Anteproyecto de un Buque Antártico con Capacidad de Rompehielos

Por

Claudio DAURE Uribe
Profesor de Arquitectura Naval,
Universidad Técnica del Estado, Valdivia
Hernán CERDA Vogel, Alumno.

EL PRESENTE anteproyecto ha sido motivado en el transcurso de la Tesis de Titulación denominada "Diseño de Buques Rompehielos y de uso Antártico" que el alumno Hernán Cerda V., con la tutela de este profesor, se encuentra preparando para obtener el grado de Ingeniero de Ejecución en Construcción Naval.

1. Requerimientos y Características Principales.

Se plantea la necesidad del proyecto de un buque destinado al transporte de carga y personal hacia la Antártica Chilena. Se requiere que el buque sea de tamaño reducido, buscando la menor inversión de capital, que siendo apto para afrontar el ambiente hostil característico, ofrezca buenas cualidades de navegación en las zonas que debe operar y, además, posea capacidad para el rompimiento de hielos utilizando la potencia propulsora disponible para la navegación normal.

La capacidad mínima de carga neta a transportar se ha estimado en 400 toneladas y dispondrá de la capacidad para acomodar, además de su tripulación normal, a un mínimo de 20 personas en tránsito. Considerando como puerto base a Punta Arenas, el radio de acción mínimo sería de 3.000 millas. La velocidad de servicio, en navegación libre, será mayor que 13 nudos.

De los requerimientos planteados se desprende que el buque deberá satisfacer propósitos múltiples, es decir, poseer las características básicas de un rompehielos, en combinación con buenas cualidades de navegación en el mar (travesía del Mar de Drake), y fundamentalmente cumplir su función de abastecimiento y servicio antártico.

Habiéndose propuesto inicialmente un límite en cuanto a su tamaño, por razones de factibilidad y costos, se ha concluido en presentar el siguiente anteproyecto, que si bien es cierto en su tamaño es pequeño, reúne la combinación de las necesidades mínimas planteadas. Las ca-

racterísticas principales obtenidas son las siguientes:

Dimensiones:

Eslora total	66,00 mts.
Eslora entre perpendic.	59,00 mts.
Manga máxima	10,20 mts.
Manga en flotación	10,00 mts.
Calado máxima carga	4,00 mts.
Puntal	6,00 mts.

Capacidades:

Desplazamiento máximo	1.533 Ton.
Deadweight total	774 Ton.
Deadweight carga (en bodegas)	416 Ton.
Volumen (balas) bodegas	938 m3
Tanques de combustibles	220 m3
Tanques de agua dulce	110 m3
Tanque para lubricantes	20 m3
Tanques de escora	80 m3
Tanques de lastre	110 m3
Provisiones y cámaras frigoríficas	75 m3

Propulsión:

Motor Diesel de 4 tiempos de 3.500 BHP

Hélice convencional (reforzada) de 2,40 m. diámetro.

Velocidad de servicio (navegación libre)	13,5 nudos
Autonomía mínima	3.000 millas

La distribución general del buque se aprecia en la vista longitudinal y de las cubiertas que se muestra en la Fig. 1. En la conformación de las superestructuras e instalaciones se ha buscado también la menor incidencia de la acción del viento y acumulación de nieve que puede afectar sensiblemente al buque.

Los espacios para la carga, sólida y líquida, se han dispuesto en el cuerpo central y hacia proa. La zona de la bodega Nº 1 comprende también tanques laterales para el combustible (además del doble fondo) y los tanques de escora que se utilizan para la acción de separación del hielo. La bodega Nº 2 es de mayor capacidad y si su altura, que excede de 5 metros, pudiera ser inconveniente para la carga a transportar es posible subdividirla verticalmente con un entrepuente. El coeficiente de estiba para la carga embalada en bodegas alcanza un valor alto (2,25), lo que permite obtener el tonelaje dado con carga voluminosa. El movimiento de la carga puede satisfacerse con las plumas de 5 toneladas y una de 10 tons. para carga pesada.

