DESID-2016-019

Estudio Sobre la Mejora de la Eficiencia Energética en Buques de Guerra Mediante el Uso de Cometas de Tracción

Villa Caro, Raúl

Resumen – En los últimos tiempos se está produciendo una mejora de la eficiencia energética de los buques mediante el uso de cometas de tracción como complemento a la propulsión de los mismos.

Mediante esta mejora se obtiene una reducción del consumo de combustible y por lo tanto se lleva a cabo una disminución del nivel de emisiones de gases nocivos a la atmósfera.

Mediante este trabajo se pretende realizar un estudio "cuantificado" de esa mejora, utilizando como base diferentes buques mercantes, para después trasladar esa mejora a su posible implementación en buques de guerra.

Este estudio describirá el funcionamiento del método de propulsión mediante cometas de tracción, desarrollado principalmente por la empresa "SkySails", presentando los componentes del sistema, y describiendo las maniobras que se llevan a cabo, así como los detalles sobre su posible instalación en buques de guerra.

Finalmente se realizará un estudio sobre la viabilidad operativa y económica de este sistema para evaluar la posible rentabilidad de la incorporación de este sistema en los buques tradicionales.

Palabras clave – Eficiencia energética; Buque; Cometa; Propulsión

Estudio sobre la mejora de la eficiencia energética en buques de guerra mediante el uso de cometas de tracción.

Villa Caro, Raúl [1,*]

[1] Fundación para el fomento del conocimiento de la construcción naval y de las actividades marítimas (EXPONAV), Cantón de Molins s/n (Ferrol); Email: rvilcar@exponav.org (RVC)

***** Autor Principal y responsable del trabajo; E-Mail: rvilcar@exponav.org (RVC)

Abstract: En los últimos tiempos se está produciendo una mejora de la eficiencia energética de los buques mediante el uso de cometas de tracción como complemento a la propulsión de los mismos. Mediante esta mejora se obtiene una reducción del consumo de combustible y por lo tanto se lleva a cabo una disminución del nivel de emisiones de gases nocivos a la atmósfera. Mediante este trabajo se pretende realizar un estudio "cuantificado" de esa mejora, utilizando como base diferentes buques mercantes, para después trasladar esa mejora a su posible implementación en buques de guerra. Este estudio describirá el funcionamiento del método de propulsión mediante cometas de tracción, desarrollado principalmente por la empresa "SkySails", presentando los componentes del sistema, y describiendo las maniobras que se llevan a cabo, así como los detalles sobre su posible instalación en buques de guerra. Finalmente se realizará un estudio sobre la viabilidad operativa y económica de este sistema para evaluar la posible rentabilidad de la incorporación de este sistema en los buques tradicionales.

Keywords: eficiencia energética; buque; cometa; propulsión

---

1. Introducción

La mejora de la eficiencia energética en los buques se traduce en una reducción del consumo de combustible de los mismos, y por lo tanto en la disminución del nivel de emisiones de gases nocivos a la atmósfera. En este trabajo se realiza un estudio de las cometas utilizadas para arrastre y desplazamiento para conocer los distintos tipos existentes.

La utilización de cometas para arrastrar algún tipo de artefacto se remonta a épocas muy remotas. Los nativos de las Islas Samoa ya remolcaban sus canoas con ayuda de cometas. Personajes históricos como Benjamin Franklin, gran aficionado a las cometas y famoso por el experimento que le llevó a

inventar el pararrayos, citan estos usos. También se han usado, no hace tantos años, como sistema de salvamento marítimo, o en algunos desarrollos de la NASA. Aunque hoy en día, el auge de las actividades deportivas que emplean este tipo de dispositivos, ha relanzado el uso de las cometas de tracción.

En el año 1963 el americano Jalbert se inspiró en el ala de su avión, para el diseño de una cometa flexible que tuviera todas las ventajas de los principios aerodinámicos de las alas rígidas. Nacía así el "Parafoil", el precursor de los actuales parapentes. Este tipo de cometa no necesitaba de ninguna varilla. Su forma y rigidez de vuelo se conseguía por medio de unas bolsas internas que se hinchaban con el viento, obteniéndose una forma de ala de gran estabilidad y fuerza de sustentación. El número de estas bolsas determinaba su poder y fuerza de elevación, lo que permitía una construcción en distintos tamaños dependiendo de su uso. Más tarde Ray Merry y Andrew Jones modificaron la cometa parafoil y diseñaron su "Flexfoil", que es una vela formada por un número determinado de celdas que se inflan por la acción del viento, adquiriendo esta forma de ala. Los hilos de control se atan en el borde de ataque a lo largo de una varilla flexible. El diseño de las Flexifoil es el que ha dado lugar a la mayoría de las actuales velas empleadas en todos los deportes de tracción y conocidas simplemente como "foils". Existen foils de dos y de cuatro hilos, siendo las de cuatro hilos las que se emplean comúnmente en la tracción. Su ventaja sobre las cometas de dos hilos radica en su uso como cometas de tracción, ya que en ellas se puede controlar muy bien el ángulo de inclinación de la vela, y así variar el empuje, lo que permite controlar la velocidad y realizar maniobras mucho más complejas.

