de las hélices y timones se aplica una fuerza lateral con el buque sin viada, éste comienza a caer sobre un punto que está poco más o menos a un 30% a popa de la roda. Esto se debe a que el buque cae sobre su punto medio con una fuerza giratoria pura. Cuando se está navegando y dando avance, el punto de giro se mueve más hacia proa a medida que la velocidad aumenta, hasta que a velocidades normales de operación, el punto de giro está ligeramente a popa de la roda, aproximadamente a un 15 ó 20 % de la eslora del buque. Estos cambios de posición del punto de giro se deben al efecto hidrodinámico de la corriente al pasar por el casco.



El único medio que se tiene de control del buque es mediante sus máquinas y timón, y éstos actúan cerca de la popa del buque. Por lo tanto, se puede decir que se gobierna forzando la popa para que caiga hacia una u otra banda. Para caer a una banda, se fuerza la popa a la banda contraria a la que caerá y esto tiene dos efectos: primeramente, el casco del buque

se escora en la dirección inicial del movimiento y esto produce una gran fuerza que empuja al buque en la dirección de caída y segundo, el empuje de las hélices se inclina a la dirección inicial del movimiento y esto también fuerza al buque fuera de su rumbo inicial en la dirección de caída. Éste es un proceso continuo y mientras el buque siga cayendo a la banda, la línea de crujía se inclina hacia el centro del giro, la popa gira por el exterior y la proa por el interior de la trayectoria promedio del giro, el buque.

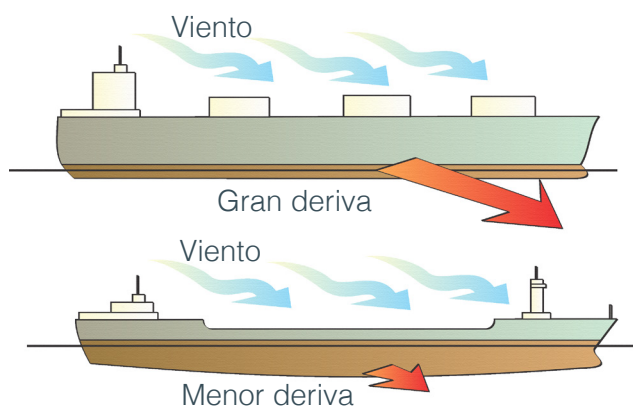


Viento.

Habiendo ya explicado con cierto detalle el uso y efecto de las máquinas y el timón, hay que considerar la próxima fuente de fuerza que actúa sobre un buque, que es el Viento. Esta fuerza amerita un estudio bien detallado, no solamente porque está fuera del control de quien maniobra un buque, sino porque está sujeta a variaciones imprevistas. Aunque algunas veces el viento es un inconveniente, otras puede resultar una ayuda. Utilizando el efecto del viento sobre el buque, algunas veces se pueden ejecutar maniobras que serían imposibles solamente con el uso de las máquinas y el timón.

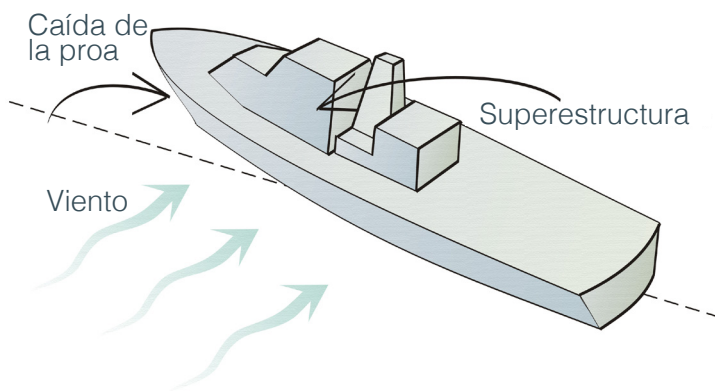
El viento normalmente actúa sobre el buque haciéndolo abatir. La fuerza que ejerce el viento es proporcional al cuadrado de su velocidad y al área de la parte de obra muerta opuesta al mismo. Si se duplica la velocidad del viento, la fuerza resultante también aumentará. Si la obra muerta del buque es irregular y presenta muchas superficies planas al viento, la fuerza que ejerce el mismo será mayor que si la superficie tuviera una forma aerodinámica. Es relativamente fácil predecir la reacción del viento en un buque dado. Si el buque tiene mucha obra muerta y poco calado, la fuerza ejercida por el viento será grande, la resistencia del agua al movimiento será poca y el buque reaccionará rápidamente a los efectos del viento.

