EL *JUAN SEBASTIÁN DE ELCANO* Y LA BOSTON TEAPOT

Ignacio DÍAZ DE TUESTA REVILLA
Teniente médico (RV)

Introducción

L trofeo Boston Teapot es una competición abierta para buques de vela que se celebra anualmente. El buque escuela *Juan Sebastián de Elcano* es uno de los líderes mundiales en este torneo. El objeto de estas líneas es describir un método informático de cálculo de tramos para maximizar la puntuación en este campeonato.

Antecedentes históricos

Tiene sus orígenes en 1964. Después de finalizar la Regata Transatlántica de grandes buques a América, uno de los veleros participantes, con el objetivo de atraer la atención de inversores para financiar su viaje de regreso de Boston a Europa, ideó una nueva competición en la que resultaría triunfadora la embarcación que recorriera la mayor distancia posible a vela (1).

Derivado de esta, se ha venido desarrollando desde ese año este trofeo anual denominado Boston Teapot, abierto a todas las embarcaciones de entrenamiento con un mínimo de 30 pies de eslora, en las que al menos un 50 por 100 de los tripulantes no permanentes tengan una edad comprendida entre los 15 y 25 años (2). Resulta ganadora la que recorra a vela durante 124 horas consecutivas, en cualquier período entre el 1 de octubre de un año y el 30 de

(1) *Sail Training International. Rules for the Boston Teapot Trophy*. Recuperado el 23/7/18 de *https://sailtraininginternational.org/app/upload/2018/06/Boston-Teapot-Form-2018-19.pdf*.

(2) *Sail Training International Group Ltd.* (2013). *Racing & Sailing Rules and Special Regulations*. Recuperado el 23/7/18 de *https://sailtraininginternational.org/*.

Buque escuela *Juan Sebastián de Elcano*. (Fotografía facilitada por el autor).

septiembre del siguiente, la mayor distancia posible en cualquier parte del mundo. En este período, de libre elección por el buque, no penalizan ni recaladas en puerto ni uso del motor, pero el tiempo de recalada no se descuenta y las millas que no sean puras a vela no computan. Los resultados se envían a la organización en sobre cerrado antes del 31 de octubre. No existen verificadores ni jueces durante la travesía; el sistema se basa en el honor del notificante.

Papel del buque escuela *Juan Sebastián de Elcano*

El buque escuela de la Armada española cumple por su eslora y dotación las especificaciones básicas de participación, con la ventaja de ser un barco que, aunque antiguo, cuenta con una superficie vélica de 3.151 m^2 (3), una de las mayores de su clase, y realiza todos los años viajes de instrucción de al menos cuatro meses (habitualmente seis) que le sitúan en una posición privilegiada para poder participar rutinariamente en esta competición si encuentra una ventana de viento propicia.

Desde su primera victoria en el año 1974, nuestro buque escuela ha participado en varias ediciones, acumulando nueve premios. Esto hace que sea, junto

(3) *Libro de Maniobra del buque escuela* Juan Sebastián de Elcano. Publicación ENM 298. Escuela Naval Militar, octubre 2017.

con el buque escuela de la Armada argentina *Libertad,* el que más veces ha sido galardonado.

Año	Buque	País
1964	*Corsario II*	Italia
1965	*Gorch Fock*	Alemania
1966	*Libertad*	Argentina
1967	*Gorch Fock*	Alemania
1968	*Gorch Fock*	Alemania
1969	*Gorch Fock*	Alemania
1970	*Gloria*	Colombia
1971	*Esmeralda*	Chile
1972	*Eagle*	EE. UU.
1973	*Eagle*	EE. UU.
1974	*J. S. de Elcano*	España
1975	—	—
1976	*Libertad*	Argentina
1977	—	—
1978	—	—
1979	*J. S. de Elcano*	España
1980	—	—
1981	*Libertad*	Argentina
1982	*Cisne Branco*	Brasil
1983	*Gorch Fock*	Alemania
1984	—	—
1985	*Libertad*	Argentina
1986	*Nippon Maru*	Japón
1987	*Libertad*	Argentina

