



LAS ETAPAS DE LA «BOTADURA»

Raúl VILLA CARO



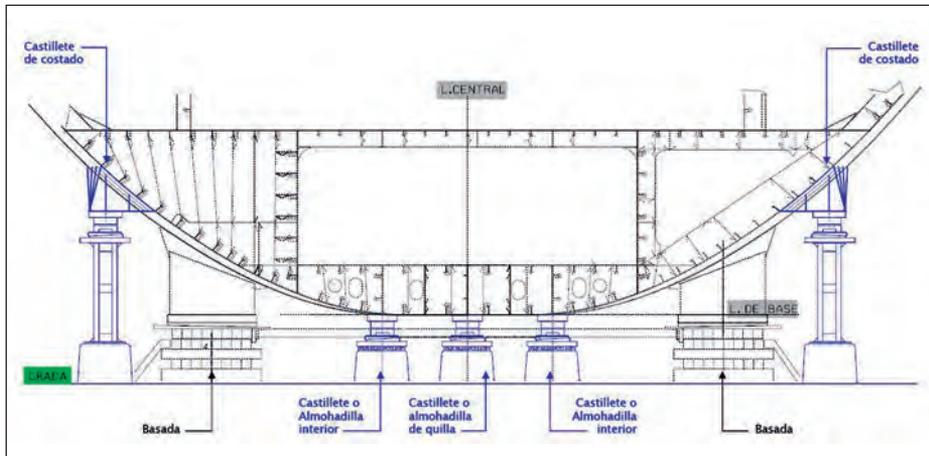
UANDO en el año 2005 desembarqué del patrullero *Serviola* y vine destinado a la Inspección de Construcciones de Ferrol, ya como ingeniero, comenzó mi gran interés por el que considero el momento más interesante de la vida de un buque, el hito de la botadura. No obstante tengo que reconocer que todo ese interés y conocimiento me vino heredado por el que era mi jefe de Ingeniería en aquel momento, el ahora capitán de fragata ingeniero Joaquín Poves, al que deseo que esté disfrutando, ya en la reserva, de su otra gran pasión, la hípica.

Introducción

El proceso de construcción del buque tiene lugar, normalmente, en las instalaciones del astillero situadas en tierra junto a la línea de separación con el mar, un lago o un río. Los sistemas utilizados para la construcción del casco son los siguientes:

- Construcción en grada o varadero.
- Construcción en dique seco (flotadura).
- Construcción en taller (buques pequeños).

Durante este proceso, el buque ha de transferir su peso a la grada, varadero o dique a través de unos soportes adecuados que reciben el nombre de cuna o cama de construcción.



Sección de un buque en grada.

Una vez finalizada la construcción del casco se procede a la puesta a flote, lo que se realiza mediante deslizamiento sobre un plano inclinado (cama de lanzamiento) en el caso de construcción en grada o varadero, inundación del dique si la construcción es en dique seco y arriado mediante grúa u otro método similar si se ha hecho en el taller.

Aunque las botaduras también se pueden hacer de forma lateral (cuando hay poco espacio de agua, por ejemplo en ríos), debido a las características de construcción del astillero de Ferrol, me centraré en el lanzamiento longitudinal, que a continuación explicaré.