Si el buque tiene gran calado y presenta poca obra muerta con forma aerodinámica, el efecto del viento será poco. Esto también es aplicable a las secciones del buque. Si su proa es alta y la popa baja, o sea, que la proa es muy alterosa, el viento hará que la proa caiga a sotavento. Por lo general, un buque que no esté muy cargado sentirá los efectos del viento más que uno que esté a plena carga. Si se lo quiere hacer caer a barlovento con un viento de través, será necesario sobreponerse a la fuerza del viento que tiende a hacer caer la proa a sotavento. Se debe mover la popa hacia sotavento más rápidamente que lo que el viento lo está haciendo con la proa.



Si la proa presenta una superficie mayor que la popa, la fuerza lateral que se necesite en la popa probablemente sea bastante grande. Como las fuerzas laterales que se obtienen de las máquinas solamente son relativamente pequeñas, es

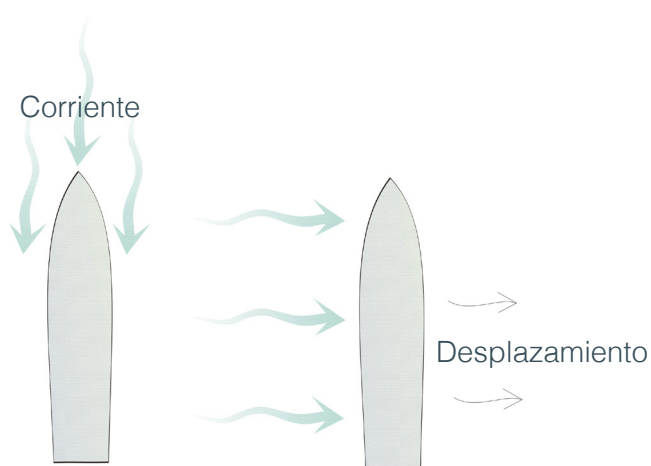
a menudo necesario ganar considerable viada avante antes de poder ejecutar la maniobra, ya que sin hacer esto la fuerza del timón es insuficiente para contrarrestar la del viento. En estos casos, es muy útil el Bow Thruster, ya que se puede aplicar una fuerza en la proa que ayuda a las máquinas de popa.



Corriente.

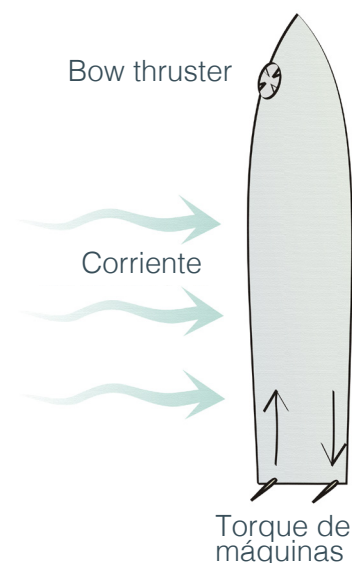
La última de las fuerzas que hay que considerar es la corriente. La resistencia de la obra viva de un buque a la corriente del agua es muy similar a la resistencia de la obra muerta al viento, sin embargo, la fuerza resultante es mucho mayor a una velocidad dada, ya que la densidad del medio es mucho mayor. Las líneas hidrodinámicas del casco son de suma importancia y la velocidad máxima de un buque es aquella en la cual la resistencia total del casco se equilibra con la fuerza que desarrollan las hélices. La resistencia de la obra viva a la corriente del agua es proporcional al cuadrado de la velocidad de la corriente y al área de superficie que se presenta contra dicha corriente. Además es inversamente proporcional a la posición de las líneas hidrodinámicas del casco con respecto a la dirección de la corriente. Por esto, la resistencia del casco a una corriente dada es mucho menor si dicha corriente viene de proa a popa que si la corriente es de través.

Como la corriente es, por definición, el movimiento del agua, el buque normalmente es llevado por este movimiento. Si se maniobra el buque como si no hubiera corriente y los objetos fijos se movieran con la velocidad de ésta, pero en sentido opuesto, se tendría poca dificultad en predecir su comportamiento.



