

causa de todos los problemas medioambientales del Ártico, debe resaltarse que hay otros tipos de contaminación más persistentes en la atmósfera y que por lo tanto pueden trasladarse hasta el Ártico desde cualquier lugar del globo. Dos tipos importantes son la contaminación por gases de efecto invernadero y los contaminantes tóxicos (herbicidas, pesticidas y compuestos orgánicos industriales tales como los PCB) que, una vez en la atmósfera perduran durante muchos años. Es ahora cuando empezamos a estudiar los efectos de esta contaminación.

### Referencias

- B. STONEHOUSE (Ed.). 1986: *Arctic Air Pollution*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 328 pp.
- BARRIE, L.A., 1986: Arctic air pollution: an overview of current knowledge. *Atmospheric Environment*, **20**, 643-663.
- BARRIE, L.A., D. FISHER and R.M. KOERNER, 1985: Twentieth century trends in Arctic air pollution revealed by conductivity and acidity
- observations in snow and ice in the Canadian high Arctic. *Atmospheric Environment*, **19**, 2055-2063.
- BARRIE, L.A., M.P. OLSON and K.K. OIKAWA, 1989: The flux of anthropogenic sulphur into the Arctic from mid-latitudes in 1979/80. *Atmospheric Environment*, **23**, 2505-2512.
- BARRIE, L.A., D. GREGOR, B. HARGRAVE, R. LAKE, D. MUIR, R. SHEARER, B. TRACEY and T. BIDLEMAN, 1992: Arctic contaminants: sources occurrence and pathways. *Science of the Total Environment* (in press).
- BOUSTRON, C.F. and U. GÖRLACH, 1990: The occurrence of heavy metals in Antarctic and Greenland ancient ice and recent snow. In: *Speciation of Metals in the Environment*. S. GUECER (Ed.), NATO-ASI Series, Springer-Verlag.
- HOPPER, F., H. ROSS, W.T. STURGES and L.A. BARRIE, 1990: Regional source discrimination of atmospheric aerosols in Europe using the isotopic composition of lead. *Tellus*, **42** (B), 45-60.
- STURGES, W.T. and L.A. BARRIE, 1989: Stable lead isotope ratios in Arctic aerosols: evidence for the origin of Arctic air pollution. *Atmospheric Environment*, **23**, 2513-2519.

## ALGUNOS PROGRESOS RECENTES EN LA NAVEGACION ARTICA

Por J. M. WALKER \*

### Viajes por altas latitudes

El 1 de noviembre de 1990 apareció en el diario *The Times* un anuncio destacable. Encargado por Viajes Julio Verne, ofrecía "la oportunidad de incorporarse al orgullo de la flota soviética ártica, el Sovetskiy Soyuz, para el primer intento de una travesía completa transpolar atravesando el Polo Norte desde Murmansk en la URSS hasta Nome en Alaska, seguido por la primera expedición de pasajeros a través del legendario Paso Nordeste desde Nome regresando a

Murmansk". El hecho de que las autoridades soviéticas autorizasen estos viajes era ya destacable por sí mismo pero también, como citaba el anuncio, sólo tres barcos habían alcanzado hasta la fecha el Polo Norte, todos ellos gemelos del Sovetskiy Soyuz. El primero en llevar turistas fue el Rossiya, que hizo el viaje en el verano del 1990. Con 40 pasajeros a bordo, que habían pagado cada uno la suma de 38 000 marcos alemanes, siguió aproximadamente la misma ruta que el Arktika en 1977, que fue el primer barco que alcanzó el Polo Norte. El Rossiya que se hizo a la mar

\* Lector principal del Departamento de Estudios Marítimos y Transporte Internacional, Universidad de Gales, College de Cardiff, Reino Unido.

en Murmansk el 31 de julio, rodeó la punta norte de Novaya Zemlya, cruzó el mar de Kara, volvió hacia el norte en el mar de Laptev, alcanzó el Polo el 8 de agosto, pasó al oeste de Zemlya Frantsa-Josifa y regresó a Murmansk el 17 de agosto. El *Polarschifffahrts Consulting* de Alemania organizó el viaje con la *Murmanskoye Morskoye Parokhodstvo* (Armstrong, 1991).