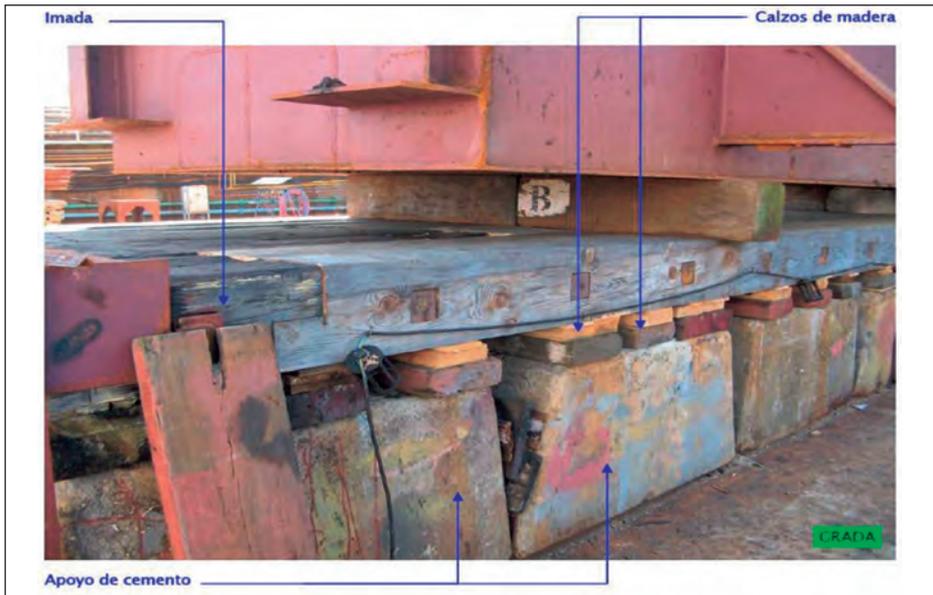
Etapas del lanzamiento

La botadura o lanzamiento se realiza en dos etapas:

- Transferencia del peso del buque desde la cuna de construcción, formada por los picaderos, escoras y almohadas que lo han soportado durante dicha fase, a la cuna de lanzamiento.
- Deslizamiento del buque y cuna de lanzamiento (que van unidos por medio de cables) de forma controlada hasta que flote libremente.



Picadero de la cama de construcción.



Calzo de madera.



Buque listo para la botadura.

Botadura mediante lanzamiento por popa

Durante el lanzamiento, el buque se deja caer a lo largo de pistas de deslizamiento llamadas imadas, normalmente dos, dispuestas simétricamente respecto al plano longitudinal, sobre las que apoya el peso a través de las anguilas, piezas de contacto con las imadas que reciben el peso del buque a través de estas, normalmente de madera, llamadas picaderos, con las cuñas necesarias para realizar mediante apriete de estas (además de lo que veremos a continuación) la transferencia del buque de la cama de construcción a la cuna de lanzamiento.

Las imadas se disponen sobre una superficie dotada normalmente con la inclinación necesaria, que recibe el nombre de grada.

El conjunto de las anguilas y piezas de soporte recibe el nombre de cuna de lanzamiento. Las anguilas se convierten en una especie de vagones de tren, unidos sólidamente al casco por medio de cables (a veces, incluso soldados), que se deslizarán junto al buque (una vez que se haya realizado la botadura, estos cables son liberados por buzos —disponen de ganchos disparadores para ello— y la cuna cae al fondo del mar, de donde se recupera). En los extremos



Cajones instalados para aumento de flotabilidad.



Cama de lanzamiento tras una botadura.



Operario actuando sobre la caja de arena.

de proa y popa la cuna debe adaptarse a las formas más finas de estas zonas del buque a través de piezas de soporte de mayor altura, que reciben el nombre de santos o apóstoles (seguramente porque van colocados «allí arriba»). Además, ayudarán a la botadura dando mayor flotabilidad (en el caso del *Juan Carlos I*, donde existía gran preocupación por el calado en proa que podría adquirir el buque durante el saludo, los santos tradicionales fueron reemplazados y complementados con

unos cajones-flotadores que aumentaron más aún la flotabilidad).

Pero el elemento verdaderamente responsable en el momento de la transferencia del peso de la cama de construcción a la cama de lanzamiento es el gran desconocido de la botadura. Unas simples cajas de madera o metálicas, que contienen unas bolsas de arena, son pinchadas para que vaya saliendo esta y se vaya transfiriendo el peso de una de las camas a la otra.

La cuna del buque va amarrada al casco mediante frenos de cable, cáncamos, grilletos rectos, grilletos de liria y tensores con disparadores para permitir que siga unida al buque y le sirva de freno hasta la entrada al dique, donde se procederá a su desmontaje.