En realidad, es importante tener una corriente relativa al buque, a no ser que ésta venga directamente de proa a popa. Si la dirección de la corriente en relación con el buque no es paralela a la quilla, debe haber alguna fuerza limitadora que proceda de las espías o de la maniobra de fondeo. Quien maniobra, debe siempre tener en consideración la corriente cuando está maniobrando su buque cerca de objetos fijos. Debe añadir el vector de la corriente, al vector del movimiento del buque, para poder determinar su movimiento verdadero con relación al objeto fijo.

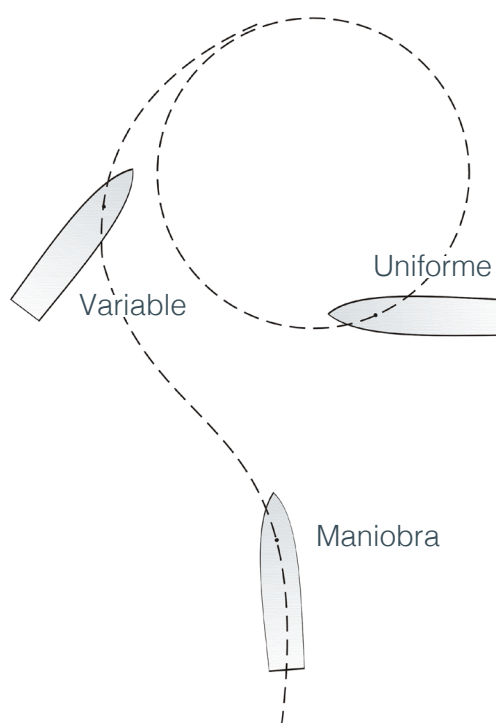
Al cambiar su velocidad debe recordar que la corriente permanece más o menos constante y debe tomar las medidas necesarias para compensarla. Finalmente, al maniobrar el buque a través de la corriente, se debe esperar que sea arrastrado, a no ser que se apliquen medios externos para detenerlos y en este caso las fuerzas requeridas son, por lo general, grandes.



Estudio del movimiento giratorio del buque

Fuerzas que afectan al movimiento giratorio.

Al poner a una banda el timón de un buque en movimiento, se origina un cambio de rumbo del mismo. La trayectoria descrita por el centro de gravedad de este buque se llama Curva de Evolución. Las fuerzas que actúan durante la evolución son tres: la propulsión del motor, actuando en el plano diametral; la resistencia de la carena, la fuerza variable en magnitud en el sentido de la traslación, y la presión normal del agua, actuando sobre la pala. Un buque navegando con velocidad constante y con caña al medio, tendría un movimiento rectilíneo hasta que se ponga el timón a una banda; en este momento empieza la evolución, dividiéndose ésta en tres fases o períodos, llamados de Maniobra, Variable y Uniforme.



El período de maniobra.

Es el tiempo que transcurre desde que se empieza a poner el timón a la banda hasta que alcanza el ángulo deseado. Antes de poner la caña, sólo actúan la fuerza de propulsión y la fuerza de resistencia, ambas iguales y contrarias; por lo tanto, el movimiento es rectilíneo y uniforme. Al empezar a meter caña se crea la presión normal que crece de valor al aumentar el ángulo de caña, creándose entonces el movimiento de evolución. La velocidad del buque disminuye por la fuerza de retención y comienza el traslado transversal debido a la fuerza de abatimiento,

El período variable.

Es aquel durante el cual, siendo constante el ángulo del timón, aún no se estableció el equilibrio dinámico entre las tres fuerzas que actúan sobre el buque y el movimiento, por lo tanto, es variable. Durante este período, la fuerza de resistencia es oblicua con relación al plano diametral, haciendo caer el buque hacia la banda donde se metió el timón; éste alcanza su máxima posición, el buque forma el ángulo de deriva entre el plano diametral y la tangente a la curva de evolución.

El período uniforme.