También fue notable el viaje del *Sibir'* al Polo Norte en mayo y junio de 1987, puesto que fue el primero de un navío de superficie hacia altas latitudes en primavera. Los principales fines de la expedición, en palabras de Frolov (1991), fueron:

"realizar estudios multidisciplinarios de una zona apenas investigada de la cuenca ártica, incluida la zona del Polo Norte, y satisfacer un objetivo práctico —evacuar la estación flotante Polo Norte-27 y montar la estación flotante Polo Norte-29".

La expedición se enfocó hacia la oceanografía, la meteorología, los hielos marinos, la geofísica, la geología marina y la geodesia. Según Frolov, el viaje demostró que, en cualquier época del año, eran posibles en altas latitudes las expediciones de investigación utilizando rompehielos nucleares.

La búsqueda de una ruta directa hacia el Oriente motivó hace cuatro siglos a los exploradores árticos. Hoy en día, además de la investigación científica, tal como la descrita por Frolov, hay multitud de actividades árticas entre las que se encuentran la navegación, incluida la de defensa militar, la atención de los servicios gubernamentales, la manifestación de la soberanía nacional y el desarrollo de las reservas minerales. Aunque al referirse a los problemas de la navegación marítima en el Ártico se piensa en el uso de la ciencia y tecnología modernas, sin embargo, el principal factor ha sido el interés comercial por la explotación de recursos. Como han señalado Beanlands (1990) y Brigham (1991), el deseo de desarrollar y explotar recursos ha centrado la atención en la necesidad de una navegación segura, fiable, y durante todo el año en las latitudes altas.

## El hielo que debe superarse

El *Arktika* (que se puso en servicio en 1975), el *Sibir'* (1977) y sus barcos gemelos son actualmente los rompehielos más grandes y

poderosos del mundo. Su tonelaje desplazado es de 23 460, su longitud total de 136 metros, su calado de 11 metros y su manga de 28 metros en la línea de flotación; sus centrales eléctricas generan 55 200 kilowatios (75 000 cv) en los reactores de agua a presión. Según el anuncio de *The Times*, el *Sovetskiy Soyuz* puede navegar a 10 nudos atravesando 5 pies (1,5 metros) de hielo compacto. Según Brigham (1985), los barcos de la clase *Arktika* pueden mantener 3 nudos atravesando hielo nivelado de ocho pies (2,5 metros) de espesor. El hielo en el Océano Ártico habitualmente no está nivelado y no es de espesor uniforme. Se rompe en masas de hielo flotantes (trozos relativamente planos) de 20 o más metros de diámetro, que se mueven por el viento y las corrientes y chocan entre sí formando crestas y colinas de hielo apilado aleatoriamente, trozo sobre trozo. A medida que las dorsales y los montones envejecen, las continuas fusiones y congelamientos funden las diferentes masas en voluminosos bloques que pueden alcanzar 6 ó 7 metros por encima y 20 ó 30 por debajo de la superficie del agua. Cuando las masas se separan, se abren canales de agua conocidos como guías, especialmente en verano.

Se puede encontrar una idea del estado del hielo en las regiones polares en las descripciones gráficas del explorador Fridtjof Nansen (1897) contenidas en *Farthest North* su clásico relato de la expedición al Polo Norte de 1893 a 1896. En abril de 1895, por ejemplo, mientras intentaba alcanzar el Polo Norte a pie, habiendo dejado la comparativamente calidez y seguridad de su barco, el *Fram*, escribía así sobre el hielo a 86°N 90°E:

"continuaré un día más para ver si el hielo es realmente tan malo más hacia el norte como parece ser desde la cresta, de 30 pies (9 metros) de altura, donde estamos acampados. ...Callejones, crestas, y un interminable hielo escabroso, parece una interminable morrena de bloques de hielo. ...Cresta tras cresta, y nada sino cascotes para recorrer. ...Desde las colinas más altas sólo se veía el mismo tipo de hielo. Era un verdadero caos de bloques de hielo, extendiéndose tan lejos como el horizonte."

¡Qué habría dado Nansen por los helicópteros de reconocimiento que se usan hoy de forma rutinaria en los rompehielos!