Año	Buque	País
1988	*Dar Mlodziezi*	Japón
1989	*Nippon Maru*	Japón
1990	*Kaiwo Maru*	Japón
1991	*Kaiwo Maru*	Japón
1992	*Libertad*	Argentina
1993	*Nippon Maru*	Japón
1994	*Kaiwo Maru*	Japón
1995	*Kaiwo Maru*	Japón
1996	—	—
1997	*J. S. de Elcano*	España
1998	*Libertad*	Argentina
1999	*J. S. de Elcano*	España
2000	*Libertad*	Argentina
2001	*J. S. de Elcano*	España
2002	*Cuauhtémoc*	México
2003	*Cuauhtémoc*	México
2004	*J. S. de Elcano*	España
2005	*J. S. de Elcano*	España
2006	*J. S. de Elcano*	España
2007	*Libertad*	Argentina
2008	*Statsraad Lehmkuhl*	Noruega
2009	*Sagres*	Portugal
2010	*Statsraad Lehmkuhl*	Noruega
2011	*Statsraad Lehmkuhl*	Noruega

2012	*Statsraad Lehmkuhl*	Noruega
2013	*Cuauhtémoc*	México
2014	*Statsraad Lehmkuhl*	Noruega

2015	*J. S. de Elcano*	España
2016	*Statsraad Lehmkuhl*	Noruega
2017	*Statsraad Lehmkuhl*	Noruega

Ganadores de la Boston Teapot Trophy desde su inicio.

Un duro competidor desde el año 2010 es el *Statsraad Lehmkuhl,* construido en 1919 y operado por una fundación de Bergen (Noruega) que, entre otros usos, es alquilado a la Marina noruega como buque escuela. Cuando ha participado, ha obtenido registros muy por encima de los históricos del resto de participantes, resultando triunfador en cinco de las ocho últimas ediciones. Su mejor marca fue en 2017, con 1.548 millas navegadas.

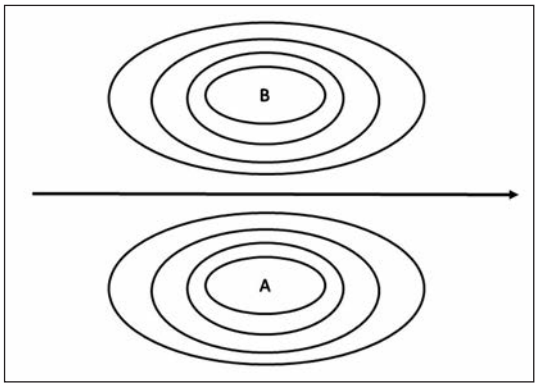
Statsraad Lehmkuhl. (Foto: *www.wikipedia.org*).

Normas de medición del trofeo

Las normas para establecer el ganador son simples. Cada buque indica su posición a la hora de inicio de tramo competitivo y 124 horas más tarde, y un máximo de dos posiciones intermedias o *waypoints* (WP). La distancia computada es la resultante de los tres tramos: punto inicial al primer WP,

distancia entre los dos WP y distancia del segundo WP al final (4).

En condiciones ideales de navegación lineal, el punto inicial y el final definen el trayecto recorrido. Sin embargo, estas condiciones teóricas no se cumplen en la práctica. Un velero que quiera aprovechar los mejores vientos no realizará una navegación a rumbo constante. Solo una hipotética situación de canal entre un anticiclón y una borrasca de distribución isobárica simétrica, orientada favorablemente al destino del buque, generará un canal de viento lineal.



Condiciones atmosféricas ideales que generaría un canal de viento lineal.

En condiciones normales de navegación y meteorología, el velero tenderá a curvar su trayectoria, como lo hacen las líneas isobáricas para mantener el mejor ángulo posible respecto al viento. Si además tiene que cumplir con unas previsiones de recaladas, es probable que trace cambios de trayectoria.