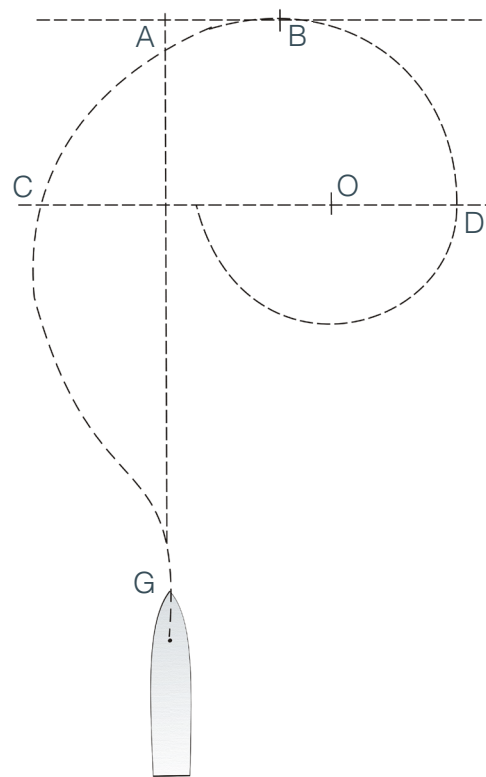
Es aquel que comienza cuando se establece el equilibrio dinámico y dura mientras no se altere ni el régimen de máquina, ni el ángulo de timón. En este caso, la resultante de las tres fuerzas es normal a la trayectoria; la velocidad angular, uniforme y el movimiento del buque se hace circular y uniforme.

Características de la curva de evolución.

Las características de la curva de evolución son: el avance, diámetro táctico o de evolución, el radio de giro y el traslado lateral.

Avance es la distancia entre el punto G, origen de la evolución y el punto A proyección del punto más alejado de la evolución B, sobre el rumbo primitivo AG.

Puede definirse como espacio que se necesita por la proa para evolucionar y suele ser prácticamente de cuatro a cinco esloras.



Diámetro táctico o de evolución.

Es la mayor distancia transversal CD. Suele variar de tres a seis esloras.

Radio de evolución.

Es la distancia OC entre el centro del círculo, en el período uniforme y el mayor traslado.

Traslado Lateral.

es la distancia entre la línea de rumbo primitivo AG y un punto cualquiera de la evolución; así el traslado lateral correspondiente al punto B es la distancia AB.

Punto giratorio.

Desde el momento que se pone el timón a una banda, el buque empieza a caer con rapidez hasta cuando comienza el movimiento uniforme. La trayectoria durante este período es prácticamente una circunferencia. Las trayectorias descritas por cada uno de los puntos del buque, al llegar éste al período uniforme tienen formas análogas a las descritas en la curva evolutiva, y son circulares y concéntricas. El buque no sigue la línea proa-popa sino que navega oblicuamente con la proa en el interior y la popa hacia el exterior. Cada uno de los puntos del plano diametral describe una curva y el mencionado

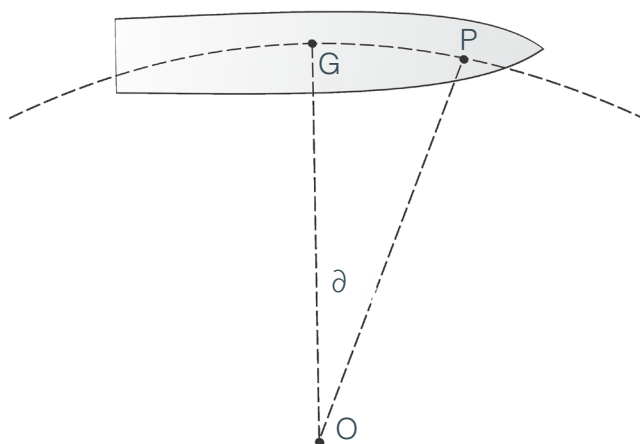
plano no es tangente a ellas, existiendo un punto situado en el plano diametral para el cual su curva de evolución es constantemente tangente a este plano, en dicho punto, precisamente, Burgois le ha llamado punto giratorio, siendo aquél en que parece que el buque gira sobre si mismo, para un observador situado a bordo.

En la figura p es el punto giratorio, G es el centro de gravedad y O es el centro de giro, en el período uniforme; se determina el punto giratorio p, conociendo el radio del círculo de evolución y la deriva, así:

$$GP = OG \operatorname{sen} \vartheta$$

La situación de este punto giratorio varía de posición en la primera parte de la evolución, no fijándose hasta que la curva es un círculo en que r y ϑ son constantes.

La velocidad y las condiciones evolutivas influyen en la situación del punto giratorio; si las condiciones son buenas, está muy próximo a la proa; en los buques de tipo medio se puede suponer situado a $\frac{1}{4}$ de la eslora hacia proa, estando a veces incluso fuera del buque, en la prolongación de la proa.