## Solidez del casco

El *Fram* no estaba pensado para romper el hielo sino para apartarlo. Había dos criterios de diseño esenciales (Nansen, 1897): la forma del casco tenía que ser tal que la embarcación se elevase por las masas de hielo convergentes, en lugar de quedarse pinzado entre ellas; y la embarcación debía construirse tan sólidamente que la presión del hielo no la dañase. Al barco se le dio por tanto una forma de casco redondeada y el exterior del casco se cubrió con una laminada madera extremadamente densa de América tropical. La proa y la popa, que se construyeron de planchas de roble, tenían cada una cuatro pies (1,2 metros) de espesor. Aún así, los críticos de Nansen ponían en duda que cualquier barco pudiera resistir por mucho tiempo a su destrucción cuando era atrapado por la tenaza que ejercía el hielo. Creían que el *Fram*, como muchos otros barcos antes que él, sería destruido por la acción del rozamiento con el hielo al moverse. Lo que sucedió fue que el *Fram* regresó sin sufrir daño, tras casi tres años de estar atrapado en los hielos del Océano Ártico, con todos a bordo sanos y salvos. Nansen y su compañero, que no se habían embarcado, llegaron a Noruega una semana antes que sus camaradas del barco (véase Walker, 1991).

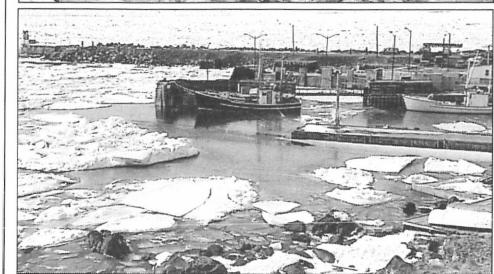
La resistencia del casco en los barcos que han de operar en aguas cubiertas de hielo es tan importante ahora como en los días de Nansen. El hielo es casi tan duro como el hormigón, pesando un metro cúbico casi una tonelada. Los daños en el casco pueden ocurrir con mucha facilidad. Los diseñadores de barcos deben por lo tanto considerar las cargas globales y puntuales del hielo sobre el casco con una referencia particular a la integridad estructural de bastidores y planchas (véase Transport, Canadá, 1989). Es necesario, por ejemplo considerar la tensión de cizalladura, la tensión de flexión y la resistencia a combarse de los bastidores, el comportamiento elastoplástico del acero dúctil utilizado en los cascos de los barcos y la resistencia de este acero a fracturas por quiebra a temperaturas que pueden encontrarse en el Ártico (tan bajas como -50°C sobre el agua y -5°C por debajo).

## Forma del casco y de la proa

Con respecto al diseño del casco, debe también tenerse en cuenta el tipo de barco.

Además de los exclusivamente rompehielos, hay actualmente barcos de investigación y transporte especialmente diseñados para el hielo. Los criterios de diseño para los distintos tipos de barco difieren notablemente. Por ejemplo, la forma del casco redondeada de un rompehielos le permite al barco girar sobre su eje longitudinal (trasladando lastre de un lado a otro) y liberarse de esta forma cuando está atrapado en el hielo. Sin embargo, esta forma no es adecuada para embarcaciones pensadas principalmente para travesías oceánicas, especialmente porque las personas a bordo probablemente sufrirían mucho con los mareos debidos al movimiento. Un rompehielos debe ser relativamente corto (para maximizar la maniobrabilidad) pero su manga no debe ser tan grande que el hielo tienda a ser forzado bajo el barco y hacia las hélices. Típicamente, también tiene un ensanchamiento en la mitad (para reducir la resistencia cuando la parte media del barco pasa a través del canal roto por la proa). En contraste, el centro de un barco mercante rompehielos tiende a tener una forma más convencional. En un rompehielos, la línea de flotación de popa debe ser tan ancha como sea posible, para proteger las hélices y para evitar que el hielo se cierre detrás del barco.

