

Nota preparada por la redacción de CIENCIA HOY

# Extraños veleros

Quizá el lector haya visto un barco como alguno de los que muestran las fotografías y se haya preguntado qué son esos cuatro altos tubos que tiene el carguero de casco verde o el único tubo del buque de pasajeros de casco rojo. El primero, de 131m de eslora, fabricado en 2010, pertenece a la firma alemana Enercon, que produce turbinas eólicas, y lleva el nombre de *E-Ship 1*. El segundo, de 218m de eslora, llamado *Viking Grace*, es un trasbordador o ferry con capacidad para 2800 pasajeros más automóviles y carga, que desde abril de 2018 viaja diariamente por el Báltico entre Estocolmo y la ciudad finlandesa de Turku. Los tubos del primero miden 27m de alto y 4m de diámetro; el del segundo, 24m de alto y 4m de diámetro. El buque tanque *Maersk Pelican*, de 244m de eslora, que transporta 110.000 toneladas de petróleo, instaló hace pocos meses dos de tales tubos, de 30m de alto y 5m de diámetro.

Esos altos tubos son... velas. Por lo menos, tienen la misma función que las acostumbradas velas de las embarcaciones históricas y actuales: aprovechar la energía del viento para propulsar la nave. Para que cumplan su función, se los debe hacer rotar alrededor de su eje lon-

gitudinal, normalmente usando motores eléctricos que consumen una potencia menor que la entregada por el viento. Técnicamente, se denominan *rotores Flettner*, así llamados en honor del ingeniero alemán Anton Flettner (1885-1961) por las razones que se indican más adelante. Pero ¿cómo puede un dispositivo de ese tipo, es decir, un esbelto cilindro que rota, propulsar un buque o, por lo menos, contribuir a hacerlo?

El principio físico que lo explica es el mismo que explica la función de las velas de un velero convencional o la de las alas de un avión. Es también lo que explica la trayectoria curva por el aire de una pelota impulsada con efecto, es decir, rotando. Cuando un objeto esférico o cilíndrico que rota se mueve a través de un fluido, experimenta una presión positiva que va desde la zona de menor velocidad del fluido que lo rodea a la de mayor velocidad, como lo explica la leyenda del gráfico de la página 39. De hecho, Isaac Newton (1643-1727) había identificado el fenómeno en el siglo XVII al advertir en partidos de tenis en la Universidad de Cambridge que las pelotas enviadas con efecto se desvían de la trayectoria recta, cosa que sabe y trata de aprovechar hoy todo tenista, lo mismo que jugadores de fútbol, golf o béisbol.

## ¿DE QUÉ SE TRATA?

Rotores Flettner, turbovelas y velas ala: formas no convencionales de navegar con la energía del viento.



Buque carguero *E-Ship 1*, de 131m de eslora. Perteneció a la empresa alemana Enercon, que lo usa para transportar desarmadas las turbinas eólicas que fabrica en Europa, como se aprecia en la foto. Con tal propósito cruzó el Atlántico hasta el sur del Brasil.



Buque trasbordador *Viking Grace*, de 218m de eslora. Desde abril de 2018 viaja diariamente por el Báltico entre Estocolmo y la ciudad finlandesa de Turku.

En el siglo XVIII, el matemático inglés Benjamin Robins (1707-1751) explicó la trayectoria de balas de mosquetes mediante el mismo fenómeno.

Quienes hayan pateado una pelota de fútbol hacia adelante y con una rotación en sentido contrario a las agujas del reloj habrán notado que ella se desplaza por el aire describiendo un arco hacia la izquierda del pateador. La curvatura depende de las velocidades de rotación y de desplazamiento. Un buen pegador logra que ambas sean grandes y que el efecto resulte muy claro. De hecho, los deportistas más destacados controlan muy hábilmente ese efecto en una variedad de deportes. La curvatura también depende de la densidad del aire: a menor densidad, menor presión del aire sobre la pelota en rotación y menos curva su trayectoria. Se dice que un técnico argentino de fútbol comentó que, en Quito, a 2850m sobre el nivel del mar, 'la pelota no dobla'.