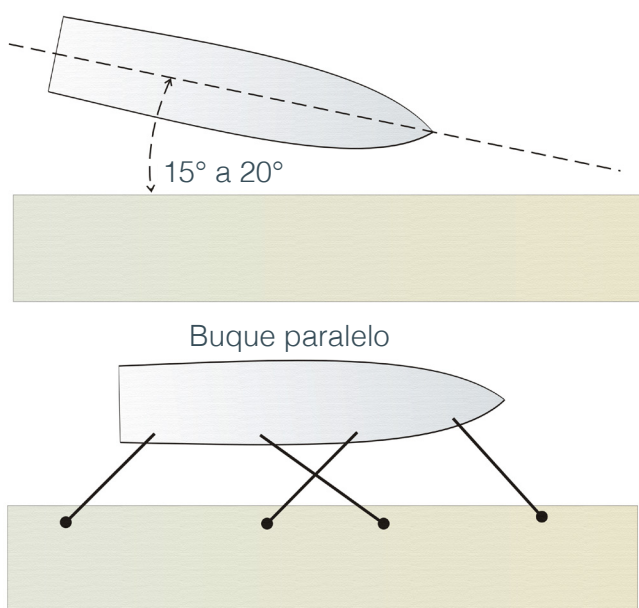
Maniobras de atraque

Entre las maniobras más interesantes en un buque están las de atraque y desatraque. Al explicar esta fase se presenta el problema de atraque y desatraque, efectuados a un muelle o a un buque. Las situaciones interesantes y problemas especiales son tantos, que es imposible cubrir todos en el poco espacio que se dispone, por lo cual solamente se tratará sobre los principios generales. Si se comprenden los principios, la solución de algún problema en particular nos resultará más fácil. El principio más importante en las maniobras de atraque y desatraque ha de ser siempre, la seguridad. Existen, naturalmente, casos extremos de mal tiempo y casos de emergencia donde se pueden producir problemas, pero si bajo circunstancias normales ocurre alguna falla, es una evidencia positiva de haber juzgado mal la maniobra.

Atraque.

El error más común que comete el Oficial de Puente con poca experiencia es hacer la aproximación muy cerrada. Tienen temor de no poder llegar al muelle y han oído muchas historias de maniobras que sólo han requerido una orden a la máquina y entregar las espías al muelle. Con un buque moderno, y bajo condiciones normales, no existe razón alguna para aproximarse a poca distancia del muelle o buque, ya que existe la posibilidad de maniobrar el buque adecuadamente. Un margen de seguridad menor que 10 metros no es lo suficiente para contrarrestar cualquier cambio repentino del viento o un desequilibrio entre las máquinas.

La maniobra normal de atraque debe de ejecutarse como sigue: Se aproxima a un rumbo convergente a 15 ó 20 grados de la enfilación del muelle, buscando una posición de manera que la banda por donde se atraca esté a 20 metros del muelle; al llegar a esta posición, se cambia el rumbo para que sea paralelo a éste y se detienen las máquinas para pasar las espías, luego se procederá al atraque del buque usando el cabrestante en las espía de proa y haciendo caer la popa con las máquinas. En esta operación se debe tomar todo el tiempo necesario y no apurarse, teniendo siempre cuidado de mantener el buque paralelo al muelle.



La razón por la cual es recomendable el ángulo inicial para aproximarse al muelle es para mantener la popa libre, para moverla hacia una banda o hacia otra, y para poder dar atrás si se ve que algo malo va a ocurrir. Nótese que el procedimiento anterior implica el moverse hacia el muelle en forma paralela en lugar de deslizarse contra el éste. Deslizarse a lo largo del muelle se debe evitar siempre que sea posible, pues haciendo esto, lo menos que puede pasar es que se raye la pintura del buque.