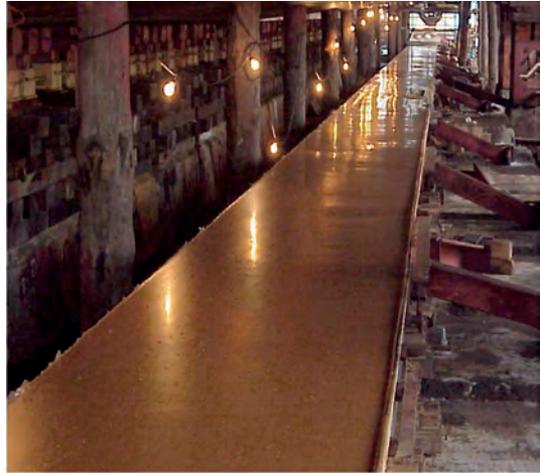
La instalación de estos elementos se realizará una vez instalados todos los que conforman la cuna de lanzamiento.

Sección transversal y longitudinal de santos

La pendiente de la imada debe ser suficiente para que el buque se deslice a lo largo de ella durante la botadura, de modo que la componente del peso junto con la cuna —en la dirección de la imada— sea superior a la fuerza de rozamiento de las anguilas con la imada. Los valores normales de inclinación de la grada oscilan entre 2° y 4°.

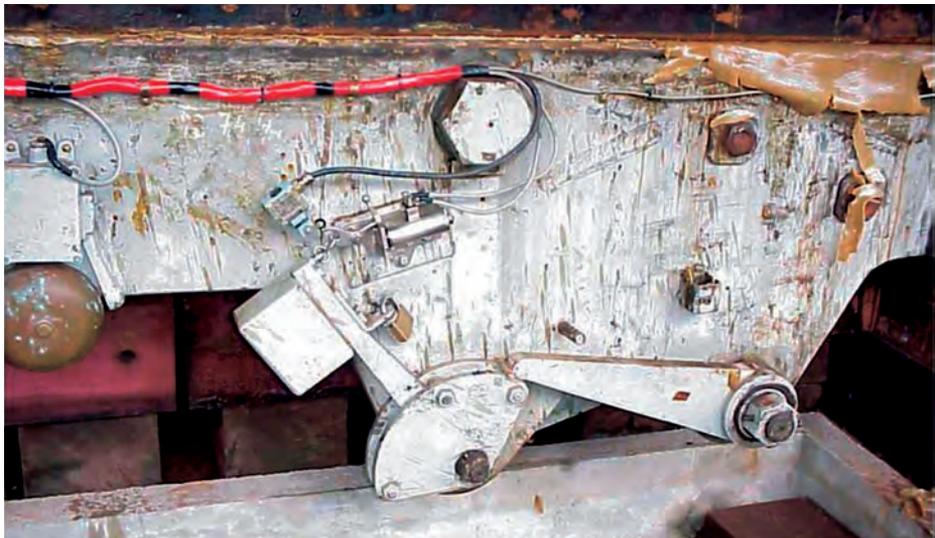
Pero además de poseer la inclinación adecuada, la cama de deslizamiento tiene que ser tratada con una capa de grasa adecuada en los días previos al lanzamiento. Una vez realizado el proceso de transferencia, el buque queda listo para la botadura. Con objeto de impedir su deslizamiento hasta el momento deseado, se utilizan unos dispositivos de sujeción llamados llaves de

lanzamiento. Cuando estas se liberan, el buque queda libre para deslizarse sobre las imadas, iniciándose así el proceso de lanzamiento de la botadura. Evidentemente, la longitud y anchura de las imadas se ha diseñado para que soporten una presión determinada (presión media) y para que el giro del buque sobre el patín se realice en un momento y lugar determinados (no nos podemos olvidar de que el lugar de la botadura tendrá una profundidad determinada y debemos estar seguros que el buque en el momento del saludo no calará más que lo que nos permite la profundidad en ese lugar y para ese instante del día).



Aplicación grasa de deslizamiento.