El efecto final de esta navegación en un escenario real es que la derrota del buque trazará un recorrido que no responde a una forma geométrica simple definida por una ecuación.

En consecuencia, para notificar la mayor distancia posible entre inicio y final, con un máximo de dos WP, será preciso escoger correctamente esos dos puntos entre los infinitos que forman la derrota del buque.

Modelo matemático

La variabilidad de la trayectoria de un buque durante su participación en el trofeo hace que el buen juicio del navegante sea básico para escoger los puntos que maximizan las tres mangas de que consta el recorrido, entre el inicio, los dos WP permitidos y el punto final. Intuitivamente, los puntos de cambio brusco de rumbo y el punto medio de las trayectorias curvas de radio constante aparentan ser las opciones empíricamente más favorables. No obstante, en recorridos reales queda la incertidumbre de que otros puntos pudieran aportar mejoras en el cómputo del recorrido.

(4) Ibídem. *Sail Training International. Rules for the Boston Teapot Trophy*.

Con el objetivo de maximizar nuestra puntuación en la participación, creamos en el buque un algoritmo informático de análisis de trayectoria para evaluar estos puntos óptimos. Debido a la expuesta variabilidad de las trayectorias, descartamos modelos geométricos puros y optamos por un método basado en «ataque por fuerza bruta» computacional, consistente en medir todas las posibles opciones de WP.

Para ello volcamos los datos nativos extraídos del WECDIS (5) durante el período en el que obtuvimos las mejores velocidades a vela. Estos datos fueron procesados para transformar las fechas exportadas en formato mes/día/año/hora a un número de coma flotante. Del mismo modo, se procedió con la longitud y latitud.

Con estas referencias se creó una aplicación informática que analizaba, para cada valor tiempo/posición exportado, los *n* puntos registrados en la ventana de 124 horas siguientes. A continuación, se generó una matriz de tamaño *n x n* con dichos puntos. Para cada celda, se calculó la distancia desde el inicio hasta el punto definido por la fila, distancia desde ese punto al definido por la columna y, finalmente, desde el punto definido por la columna hasta el punto final. Una vez calculados los tres tramos, la suma de ellos se almacenaba como resultado de la celda. Las distancias fueron calculadas empleando la fórmula de la ortodrómica.

$$d = 10800/PI * \cos^{-1}\langle \sin(Lat_i) * \sin(Lat_f) + \cos(Lat_i) * \cos(lat_f) * \cos(\Delta Lon)\rangle$$

Filtrar	Calcular TODO				Resultado				Convertir		Calcular punto Final			Calcular con 2 Waypoint		
Punto	Fecha y Hora	LONGITUD			LATITUD				COORDENADAS		Punto	WawPs	Millas lineal	WP1	WP2	MILLAS
427	02/06/2018 17:05:00	72	10	0,00	31	32	0,00		72,159 º	31,536 º	4288	3862	989,8298	1538	3349	1062,692
428	02/06/2018 17:11:00	72	10	0,00	31	32	0,00		72,164 º	31,528 º	4288	3861	989,3029			
429	02/06/2018 17:12:00	72	10	0,00	31	32	0,00		72,165 º	31,526 º	4288	3860	989,1823			
431	02/06/2018 17:15:00	72	10	0,00	31	31	0,00		72,168 º	31,522 º	4288	3859	988,9432			
430	02/06/2018 17:15:00	72	10	0,00	31	31	0,00		72,168 º	31,522 º	4288	3858	988,957			
432	02/06/2018 17:16:00	72	10	0,00	31	31	0,00		72,169 º	31,521 º	4288	3857	988,8241			
433	02/06/2018 17:16:00	72	10	0,00	31	31	0,00		72,169 º	31,520 º	4288	3856	988,8104			
434	02/06/2018 17:17:00	72	10	0,00	31	31	0,00		72,170 º	31,519 º	4288	3855	988,7382			
435	02/06/2018 17:18:00	72	10	0,00	31	31	0,00		72,170 º	31,518 º	4288	3854	988,6905			
437	02/06/2018 17:19:00	72	10	0,00	31	31	0,00		72,172 º	31,516 º	4288	3853	988,525			
436	02/06/2018 17:19:00	72	10	0,00	31	31	0,00		72,172 º	31,517 º	4288	3852	988,572			
438	02/06/2018 17:22:00	72	10	0,00	31	31	0,00		72,174 º	31,513 º	4288	3851	988,3054			
439	02/06/2018 17:24:00	72	11	0,00	31	31	0,00		72,176 º	31,510 º	4288	3850	988,1542			
440	02/06/2018 17:26:00	72	11	0,00	31	30	0,00		72,179 º	31,507 º	4288	3849	987,9006			