Las acomodaciones, que junto con la sala de máquinas quedan ubicadas hacia popa, están dadas para una dotación de 61 personas y se encuentran distribuidas en dos cubiertas. En la cubierta principal se tiene, de proa a popa: camarotes de los tripulantes y personal subalterno (40), servicios higiénicos, lavandería, comedor, cocina, despensa y cámara de conservación de alimentos. La superficie individual de camarote para tripulantes alcanza a 2,35 m2, superior al standard, que se justifica para proveer mejor confort en un buque de este tipo. En la cubierta que corresponde al helipuerto, se han distribuido los camarotes para el capitán y oficiales (20), salón y comedor de oficiales, enfermería, etc. En el extremo de popa se ha dispuesto el espacio para operar un helicóptero, elemento que presta valioso servicio en la exploración y enlace. Sobre este mismo espacio puede habilitarse un hangar removible para su protección y mantención. La cubierta de botes comprende también el puente de mando, con acomodación para el radiotelegrafista y la instalación de los equipos de emergencia.

En cuanto a la maquinaria propulsora, en los buques rompehielos propiamente tales, el sistema propulsivo debe satisfacer requerimientos especiales provenientes de las condiciones de operación en los hielos. Entre otros requisitos, la planta propulsora debe poseer un amplio rango de revoluciones capaz de entregar la potencia que satisfaga la demanda para navegación libre y para el rompimiento de

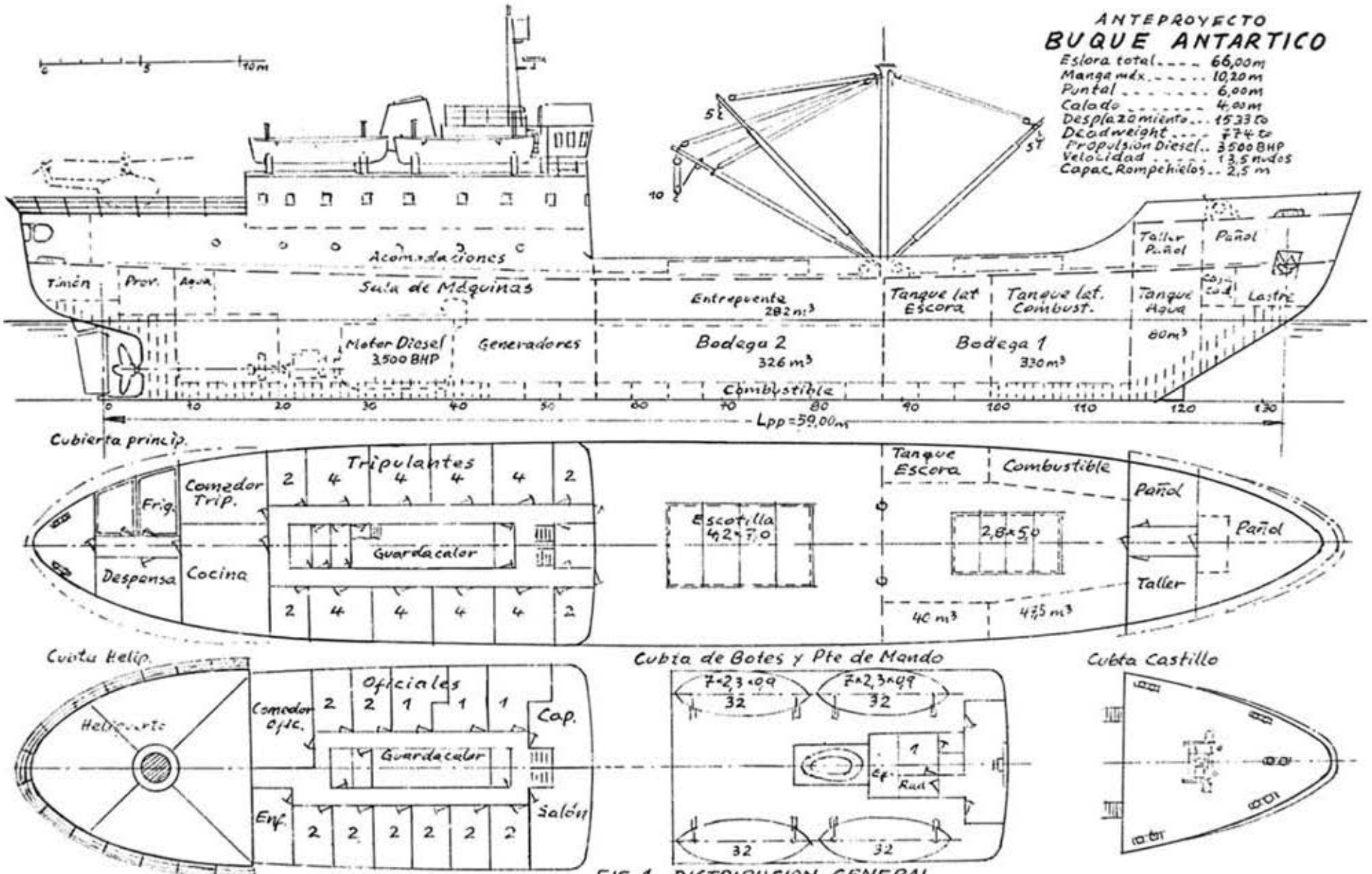


FIG. 1. DISTRIBUCION GENERAL.