Previamente al inicio de la construcción del buque en la grada se situarán las llaves de retención mecánica de babor y estribor respectivamente. Las llaves móviles o palancas de retención mecánica se instalarán en su posición



Llave de retención.



Regla de deslizamiento.

definitiva antes de la instalación de la retenida móvil (anguila móvil que marca la posición definitiva del resto de las anguilas).

Indicar también que existe un gato hidráulico para conseguir el efecto contrario en caso de que fuera necesario, es decir, tener que dar un «empujón» al barco para que empiece a deslizarse si no lo hiciera una vez que se abrieran las llaves de retención (existe una regla de deslizamiento para comprobar que esto no va a ocurrir, y que detecta un pequeño movimiento que indica que el barco está «vivo» una vez que se transfiere el buque de la cama de construcción a la de deslizamiento en los momentos previos a la botadura).

En los primeros instantes de la botadura, el buque, apoyado en la cuna de lanzamiento, se desliza sobre las imadas, existiendo solo en juego el peso del buque y la cuna, la reacción de las imadas y las fuerzas de rozamiento de las anguilas-imadas.

Desde el instante en que el barco entra en el agua, aparece un empuje variable que hace cambiar la reacción en las imadas y su punto de aplicación, así como una fuerza hidrodinámica que se opone al movimiento.

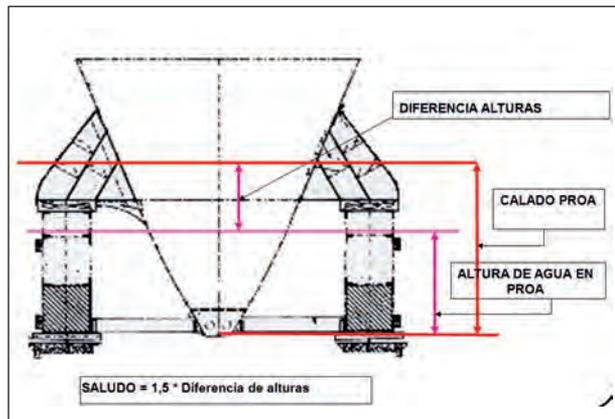
Cuando el momento del empuje con relación al extremo de proa de la cuna de lanzamiento es igual al momento del peso respecto del mismo punto, se iniciará el giro del buque alrededor de dicho extremo de proa de la cuna, y quedará el buque apoyado solamente en la parte de proa de la cuna a través del patín. Al continuar el movimiento, el barco queda a flote de una manera



Patín. Se observan los cables que unen la cuna y el buque.

suave si la altura del agua sobre el extremo de popa de las imadas es igual que el calado de proa del buque. En caso contrario, el buque inicia una cabezada al encontrarse la proa sin apoyo en la imada, movimiento que recibe el nombre de saludo.

La operación de lanzamiento de un buque no está exenta de riesgos, es delicada y requiere esfuerzos importantes sobre la estructura interna del buque (por ello a veces llega a reforzarse y apuntalarse parte de la zona de proa). Decía mi antiguo jefe que esa operación era la de



Saludo.

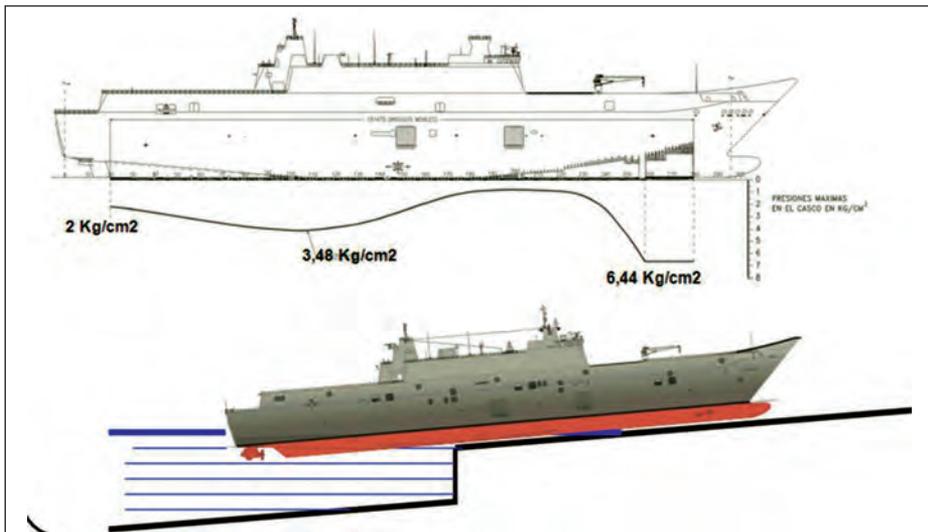
mayor «sacrificio» del buque, ya que estos se construían para navegar y no para permanecer sobre camas y picaderos.