titu explo 1 de 3862 Sin filtro Buscar

Programa de cálculo de los dos WP más favorables.

(5) *Electronic Chart Display and Information System.*

Donde Lat_i y Lat_f son las latitudes del primer y segundo punto a considerar, ΔLon es la diferencia de longitudes y d la distancia en millas náuticas.

Al completar todas las iteraciones el algoritmo seleccionó la celda con el valor más elevado, almacenando en una base de datos las horas y posiciones del punto de inicio, de los WP correspondientes a la fila y columna del máximo valor, y del punto final, junto con la suma de los tres tramos.

El proceso se reinicia con el siguiente punto de los datos, volcando, generando una nueva matriz que alcance hasta las 124 horas siguientes y calculando de nuevo los dos mejores WP para ese punto.

Al finalizar el proceso, el algoritmo compara todos los tramos de 124 horas posibles, seleccionando el que maximiza el recorrido, emitiendo un informe final con las mejores 124 horas y los dos WP más favorables dentro de esa ventana de tiempo.

Resultados

Durante el XC crucero de instrucción encontramos un área de buenos vientos entre los puertos de Valparaíso y El Callao que permitieron navegar con vientos estables de aleta y mar de popa durante cinco días, en rumbo nortenoroeste, con aparejo de juanete, al que se añadían durante el día las velas altas (estays y escandalosas), con una velocidad medias de nueve nudos.

Derrota del tramo competitivo del *Juan Sebastián de Elcano* durante su singladura por el Pacífico Sur.

Aprovechamos este trayecto para presentar nuestra candidatura a la Boston Teapot. Por necesidades de programación, variamos el rumbo justo a las 124 horas para restablecer una derrota que nos acercara a nuestro puerto de destino sin retrasos, realizando la estimación de mejores registros con una única matriz de 124 horas. El programa calculó un total de 22.362.000 ortodrómicas diferentes para obtener los tres tramos óptimos.

La distancia entre el punto de inicio y el final fue de 989 millas náuticas. Aplicando los dos mejores WP seleccionados por el programa, el resultado

Réplica de la Boston Teapot ganada por el buque escuela *Juan Sebastián de Elcano* en 1979. (Foto: RGM).

final fue de 1.062,69 millas, 72 más que las estimadas sin WP optimizados. Este registro constituye el cuarto mejor alcanzado por el buque escuela, con la limitación de que durante este crucero, por instrucciones operativas de seguridad, no se navegó de noche con todo el aparejo largado.

Como dato significativo, el cálculo a estima de los dos mejores WP, realizado por el oficial ayudante de derrota, no difirió significativamente del realizado por el programa, lo que puede indicar que en caso de trayectorias poco complejas la experiencia de un buen navegante se aproxima bastante al resultado óptimo. Es probable que en recorridos más complicados la utilidad de un sistema como el descrito sí pueda ser trascendente.

Conclusión

Un programa de cálculo automático de puntos intermedios en una trayectoria puede ayudar a declarar los mejores registros de distancia en competiciones como la Boston Teapot y puede ser de especial utilidad si la derrota tiene cambios continuos de dirección.