La física por la cual los rotores Flettner cumplen su propósito se basa en los mismos principios aerodinámicos que las pelotas en trayectorias curvas: el efecto Magnus, así llamado en recuerdo del físico alemán Heinrich Gustav Magnus (1802-1870), que lo describió en 1852, aunque –según se indicó al nombrar a Newton y a Robins– era conocido desde bastante antes. En la década de 1920, el mencionado ingeniero Flettner se valió del efecto Magnus para propulsar un buque de 54m de eslora y 2000 toneladas, con casco de acero, mediante dos cilindros de 18,3m de alto y 2,8m de diámetro que giraban impulsados por sendos motores eléctricos de 7,5kW de potencia. La electricidad era generada por un motor diésel de 33kW. La embarcación, que llevaba el nombre de *Buckau* (luego cambiado a *Baden-Baden*), había sido construida en 1920 en Kiel, en los astilleros Krupp Germania, como velero convencional de tres palos, y fue adaptada en 1924 para desplazarse con solo esos rotores como forma de propulsión. En esas condiciones navegó durante unos dos años por el Báltico y el mar del Norte, e incluso viajó a Nueva York, pero al cabo de ese período los rotores fueron desmantelados y la nave fue dotada de propulsión con combustible fósil. Técnicamente, los rotores fueron un éxito, pero no pasaron de constituir un experimento no replicado que cayó en el olvido ante el dominio incuestionado de los combustibles fósiles como fuente de energía para la navegación, favorecido por el derrumbe de los precios del petróleo a lo largo de las décadas de 1980 y 1990.

¿Por qué, entonces, a casi cien años de distancia, han reaparecido rotores Flettner en naves modernas? Lo han hecho como una forma complementaria de propulsión, en navíos principalmente propulsados por motores diésel, a diferencia del *Buckau*, para el que los rotores Flettner eran lo único que lo movía. Hoy el sistema puede contarse entre las diversas formas no convencionales en en-



Buque petrolero de la línea Maersk en el puerto de Róterdam.



El *Buckau*, una goleta de tres palos de 54m de eslora, cuya arboladura fue sustituida en 1924 por rotores Flettner, que fueron su única forma de propulsión por unos dos años hasta que, en 1926, los rotores fueron eliminados y se dotó la nave de hélices impulsadas por motores diésel.

sayo del uso de energías de fuente renovable. Incluso no es la única forma de aprovechar la energía eólica que se ensaya o se ensayó en navíos.

El catamarán experimental *Energy Observer*, de 30,5m de eslora, por ejemplo, se vale de una combinación de turbinas eólicas, paneles fotovoltaicos y celdas de hidrógeno, y si bien recurre al viento para disponer de electricidad a bordo, no lo hace para propulsarse. Por eso no nos detenemos en él en esta nota. Por su lado, el rotor Flettner no es el único dispositivo diferente de las velas tradicionales usado para impulsar la nave mediante energía eólica que se ensaya o se ensayó en navíos. Otro es la *turbovela*, usada en el *Alcyone*, nave de 31m de eslora botada en 1985 y uno



**Izquierda, de arriba hacia abajo.** Buque experimental *Energy Observer*, que no se propulsa por la energía del viento sino por la obtenida mediante paneles fotovoltaicos y celdas de hidrógeno.

El *Alcyon* en el puerto de Caen. Turbovelero de 31m de eslora botado en 1985 para el comandante Cousteau.

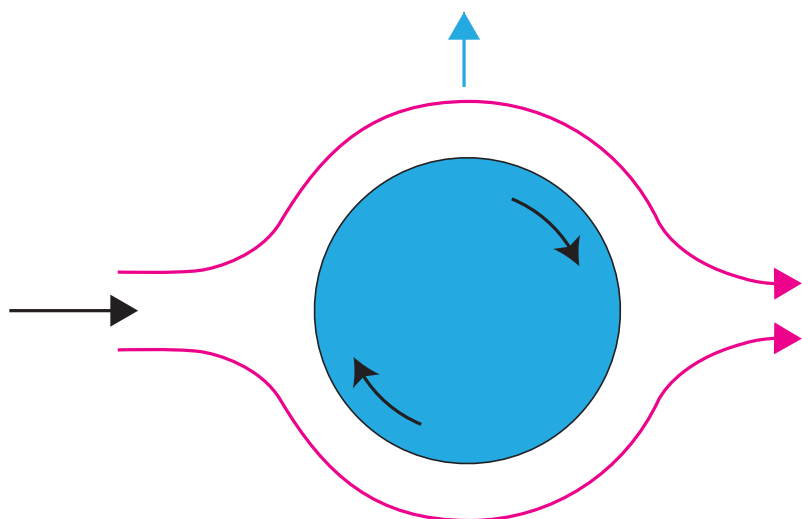
Velero de competición del equipo Oracle para correr la Copa de America, San Francisco.