Durante el lanzamiento se distinguen cinco fases perfectamente diferenciadas:

- Desde que el buque inicia el movimiento hasta que toca el agua. Durante este período apoya toda la cuna sobre las imadas.
- Desde que la cuna empieza a tocar el agua hasta que el buque inicia el giro alrededor del extremo de proa de la cuna.
- Desde que se inicia hasta que finaliza el giro, período durante el cual el buque solo se apoya longitudinalmente en un punto (punto de giro).
- Desde que la cuna deja de apoyarse en la grada (flota libremente) hasta que empiezan a actuar los dispositivos que frenan al buque (retenidas), en caso que se hayan previsto.
- Desde que empiezan a actuar las retenidas hasta el momento en que se detiene el buque.

A continuación interpretaremos en tres pasos, siguiendo la gráfica siguiente, los diferentes momentos descritos, particularizándolos a la que fue la botadura del LHD *Juan Carlos I*:

- Inicialmente el buque empieza a descender por la grada, y posee una presión media de 2 Kg/cm^2 , pero debido a las formas de popa (menos



Reparto de presiones durante la botadura.

F-105		VALORES MAXIMOS
PRESION MEDIA EN LA BASADA	1,99 Kg/cm²	1,3 a 2,8 Kg/cm²
PRESION MÁXIMA EN EL EXTREMO DE LA BASADA	3,29 Kg/cm²	5 Kg/cm²
PRESIÓN EN EL GIRO (PATÍN)	6,21 Kg/cm²	12 Kg/cm²
DISTANCIA AL EXTREMO DE LA BASADA EN EL GIRO .	50 mts.	>40 metros
SALUDO	1,27 mts.	3 metros

Valores de la distribución de presiones en la *F-105*.

llenas), según esta va abandonando la grada, esta presión va aumentando hasta alcanzar el valor de 3.48 Kg/cm². Cuando el buque aún no ha tocado el agua, su presión media (peso del buque más la cuna entre la superficie de contacto anguilas-imadas) suele oscilar entre los 2 o 3 Kg/cm². Pero cuando el buque toca el agua, y en concreto cuando las anguilas han sobrepasado el extremo de las imadas, la superficie de contacto se reduce y las presiones pueden tomar valores mayores que se deben estudiar.

- A partir de ese momento la presión media empieza a disminuir, en gran parte debido a que la popa del buque comienza a meterse en el agua y a recibir el empuje de esta, alcanzando un valor mínimo inferior a los 2 Kg/cm² iniciales (desde el momento en que el barco y la cuna tocan el agua hasta que comienza el giro, hay una fuerza hidrodinámica que se opone al movimiento).
- Y en ese instante llega el momento crucial de la botadura. El buque empezará a apoyarse sobre el patín, a «cargar» su peso sobre él y, gracias a la forma de este, a realizar el giro. En el momento final del mismo se alcanzará la presión máxima de la botadura (ya que todo el buque apoya sobre una superficie muy pequeña, la que abarca el patín), en este caso 6.44 Kg/cm², y a partir de ese momento se producirá el saludo del buque y este empezará a flotar. Los santos de proa

han de soportar la reacción durante el giro, pudiendo alcanzar valores del 25 al 30 por 100 del peso del buque más la cuna, aunque generalmente no se superan presiones de 12 kg/cm^2 .