hielos (razón por la cual usualmente se ha preferido el sistema diesel-eléctrico). En nuestro caso, tomando como factor decisivo la economía de costo, se propone la instalación de una planta propulsora normal, con motor diesel semirrápido de aproximadamente 400 a 500 RPM, tipo cuatro tiempos, pudiendo ser de 6 u 8 cilindros en línea, debiendo cubrir el rango de 3.500 BHP de potencia continua para obtener una velocidad de servicio de 13,5 nudos, según se desprende del cálculo de resistencia y velocidad, cuyo resultado se expresa en la Fig. 3. Para las condiciones de servicio en navegación se ha considerado un aumento de 25% de potencia.

Entonces el motor principal se acoplará al eje portahélice mediante una caja reductora para obtener 250 RPM en la hélice. Si el motor no es directamente reversible también incluirá el inversor de marcha. La hélice (de acero inoxidable) ejes y engranajes deberán ser adecuadamente reforzados debido al impacto que sufren las palas de la hélice al golpear los hielos. Por la sencillez y economía se ha considerado la hélice convencional de palas fijas, pero mejor eficiencia propulsiva se obtiene con una hélice de paso controlable que especialmente entregaría mayor empuje deseable para el rompimiento de hielos. Para el caso propuesto, se presenta la conveniencia de dotar al eje propulsor intermediario de un volante de gran tamaño a fin de proteger los engranajes reductores y dar mayor inercia cuando el buque opera en la zona de hielos.

También pueden considerarse otras alternativas para el sistema propulsivo, pero sí de mayor costo, como por ejemplo la instalación de dos unidades propulsoras con sus respectivas hélices, sistema especialmente ventajoso desde el punto de vista de la seguridad en el mar y de una mejor maniobrabilidad.

2. Forma del Casco, Capacidad de Rompehielos

En la Fig. 2 se muestra la forma del casco. El cuerpo de proa posee las cualidades típicas de un rompehielos moderno. La inclinación en el pie de roda es de 32°; las secciones transversales son de forma en V modificadas que también favorecen una mejor respuesta a la acción del mar de proa en la navegación (slamming). Es indudable, además, la conveniencia de complementar el casco con un castillo que contribuye a una mayor reserva de flotabilidad y a una mejor protección de la cubierta. En este aspecto la altura de proa sobre la flotación representa una medida indicativa, que en este caso resulta superior a las recomendaciones dadas para un buen comportamiento en el mar (Referencias 1 y 2). Los coeficientes de forma y otras características importantes del casco se pueden observar en la misma Fig. 2.

En la forma del casco y en el proyecto en general, se deberá conceder especial atención a las cualidades marineras que debe ofrecer el buque, en particular sobre su estabilidad y comportamiento en el mar, teniendo presente que la travesía del Mar de Drake se caracteriza por condiciones frecuentes de mal tiempo.

Un aspecto fundamental es el referente a la estabilidad transversal y rolido (*). Las características básicas están dadas por la curva de estabilidad estática y dinámica representadas para el buque en estudio en la Fig. 4. Adoptando para su evaluación el criterio recomendado por IMCO (Referencia 3) se concluye que la estabilidad transversal con carga máxima sería plenamente satisfactoria. El período de rolido obtenido de $Tr = 0{,}763\ B/\sqrt{0{,}69}$ sería de 9,2 seg. Como es deseable mejorar las condiciones del balance transversal, se ha estimado conveniente incluir las quillas de rolido en el diseño del casco que contribuyen a amortiguar los movimientos y aumentar el período. Para la situación con olas, si las condiciones del mar corresponden a escala Beaufort 7 u 8 (mar gruesa), o sea velocidad del viento de 30 a 40 nudos y altura de ola de 4 a 5 metros, el período de olas correspondientes es inferior a 9 seg. que en este caso significaría quedar fuera de la probabilidad de sincronismo.