Como ya fue observado por Dick y Laframboise (1989), los rompehielos deben ser en cuanto a energía tan económicos como cualquier otro tipo de barco. La eficiencia del combustible es una consideración importante. Por lo tanto, se ha prestado recientemente una gran atención a la forma del casco y de la proa. Tradicionalmente, se había penetrado en el hielo de gran espesor en parte cargando sobre él y en parte deslizando el barco por encima hasta que el peso de la proa imponía una carga de ruptura sobre el hielo. Se ha cuestionado lo razonable de romper el hielo de esta forma, principalmente por Kallipke (1973), quién reavivó la hipótesis de que el hielo podía penetrarse con relativa facilidad rompiéndolo desde abajo con una proa en forma de arado y redondeada como un bulbo adaptada a un barco convencional. Como señaló, la dureza del hielo decrece hacia abajo debido al drenaje salino dentro del hielo. Sin embargo, este método no ha tenido éxito y todavía se prefiere la forma tradicional: el hielo se rompe más fácilmente por flexión que por compresión. Un barco con proa en forma de arado es más probable que se quede atrapado que uno con



Estas fotografías, aunque han sido tomadas al sur del Círculo Artico en febrero/marzo de 1991, dan una idea de los problemas que los hielos marinos presentan a la navegación.

*Arriba a la izquierda:* El río S. Lorenzo entre Trois-Rivières y Quebec City. *Abajo a la izquierda:* Ensenada de Portugal, Terranova. *Abajo a la derecha:* Paso de un navío contenedor sobre el Lac St. Pierre, cerca de Trois-Rivières (tomada desde el carguero, *Federal Maas*)  
*Fotografías:* J. M. Walker



una proa convencional. De esta forma se ve forzado a moverse más frecuentemente hacia popa, lo que aumenta el riesgo de daños en la hélice y en el timón.

La búsqueda durante los últimos decenios de una proa rompehielos más eficiente ha dado lugar a algunas reducciones de los ángulos subtendidos por la proa y por los laterales de ésta en la línea de flotación, así como otros cambios en la forma de la proa. Por ejemplo, la tendencia ha sido en el sentido de reducir el ángulo de la proa de unos  $30^\circ$  en los barcos construidos hace tres o cuatro decenios hasta unos  $20^\circ$  en los barcos construidos en los decenios de los 70 y de los 80. Sin embargo, como mencionaron Dick y Laframboise, la elección de la forma de la proa se determina en gran medida por el perfil de la embarcación. Por ejemplo, en el rompehielos canadiense *Pierre Radisson*, construido en 1978, el ángulo de la proa es de sólo  $18^\circ$ , mientras que en el barco canadiense de abastecimiento en régimen de hielos *Artic Shik*, construido en 1984, es de  $32^\circ$ . En los barcos de la clase *Arktika*, el ángulo de proa es de  $24^\circ$ .

La búsqueda de proas rompehielos más eficientes ha dado lugar también a algunas formas de proas que Dick y Laframboise han denominado "no convencionales" o "no tradicionales" por el hecho de que representan

una desviación del casco liso que ofrece una menor resistencia en el agua libre. Por ejemplo, las proas en forma de cuchara se adaptaron en los barcos canadienses de abastecimiento en régimen de hielos *Canmar Kigoriak* (construido en 1979) y *Robert LeMeur* (construido en 1982). En realidad el diseño no era nuevo. Se había utilizado anteriormente pero se dejó de usar debido a la alta resistencia que ofrecía el hielo cubierto de nieve. Este problema se ha resuelto mediante la utilización del sistema de burbujas de aire del que fue pionera la empresa finlandesa *Wärtsilä* (Juurmaa, 1978). La función de este sistema es crear un flujo de burbujas de aire y agua alrededor del casco para proporcionar lubricación y de esta forma aumentar las prestaciones del barco en el hielo. El sistema, que sirve como impulsor, también aumenta la maniobrabilidad. La ventaja de la proa en forma de cuchara consiste en que mejora el funcionamiento del rompehielos. Su inconveniente es que se perjudica la resistencia en agua libre.

Ha tenido lugar un avance muy significativo en el diseño de los rompehielos con la forma de casco *Thyssen/Wass*, desarrollada en Alemania en los años 80 por *Thyssen Nordseewerke* en colaboración con *Hamburgische Schiffbau-Versuchs-Anstalt*. Es una característica de este diseño el que el

barco sea más ancho cerca de la parte frontal, donde el hielo se rompe principalmente por cizalladura a ambos lados de la zona delantera de fondo plano. El voladizo de hielo que se va formando así crece hasta romperse por la inclinación cuando atraviesa la parte frontal de la proa. En la parte inferior de la parte delantera, el fondo plano pasa a adquirir una forma en V, mediante la cual el hielo se desliza hacia arriba y hacia los lados bajo la capa de hielo lateral para dejar el canal en la parte trasera del barco más o menos libre de hielo.