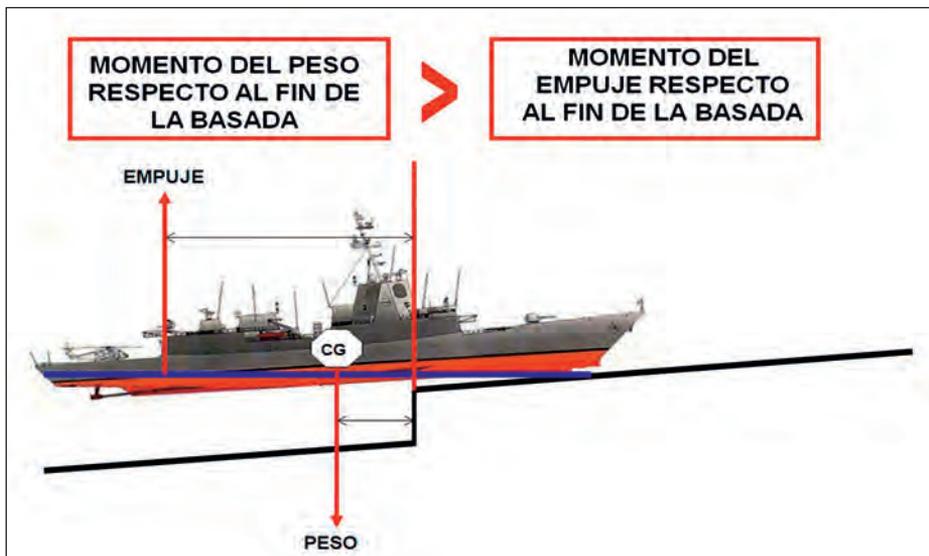
Evidentemente todo el cálculo se realiza para que ese momento del giro ocurra en el instante deseado, ya calculado previamente para que el buque salude en el lugar exacto y sin complicaciones de calado. Para ello las imadas se dimensionan con la superficie adecuada para que soporten las presiones necesarias para que el buque deslice.

A continuación, se analizan los tres momentos más importantes de la botadura que, como es de esperar, serán estudiados física y matemáticamente.

Arfada

Desde que el buque comienza a introducirse en el agua hasta que flota libremente, su peso es soportado por su empuje y por la longitud de la imada que se mantiene en contacto con la cuna de lanzamiento.

Al ir avanzando dentro del agua, el valor del empuje irá aumentando. Paralelamente, al deslizarse, su centro de gravedad se irá aproximando al extremo más bajo de la imada, llegando en su camino a rebasarlo, tal como se indica en la figura siguiente. Puede entonces suceder que si el empuje obtenido no es lo sufi-



Arfada.

cientemente grande cuando el centro de gravedad ha rebasado el extremo de la imada, se verifique que el momento del peso respecto al extremo de la basada sea mayor que el momento del empuje respecto al extremo de la misma.

Debido a esta desigualdad de momentos longitudinales, el buque tenderá a girar alrededor de un punto, resbalando simultáneamente sobre la arista extrema de la imada, lo que origina una gran concentración de esfuerzos en dicho punto. Posteriormente, al aumentar el empuje, el buque volvería a apoyarse sobre las imadas, produciendo un impacto que dañaría la cuna y la grada.