(*) El término rolido empleado por el autor o autores corresponde a balance. Antiguamente al movimiento de balanceo o balance del buque se la llamaba roleada. Para mantener la originalidad del trabajo, se ha preferido respetar el término que usan los autores. Nota de la Dirección.

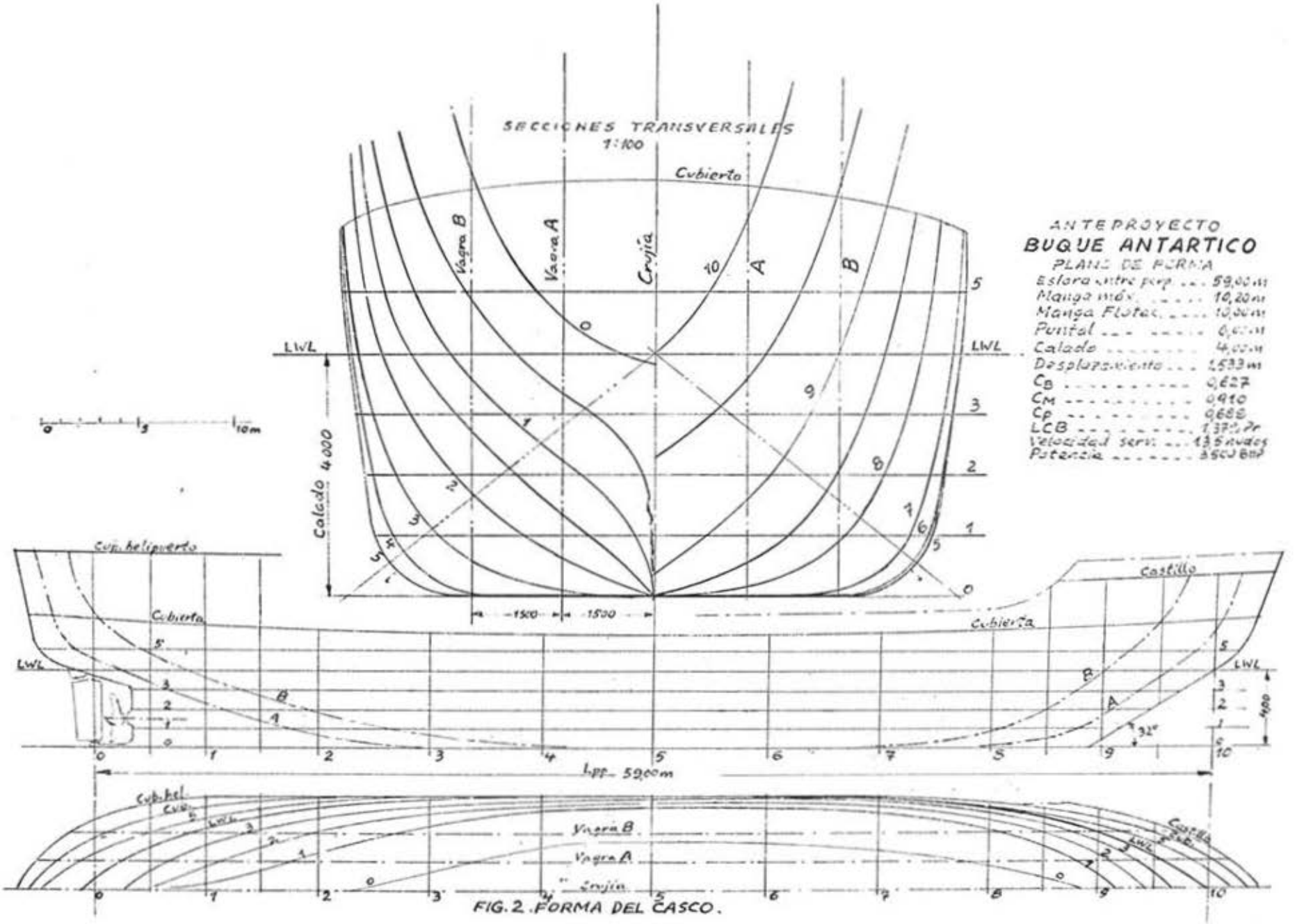


FIG. 2. FORMA DEL CASCO.