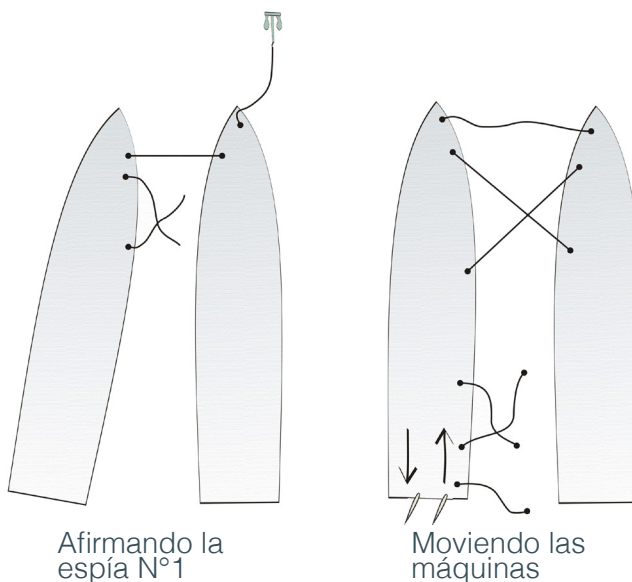
Para abarloarse a un buque fondeado se pueden aplicar los mismos principios que cuando se atraca a un muelle, con la excepción de que el Oficial al Mando deberá doblar las precauciones. Si el buque al cual se aproxima, está

amarrado a una boya solamente o fondeado, el buque, por lo general, estará borneando y por lo tanto la maniobra es mucho más complicada. En este caso se debe aproximar con un ángulo no menor de 20 grados y a un poco más de distancia para dar un margen de seguridad más amplio. Debido a estas precauciones adicionales, es conveniente no tesar primero las espías de proa, ya que con esto se puede hacer caer la popa del buque y alejarla del buque aproximador.

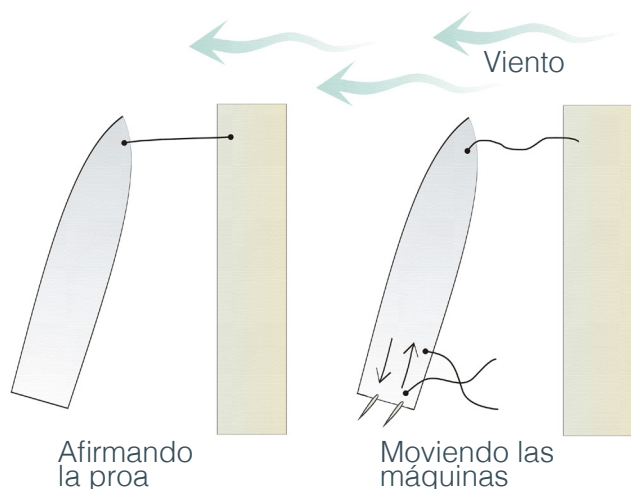
Debido a la tendencia que tiene el otro buque a girar y por falta de un cabrestante a popa, es necesario combinar la operación, es decir, entregar a las espías de proa cuando el buque se aproxima con su popa al buque fondeado. Esta maniobra es casi imperceptible si el Oficial al mando lo hace con cuidado, ajustando sus fuerzas para que el movimiento sea continuo.

El viento al atracar a un muelle.

El viento, naturalmente, complica la maniobra de atraque. Cuando está soplando desde muelle es necesario hacer la aproximación más rápidamente y cerrada para poder pasar las espías antes que el viento abate el buque. Pero no se deben olvidar las medidas de seguridad al hacer una aproximación muy rápida y cerca del muelle. Si el Oficial al mando está situado en el costado de maniobra y se tiene un repetidor de giroVen el alerón, se puede ver exactamente hacia dónde se dirige el costado del buque.



Excepto para casos extremos, todos los rumbos finales ordenados deberán hacerse de tal manera que si las máquinas no responden exactamente como se ha ordenado, el buque podrá pasar siempre libre de todo obstáculo.

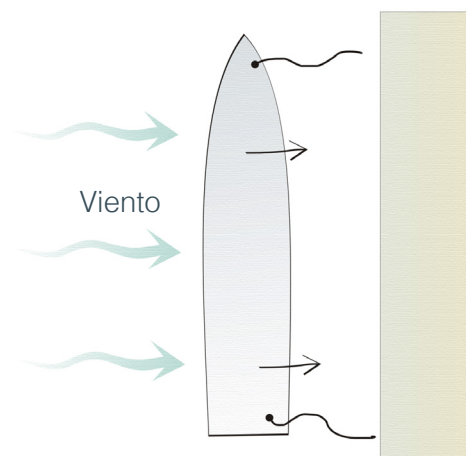


Tan pronto como la proa esté firme al muelle, se puede mantener la popa en posición usando las máquinas. Esto se puede hacer bajo casi cualquier condición.