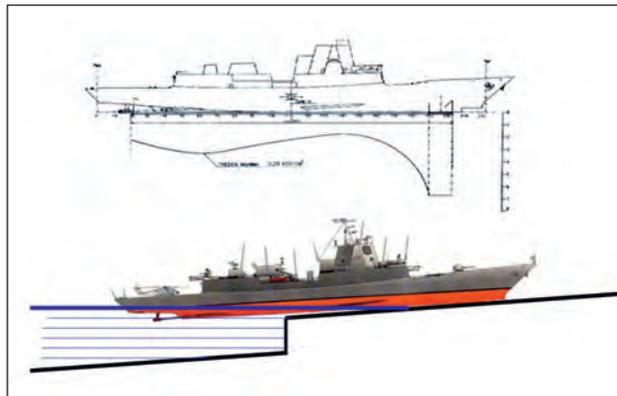
A este fenómeno se le conoce como arfada, y hay que asegurarse de que no se produzca bajo ninguna circunstancia. Las soluciones para evitarla son las siguientes:

- Alargar las imadas con el fin de proporcionar profundidad suficiente del agua al final de la imada o dotarlas de mayor inclinación.
- Utilizar los instantes de las mayores pleamares para la botadura.
- Modificar la posición del centro de gravedad del buque (desplazarlo hacia proa).

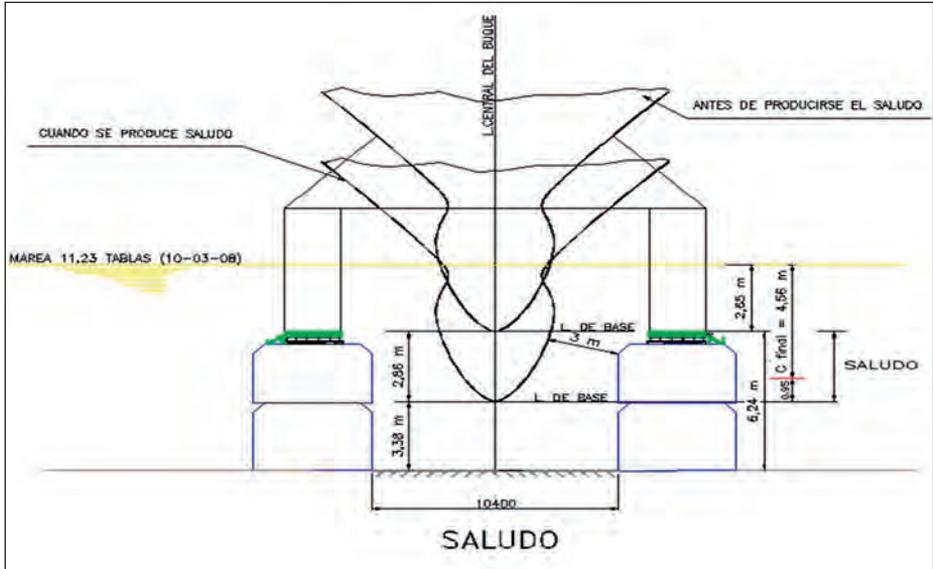
Giro

Al continuar el buque su descenso, irá aumentando el empuje de la parte sumergida, tal como se indica en la figura siguiente. Llegará un punto en que se verificará que el momento del empuje respecto al extremo de proa de la cuna sea mayor que el del peso respecto al extremo de proa de ella. Será cuando el buque inicie el giro alrededor del extremo de proa de la cuna de lanzamiento. Por tanto, despegará de la grada quedando solamente apoyado en el extremo de proa de la cuna por medio de los santos de proa. Estos tienen como misión distribuir las cargas sobre el casco en una superficie mayor, al objeto de disminuir los esfuerzos, y al mismo tiempo aumentar la flotabilidad del buque.

La amplitud del giro tiene como valor la diferencia entre el ángulo de inclinación de la grada y el del asiento del buque a flote.



Giro.



Saludo.

Saludo

Iniciado el giro, el buque continúa descendiendo. Llegará un punto en que todo el buque despegará de la grada flotando libremente.

Este movimiento será suave si la altura de agua sobre el extremo de popa de las imadas en el momento del abandono de estas es igual que el calado de proa del buque (coincidirán los valores de peso y empuje). Si hay diferencia de alturas, inicia una cabezada por encontrarse la cuna sin el apoyo de la imada, movimiento que recibe el nombre de saludo (su valor es aproximadamente igual al producto de «1,5» por la diferencia entre el «calado de proa» y la «altura de agua en proa en el momento del abandono de la basada»).