ANTEPROYECTO
BUQUE ANTARTICO

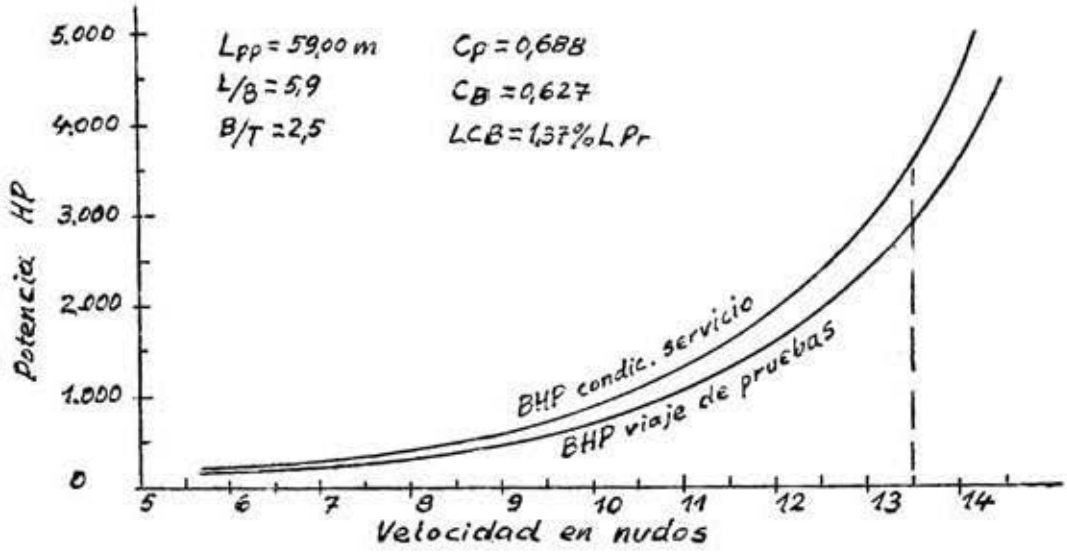


FIG. 3. POTENCIA Y VELOCIDAD.

Importante consideración merece también el movimiento de cabeceo, el que está asociado a las aceleraciones verticales, embarque de agua en cubierta e impactos del mar en el casco. El período de cabeceo, en olas regulares, resulta aproximadamente en 4,76 seg., de acuerdo a Ref. 1, y el período de encuentro en 5,4 seg. lo que daría un valor para el factor de sincronización de 0,88, inferior al valor crítico que es 1,0.

Para determinar la capacidad del buque en el rompimiento de hielos, para la situación de avance, se ha calculado utilizando la siguiente ecuación de resistencia dada por Edwards y Lewis, Ref. 4,

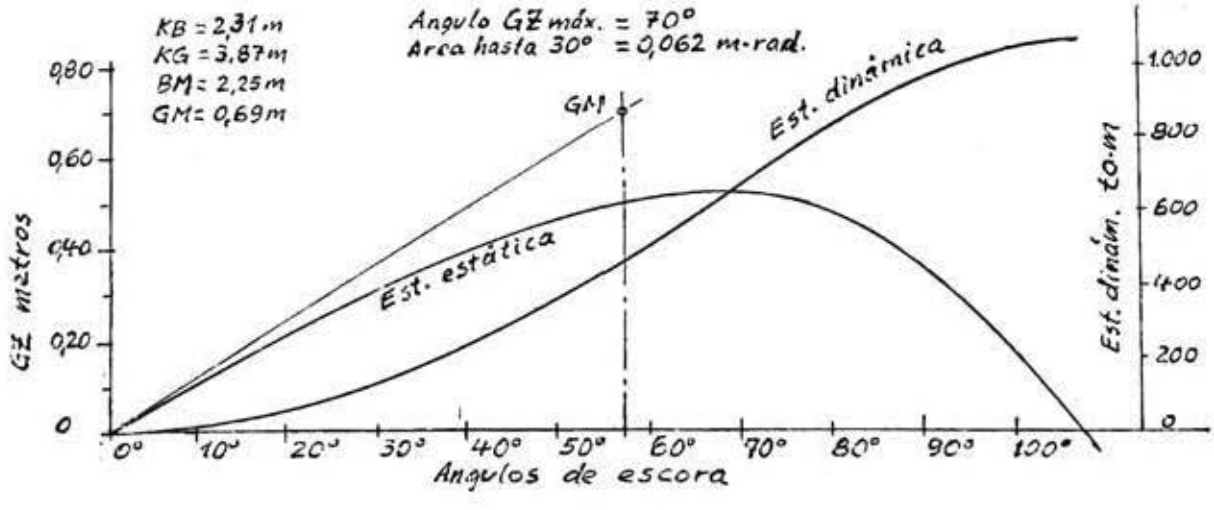


FIG. 4. ESTABILIDAD TRANSVERSAL.

obtenida por análisis de los resultados de pruebas experimentales:

$$R = 5{,}259\ \varsigma g B h^2 + 1{,}676\ \varsigma B h v^2 + 4{,}35\ \varsigma v B h^{3/2} . g^{1/2}$$

siendo:

R = resistencia del hielo
ς = densidad del agua
g = aceleración de gravedad
B = manga del buque
h = grosor del hielo
v = velocidad del buque.