Milano (1987) y Vargas (1990) no exageraban cuando afirmaban que la forma Thyssen/Waas era superior al casco convencional para barcos rompehielos. Es claramente superior tanto en hielo como en vías marinas abiertas. Una embarcación con este tipo de casco puede romper y pasar a través de un campo de hielo de casi el doble de espesor del que puede atravesar un rompehielos de igual tamaño y potencia. Incluso la forma del casco es igualmente efectiva tanto en crestas y masas de hielo flotante como en hielo plano. Su eficiencia se ha demostrado suficientemente por las pruebas del rompehielos soviético *Mudyug* (10 000 CV), al que se le dio la forma del casco Thyssen/Waas en 1986 (Watson, 1991). Previamente a su conversión, el barco no podía romper hielo de más de un metro de espesor. Tras su conversión, pudo no sólo mantener una velocidad de 8 nudos a través de hielos de 1,2 metros de espesor sino de romper crestas de 16 metros de espesor. También ha sido de destacar la economía de combustible en el *Mudyug* como resultado de la conversión alcanzando un ahorro de energía del 50 por ciento en las operaciones en hielo.

### **Apoyo a la navegación**

La forma del casco, el tamaño, la potencia y la forma de la proa no son los únicos factores relacionados con los avances hacia una navegación segura, fiable y durante todo el año en el Ártico. Como hizo notar Frolov (1991), cuando describió el viaje del *Sibir* en 1987: "El sistema de los servicios de información hidrometeorológicos operativos-científicos jugó un papel decisivo en la terminación con éxito de la expedición y de sus fines. "En Canadá, algunas innovaciones se han centrado en el MV *Artic*, un buque rompehielo tipo OBO (mineral/carga a granel/petróleo) operado por la Canartic Shipping Company Limited. Esta

compañía se ha dedicado desde 1980 a prolongar la temporada de tráfico marítimo hasta el máximo permitido por las actuales normas de Prevención de la Contaminación de la Navegación Ártica Canadiense. Estas normas están ahora en revisión (Transport Canada, 1989; Nazarenko y Lapp, 1991).

El desarrollo de un sistema a bordo de apoyo a la navegación en hielos (SINSS) es crucial para el logro del objetivo de la Canartic, que efectivamente se convierte en el nervio de la navegación cuando el *Artic* opera con grandes espesores de hielo (Gorman, 1988). Es de especial importancia cuando el buque opera durante el período de invierno de total oscuridad. En palabras de Gorman: "El SINSS incorpora la planificación estratégica a largo plazo, el apoyo táctico a medio plazo y la detección de peligros del hielo a distancias cortas". La componente de planificación estratégica del SINSS comienza con anterioridad a la temporada de navegación e incluye una evaluación de las condiciones de hielo probables que se encontrarían en un viaje. Se apoya en distintas fuentes de información, incluidas las imágenes satelitarias NOAA y METEOR visibles e infrarrojas recibidas por el receptor de satélite a bordo del *Artic*, las imágenes del radar de visión lateral a bordo y del radar de apertura sintética (SAR) recopiladas por aviones que vuelan sobre el Ártico, predicciones del tiempo y de hielos del Centro de Hielos Canadiense en Ottawa, y mapas del estado actual de los hielos de la misma procedencia. La navegación táctica implica un sistema denominado. STAR-VUE, que forma actualmente parte del equipamiento habitual de varios rompehielos Guardacostas Canadienses (McAvoy, 1990). Mediante dicho sistema, las imágenes SAR se suministran directamente a los buques y se presentan electrónicamente con un sistema mejorado de pantalla de radar marino. La detección de riesgo de hielos a corta distancia incluye la utilización de binoculares, proyectores, sonar y radar de banda X para detectar peligros de naturaleza local, tales como los iceberg pequeños.