Cuando el viento está soplando hacia el muelle, en casi todos los casos, el problema es mucho más fácil, porque el viento viene a ser una ayuda para la maniobra. El secreto de este tipo de atraque es aproximarse con la suficiente distancia al muelle para quedar paralelo y a una buena distancia. Si se queda muy abierto el viento se encargará de acortar esta distancia, pero teniendo presente que la velocidad de abatimiento no afecte al casco cuando se atraque al muelle. El viento empujará más la proa hacia el muelle y esta fuerza debe de ser contrarrestada moviendo la popa con las máquinas. La mejor solución es tocar el muelle exactamente en posición paralela. Hay tendencia a tocar el muelle con la popa, pudiendo romperse de esta manera una de las defensas de las hélices. Si el viento está soplando con fuerza (20 nudos o más) hacia el muelle, aun cuando se mantenga el buque paralelo, la velocidad de costado siempre será peli-

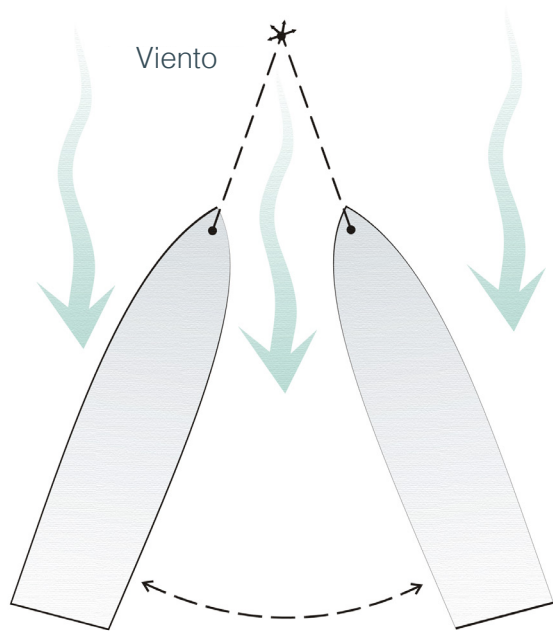
grosa. En este caso debemos aproximarnos a la posición de atraque, 50 metros hacia afuera y fondear el ancla de barlovento.

Esta ancla mantendrá la proa contra el viento, dándonos así una fuerza adicional para mantener la popa alejada del muelle con las máquinas. Con estas disposiciones se pueden cobrar a las espías con tranquilidad y seguridad y acercarnos a una posición de atraque tan despacio como se desee.



El viento al abarloarse a un buque fondeado.

Abarloarse a un buque fondeado o amarrado a una boya cuando esté soplando el viento, es un problema distinto, porque el otro buque se aproará al viento y casi siempre borneará considerablemente. El borneo puede hacerse menor si el buque fondeado acorta algo la cadena, pero así todo, si el viento es bastante fuerte el borneo va a ser amplio. Se recomienda estudiar el borneo con tiempo y aprovechar la oportunidad de aproximarse rápidamente por sotavento mientras el buque fondeado se ha movido para dejar libre la maniobra. Un buque fondeado no bornea simplemente hacia la derecha o izquierda respecto de su proa, en realidad el buque se inclina hacia el viento y se desliza presentándole el costado hasta que la cadena se tesa. Esto hace que el buque gire presentando la otra amura al viento, repitiéndose el movimiento anterior.

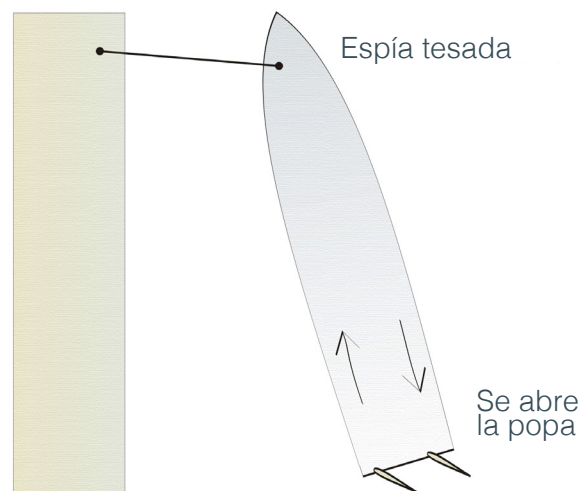


Desatraque.