El primer componente de esta ecuación es de carácter volumétrico, el segundo de carácter dinámico y el tercero combina los efectos dinámicos y volumétricos.

En la Fig. 5 se muestran los resultados obtenidos, indicándose los grosores de capa de hielo que puede romper el buque con movimiento de avance continuo. Este cálculo se ha efectuado considerando la propulsión dada solamente por una hélice convencional de 2,4 metros de diámetro absorbiendo menor potencia que la máxima continua instalada.

Para el caso del rompimiento de hielos por embestida se ha aplicado la ecuación de White, Referencia 5, que es una expresión simplificada en base a la relación entre la fuerza vertical ejercida sobre el hielo y los parámetros del buque que intervienen. Esta expresión para la predicción de grosor máximo de hielo que puede romper por embestida es la siguiente:

$$h = \left(\frac{6{,}51 . Vi . (WR)^{0{,}845} . \Delta^{0{,}845}}{\delta} \right)^{1/2}$$

siendo:

Vi = velocidad de impacto
WR = relación de White
Δ = desplazamiento del buque
δ = resistencia deflexión del hielo.

Observando los resultados obtenidos, Fig. 5, se concluye que la capacidad máxima de rompehielos con velocidad de arremetida de siete nudos sería mayor que 2,50 metros de grosor, mientras que la velocidad con avance continuo en capa de grosor de 20 centímetros sería mayor de 10 nudos, y si el grosor de hielo uniforme aumenta a 40 cms., la velocidad constante puede ser 7 nudos.

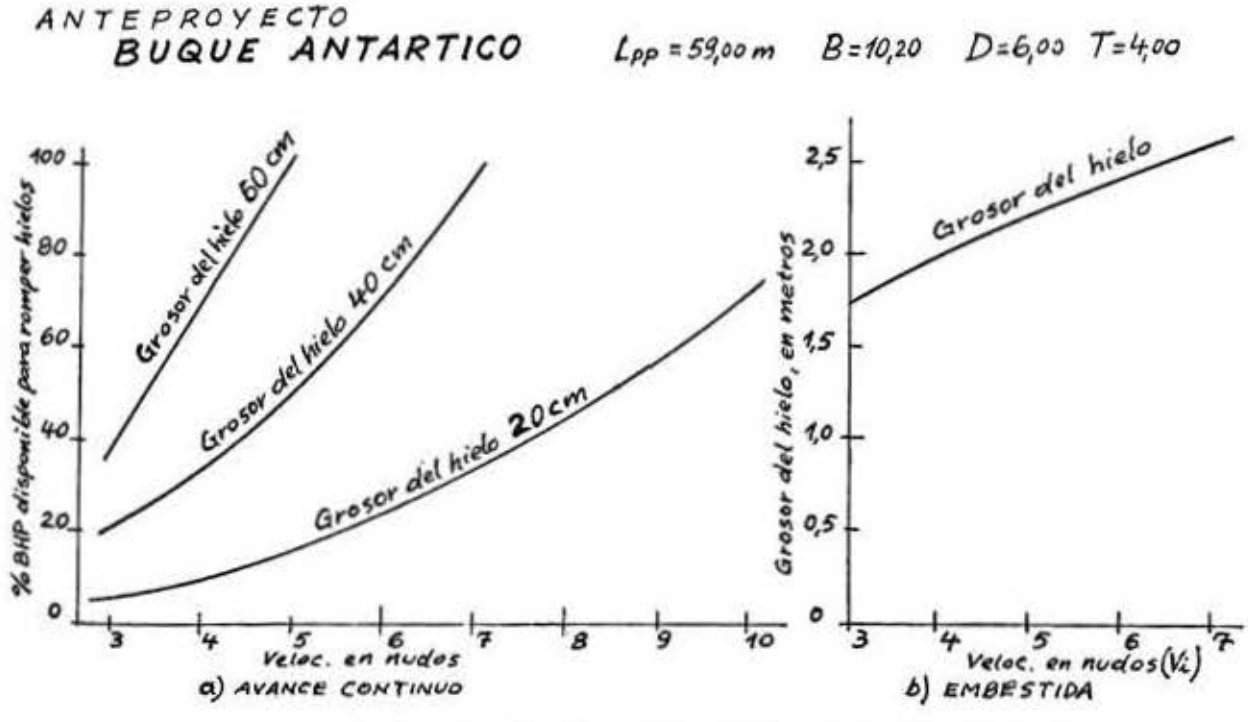


FIG. 5 . CAPACIDAD PARA EL ROMPIMIENTO DE HIELOS.