### **Conclusión**

Los avances en la tecnología de la navegación y en los sistemas de apoyo a la navegación han sido de tal magnitud durante los últimos años, que quizás no será sorprendente que los turistas pudieran hacer cruceros por el Polo

Norte. El continuo desarrollo de los cambios científicos y técnicos, conjuntamente con los estímulos proporcionados por el gran potencial del Ártico como región fuente de recursos minerales y de hidrocarburos, hace que el futuro de la navegación en altas latitudes sea excitante. El objetivo de la navegación segura durante todo el año en el Océano Polar se conseguirá seguramente en un futuro previsible. Sin embargo, el Ártico posee uno de los pocos medios ambientales naturales prístinos que quedan en el planeta. Por lo que se requiere vigilancia. El medio ambiente ártico marino permanecerá remoto e inhóspito. No se debe permitir que nada comprometa las necesidades de una navegación segura.

## Referencias

- ARMSTRONG, T. E., 1991: Tourists visit the North Pole, 1990. *Polar Record*, 27 (161), 130.
- BEANLANDS, G., 1990: Introduction to *The Challenge of Arctic Shipping*. D. L. VanderZwaag and C. Lamson (Eds.), McGill-Queen's University Press, ix-xii.
- BRIGHAM, L.W., 1985: New Developments in Soviet Nuclear Arctic Ships. *Proc. US Naval Institute*, 111/12/994, 131-133.
- BRIGHAM, L.W. (Ed.), 1991: Technical developments and the future of Soviet Arctic marine transportation. In: *The Soviet Maritime Arctic*, Belhaven Press, 125-139.
- DICK, R. A. and J. E. LAFRAMBOISE, 1989: An empirical review of the design and performance of icebreakers. *Marine Technology*, 26 (2), 145-159.
- FROLOV, I., 1991: The 1987 expedition of the icebreaker Sibir' to the North Pole. In: *The Soviet Maritime Arctic*. L. W. Brigham (Ed.), Belhaven Press, 33-44.
- GORMAN, R.W., 1988: *Shipboard Ice Navigation Support System, Phase V, Final Report*. Transport Canada Report No. TP-9215-E (Canarctic Report No. 4868), 174 pp.
- JUURMAA, K., 1978: The Wärtsilä air bubbling system. *Polar Record*, 19 (119), 121-127.
- KALLIPKE, F., 1973: The icebreaking cargo vessel: a proposed new hull form. *Shipping World and Shipbuilder*, 166 (3880), 431-432.
- LEAVITT, E.D. and McAvoy, G., 1987: Remote sensing in ice navigation. *Marine Technology Society Journal*, 21(3), 29-36.
- McAVOY, J. G., 1990: *Star Vue Interactive Assistance*. Transport Canada Publication No. TP10406E (Project No. 6944/6945), 26 pages and 6 appendices.
- MILANO, V. R., 1987: The Thyssen/Waas icebreaking hull form. *Marine Technology Society Journal*, 21 (3), 75-87.
- NANSEN, F., 1897: *Farthest North: being the record of a voyage of exploration of the ship Fram 1893-1896 and of a fifteen months' sleigh journey by Dr Nansen and Lieut. Johansen with an appendix by Otto Sverdrup, Captain of the Fram*. Archibald Constable and Company, two volumes (Volume 1: 510 pages; Volume 2: 671 pages).
- NAZARENKO, D.M. and LAPP, D.J., 1991: 1990 Operational Demonstration of the Proposed Ice Regime Shipping Control System on Board CCGS Henry Larsen - Voyage #90/2. Transport Canada Report No. TP-10706-E, 43 pages and appendices.
- TRANSPORT CANADA, 1989: Advance copy of *Proposals for the Revision of the Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations*. Transport Canada Report No. TP9981 (Canadian Coast Guard Project No. 2089), two volumes (Volume 1: Background, xxvi + 195 pages and appendix; Volume 2: Regulations, 39 pages).
- VARGES, G.R., 1990: Full-scale Experiences with Thyssen/Waas Icebreakers. *SNAME Icetech 90* (Society of Naval Architects and Marine Engineers), Paper H, 14 pages.
- WALKER J. M., 1991: Farthest North, Dead Water and the Ekman Spiral. Part 1: An audacious venture. *Weather*, 46 (4), 103-107.
- WATSON, G.G., 1991: Technical aspects of ice navigation and port construction in Soviet Arctic. In: *The Soviet Maritime Arctic*. L. W. Brigham (Ed.), Belhaven Press, 158-176.

\*\*\*