**Derecha.** *Harbor Wing X-2*, trimarán experimental con velas ala amarrado en San Diego, California.



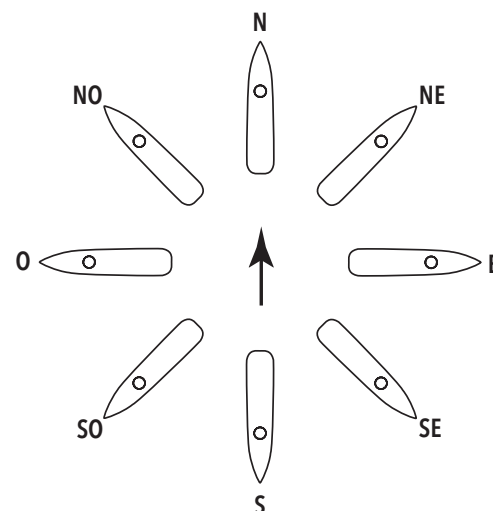
de los reemplazantes del legendario *Calypso* de Jacques-Yves Cousteau (1910-1997). Aprovecha la energía eólica mediante dos tubos de 10,2m de alto y sección elíptica de 1,35 x 2,05m que no rotan en forma continua ni operan sobre la base del efecto Magnus, sino que constituyen velas rígidas verticales orientables en la mejor dirección para tomar el viento. También se han ensayado velas rígidas múltiples o velas ala, sobre todo en veleros de competición o en embarcaciones experimentales como el *Harbor Wing X-2*. De todos los sistemas mencionados, sin embargo, solo los rotores Flettner se están considerando seriamente para ser usados en buques comerciales, a diferencia de las turbovelas y las velas alas, que por ahora no han entrado en la mira de las empresas navieras.

En líneas generales, la reaparición del rotor Flettner en la navegación comercial se debe al efecto combinado de dos causas: una, la recuperación de los precios del petróleo, acaecida desde comienzos de la década de 2000, que hace económicamente más competitivos a sus sustitutos; la otra, la presión internacional por encontrar reemplazo a los combustibles fósiles, dadas las consecuencias ambientales de su uso por el efecto invernadero que causa el CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera. A pesar de que el *E-Ship 1* ya lleva unos ocho años en operación, e independientemente de las conclusiones que pudiera haber sacado su armador y no ha hecho públicas, lo cierto es que el sistema de propulsión en cuestión debe considerarse aún en estado experimental, y que no es posible en este momento vaticinar la suerte que correrá.



El efecto Magnus. El viento, que sopla en la dirección de la flecha horizontal, al encontrarse con un cuerpo que rota como lo indican las flechas de color negro, lo rodea y pasa tanto por el lado del objeto que en su rotación se mueve en el mismo sentido del viento (el cual por fricción de sus moléculas con el objeto adquiere más velocidad) como por el lado que se mueve en sentido contrario y le sucede lo inverso. Esa trayectoria del aire va indicada en fucsia. El resultado es que se crea una diferencia de presión entre ambos lados que somete al objeto a la fuerza de Magnus, indicada por la flecha vertical.

A los inconvenientes que son propios de todas las formas de aprovechamiento de la energía eólica —entre ellas, altos costos de inversión inicial e irregularidad de los vientos—, se suma una desventaja específica de su uso para la navegación: la eficiencia del sistema depende fuertemente del rumbo de la nave con relación a la dirección del viento. Como lo muestran los gráficos, la fuerza de Magnus opera en sentido perpendicular a la dirección del viento: si se navega con viento lateral o a la *cuadra* (y los rotores giran en sentido correcto), esa fuerza se ejerce exactamente en el sentido de avance de la nave.



Esquema de ocho rumbos que puede tomar una embarcación propulsada por un rotor Flettner. Si se supone que sopla viento del sur, como lo indica la flecha, cuando la nave pone proa a ese rumbo o navega hacia el norte, la fuerza de Flettner la impulsa respectivamente hacia el oeste o el este (suponiendo que el cilindro gire en el sentido de las agujas del reloj en el primer caso, y en sentido contrario en el segundo).

En cambio, con viento de proa o de popa, la fuerza apunta enteramente en sentido lateral y solo causa deriva. En todas las otras posiciones se divide en dos componentes: uno de avance y otro de deriva, es decir, solo una parte de la fuerza de Magnus contribuye al ahorro de combustible. Algo semejante ocurre con los turboveleros y con las velas ala. De cualquier forma, se han oído afirmaciones de operadores de navíos con rotores Flettner de que, según las circunstancias de la embarcación y del viaje, podrían ocasionar un ahorro de combustible de entre el 5% y el 25%. El tiempo dirá. **CH**

### LECTURAS SUGERIDAS

**AAVV**, 2013, *Future Ship Powering Options*, Royal Academy of Engineering, Londres, accesible por internet en formato pdf.

**ARGYROS D**, 2015, *Wind-Powered Shipping. A review of the commercial, regulatory and technical factors affecting uptake of wind-assisted propulsion*, Lloyd's Register Marine, Londres, accesible por internet en formato pdf.

**MILIĆ KRALJ D & KLARIN B**, 2016, 'Wing sails for hybrid propulsion of a ship', *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 4, 1: 1-13.

**PEARSON DR**, 2014, *The Use of Flettner Rotors in Efficient Ship Design*, The Royal Institute of Naval Architects, Londres.