Se prevé para una etapa siguiente, en el caso de un proyecto definitivo, la realización de un programa de pruebas experimentales en el Canal de Pruebas para modelos de buques que posee el Departamento de Construcción Naval. Estas experiencias permiten optimizar la eficiencia hidrodinámica del casco, ya sea en navegación libre como pudiera ser también para su capacidad de operación como rompehielos, a través de algunas pruebas en capas de hielo simulado.

3. Estructura y Construcción

Para el diseño estructural se ha tomado como guía el Reglamento para Construcción y Clasificación de Buques del American Bureau of Shipping (1975) cuya sección dedicada a los buques destinados a navegar en hielos presenta normas más completas y detalladas, incluyendo los requerimientos de las normas finlandesas y suecas.

Debido a la variedad de condiciones que puede presentar la navegación en hielos y al tipo de reforzamiento adoptado, establece las cuatro clases siguientes:

Clase IAA para navegación en condiciones extremas de hielo.

Clase IA para navegación en condiciones severas de hielo.

Clase IB para navegación en condiciones intermedias de hielo.

Clase IC para navegación en condiciones leves de hielo.

Para el caso del presente anteproyecto se ha considerado apropiada la clase IA dada para condiciones severas de hielo; la clase IAA corresponde más bien a las exigencias de un rompehielos polar, particularmente en lo referente a la potencia en el eje al establecer un mínimo de 3.500 SHP; en cambio para la clase IA y restantes el mínimo es 1.000 SHP.

El criterio para el reforzamiento del casco está basado en la presión producida entre el casco y el hielo. En consideración a las diferencias de presión que ejerce el hielo en el casco, zona llamada franja o cinturón de hielo, se distinguen tres regiones, proa, central y popa, que determinan los valores de las presiones, que se consideran en el cálculo de los escantillones de las cuadernas, planchaje, cubierta y palmejares.