La maniobra de desatraque es a veces más difícil que la maniobra de atraque, porque exceptuando el viento y la corriente, no hay ninguna manera directa mediante la cual se pueda separar la proa del muelle o del otro buque. Por lo general, el procedimiento para desatracar es abrir la popa lo suficientemente para que esté clara y entonces dar atrás rápidamente, metiendo inicialmente el timón hacia la banda del muelle, para así abrir algo la proa. Existe una tendencia que hace que la proa se pegue al otro buque mientras se da atrás, y se debe tener cuidado de que el ancla del costado de maniobra no raye el costado del otro buque.

Normalmente, la popa se puede separar sin mucha dificultad, largando las espías y cobrando los senos de las espías de proa, haciendo que la popa abra con las máquinas. Esto debe hacerse algo despacio y con especial cuidado y atención en las defensas de proa, hasta que la amura de la parte del muelle esté apoyada sobre el mismo o sobre el otro buque. Cuando la popa esté abierta lo suficiente, se manda a parar las máquinas y tesar las espías de proa.

A menudo, es útil dar atrás solamente con la máquina de afuera y metiendo el timón hacia el muelle, después de haber abierto inicialmente la popa. Otro método y posiblemente menos violento de abrir la popa es largar las espías de popa y cobrar, poco a poco las aspías de proa, usando para esto el cabrestante. Este método es más lento, pero hay menos oportunidad de que un movimiento brusco cause averías.



Cuando hay un viento fuerte, que aconche el buque hacia el muelle, es recomendable hacer girar la popa hasta que el buque esté casi perpendicular al muelle, antes de dar atrás. Bajo tales circunstancias, se necesitan más defensas a proa, para evitar que la misma haga averías en el muelle. Si se abre la popa unos 10 grados con el viento aconchándonos, no es tarea difícil el continuar el giro los otros 80 grados, porque la fuerza del viento se hace menos efectiva mientras menos costado se presente. Habiendo girado la popa contra el viento, es recomendable utilizar la tendencia que tienen los buques de llevar la popa al viento cuando van atrás. Al separarse, se puede dar atrás directamente contra el viento, para obtener espacio de maniobra antes de caer al rumbo que en definitiva se debe hacer para salir. Cualquier método que se utilice en la maniobra de desatraque, el secreto para te-

ner éxito estriba en abrir la popa clara de todo peligro. La popa se considerará que está lo suficientemente abierta si el buque, al dar atrás, lo hace sin hacer contacto con el muelle.

Efectos de la corriente.

El efecto de la corriente entre dos buques o entre un buque y un muelle más o menos sólido es interesante. Si hay una corriente entre dos buques que estén cerca uno del otro y paralelos, el efecto de Venturi ejercerá una fuerza con tendencia a unir los dos buques, esta fuerza dependerá de la proximidad de los dos cuerpos y de las características del canal entre ellos. La fuerza que se experimentará será proporcional a la diferencia entre el cuadrado de la velocidad de la corriente entre los dos cuerpos y el cuadrado de la velocidad de la corriente por los costados exteriores de los buques. Por otra parte, si de repente se fuerza una corriente entre los dos buques, la fuerza tendrá tendencia a separarlos. Es como si acumulara agua entre los dos y busca la salida para separarse de los mismos. Finalmente, el problema se complica con frecuencia por el hecho de que uno de los buques se está moviendo en el momento crítico.

Al dar atrás para separarse del otro buque al que se esta abarloado siempre hay una fuerza que tiende a juntar la proa con la popa del otro buque. A pesar de todo lo que maniobre la proa no pasará todo lo abierta que se había calculado de la popa del otro buque. Este efecto se presenta porque el agua que desplaza el buque mientras estando atracado debe ser sustituida cuando se comienza a dar atrás. Por el costado de atraque el agua no puede ser sustituida rápidamente por la presencia de ambos buques, por lo cual la fuerza de la corriente es desde afuera, forzando a los buques a unirse. La distancia entre los buques en los puntos más cercanos tiende a mantenerse constante, mientras se está dando atrás.

Este efecto de desplazamiento también actúa en contra y es probablemente la razón por la cual hay tantas situaciones complicadas pero sin haber muchos accidentes. El agua que hay entre los dos buques al aproximarse actúa como un cojín y evita que ambos se toquen.