En la Fig. 6 se puede observar la conformación propuesta para la estructura en

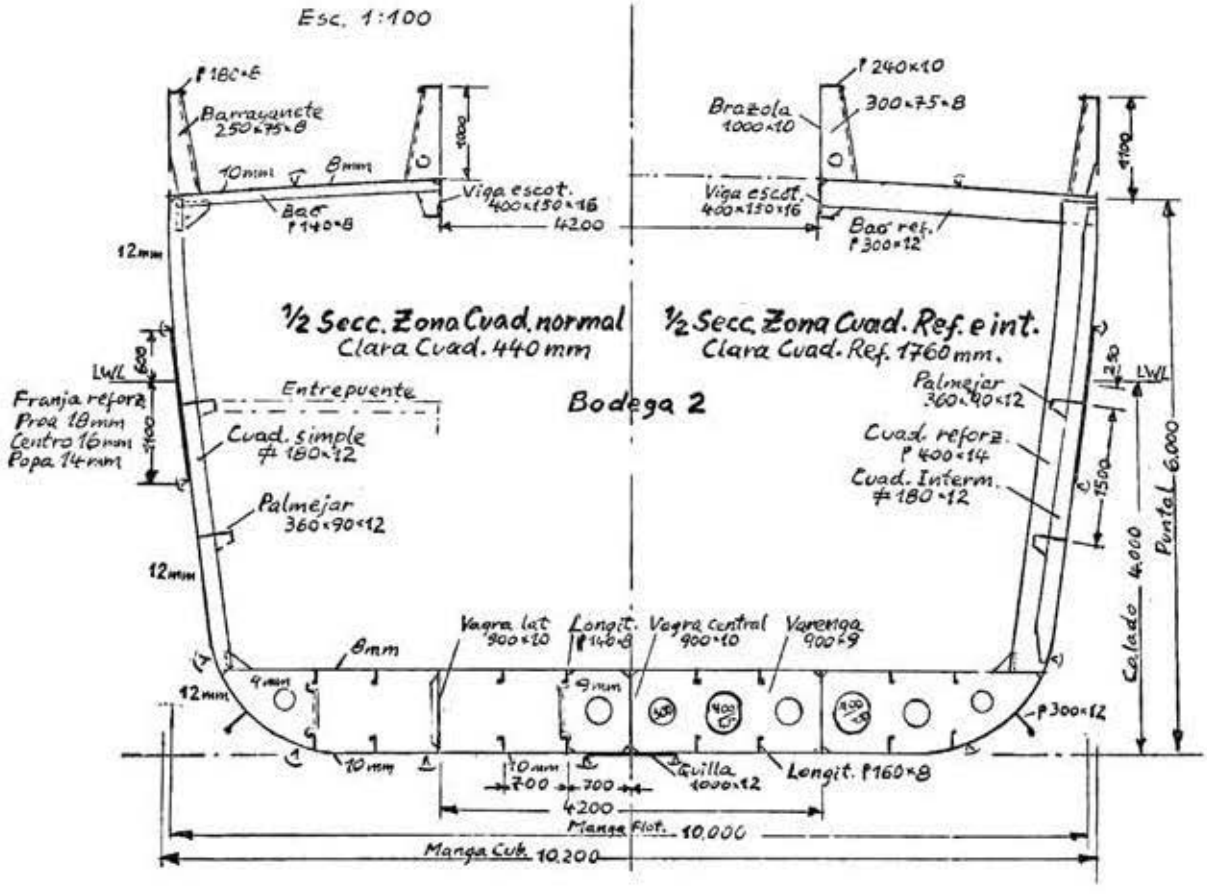


FIG. 6 ESTRUCTURA TRANSVERSAL

la zona central. En los costados del casco se ha dispuesto una estructura de tipo transversal con cuadernas normales separadas a 440 mms. como se muestra en la banda de babor; a estribor se presenta la cuaderna reforzada, cada cuatro claras, y la cuaderna intermedia de igual módulo resistente que la normal. El grosor del planchaje en la franja de hielo, que tiene una extensión vertical de 1.700 milímetros, es de 16 mms. en la zona central y aumenta a 18 mms. en la zona de proa.

El doblefondo es de construcción longitudinal con varengas de chapa en cada cuaderna reforzada (sección de estribor en la Fig. 6) con longitudinales en el fondo y cielo del doblefondo. Refuerzos de chapa de 9 mms. en la clara normal de 440 mms. se instalarán en el centro y en el pantoque (sección de babor). Las vagras laterales indicadas serán estancas para dar conformación a los tanques de combustible y de lastre del doblefondo. En las zonas de proa y popa la estructura se convierte a tipo transversal.

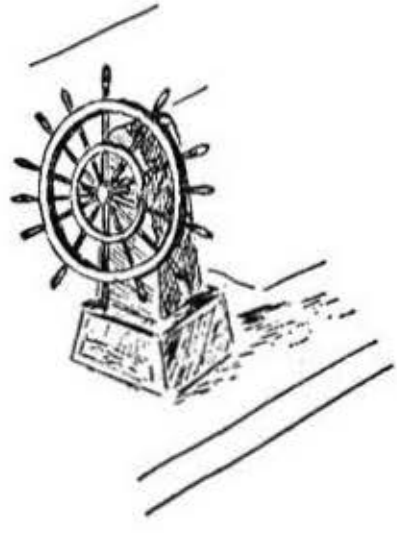
Finalmente, referente al costo del buque, y solamente en el carácter de estimación global, se puede predecir que la cifra tentativa sería del orden de siete millones de dólares. Como es factible su construcción en Chile, se estima que el aporte nacional podría sobrepasar el 30 por ciento del costo global.

4. Referencias:

1.—J. Comstock, ed., E. Lewis, "Principles of Naval Architecture", publicado por SNAME, 1967.

2.—Th. Loukakis, Ch. Chryssostomidis, "Seakeeping Standard Series for Cruiser-Stern Ships", Trans. SNAME, vol. 83; 1975.

3.—C. Dauré, "Evaluación de la Estabilidad Transversal", Revista de Marina, Armada de Chile, Nº 709, vol. 92; 1975.

4.—R. Edwards, J. Lewis, J. Wheaton and J. Coburn, "Full-Scale and Model Test of a Great Lakes Icebreaker", Trans. SNAME, vol. 80; 1972.

5.—R. White, "Prediction of Icebreaker Capability", Trans. RINA, vol. 112; 1970.