Figura 1. Tipo de cometa que se utiliza para la propulsión de buques.

En la actualidad el método de propulsión por cometas de tracción está desarrollado por una única empresa, conocida como "SkySails", por lo que este trabajo se centra en el sistema SkySails desarrollado por la citada empresa.

2. Desarrollo

Para entender el funcionamiento de este tipo de velas, es necesario conocer el concepto de "*ventana del viento*". La ventana de viento es el área imaginaria desde el punto de vista visual por dónde se puede mover la cometa. Para pilotar una cometa deberemos situarnos de espaldas al viento, mientras que la cometa nunca podrá volar por detrás de nuestra posición (en el peor de los casos justo por encima –cénit-, o a ambos lados, pero nunca puede superar hacia detrás un plano vertical imaginario que pase por encima de nuestra posición). Cuando el viento incide en la cometa, genera tracción, pero dependiendo del ángulo o inclinación que tenga la cometa en ese momento con respecto al viento y su velocidad de desplazamiento, generará menor o mayor potencia de tracción. [1]

Justo enfrente del piloto o punto de anclaje y a media altura se encontraría la zona de máxima potencia, por el contrario justo encima, en el punto llamado "cénit" y en ambos lados, la cometa no ejercerá presión sobre nuestra posición, es decir, son los puntos de mínima potencia.

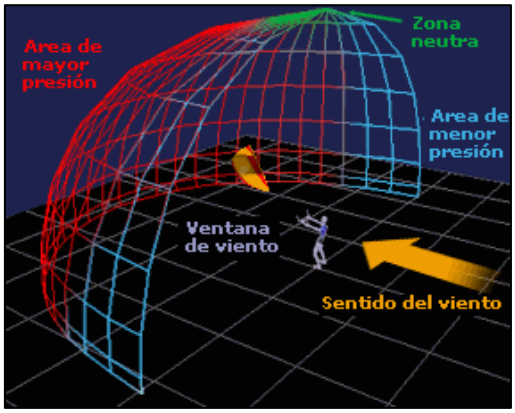

Figura 2. Ventana del viento.

SkySails es la marca registrada de un sistema de propulsión a viento completamente automático, basado en una cometa de tracción capaz de propulsar buques de carga, grandes yates y arrastreros, y hasta buques de guerra si fuera necesario. El sistema es fabricado por la empresa alemana SkySails con sede principal en Hamburgo. Los buques de carga modernos pueden utilizar el viento como fuente de energía, lo que no sólo afecta a los menores costes de combustible, sino que también reduce significativamente los niveles de emisiones. [2]

El sistema de propulsión SkySails consiste en tres componentes principales: una cometa de tracción con una amarra para el lanzamiento, un sistema de recuperación, y un sistema de control de funcionamiento automático. La cometa surge del mástil especial controlado y construido en la proa del barco.

Figura 3. Sistema de propulsión SkySails.

SkySails se pueden instalar de manera sencilla como un sistema de propulsión auxiliar tanto en buques de nueva construcción como en buques existentes. Es un sistema eficiente, seguro y fácil de usar. Además el hecho de que el viento sea más barato que el petróleo hace de SkySails una de las tecnologías más atractivas del mundo para reducir al mismo tiempo los costes de explotación y las emisiones contaminantes.

En este sistema la cometa se eleva hasta los 300 metros, aprovechando así las fuertes corrientes de viento existentes a esa altitud y genera fácilmente cinco veces más de potencia propulsora por metro cuadrado de superficie que las velas convencionales. En función de las condiciones de viento existentes, un buque podría navegar en combinación con sus motores principales y aliviando a éstos.

El principio físico del equipo consiste en utilizar una cometa unida a la proa del buque, volando a una altura de unos 100-300 m sobre el nivel del mar, es decir, en zonas donde el viento es superior al que se tiene en la superficie. Este sistema complementaría al motor de combustión tradicional consiguiendo un importante ahorro de combustible. Un equipo de control electrónico regula el conjunto tratando de posicionar la cometa en una zona u otra de acuerdo con las necesidades en cada momento: buque parado, barco en navegación, etc. La cometa de tracción es el núcleo del sistema de propulsión SkySails. Junto con la consola de control y la amarra de remolque forman lo que se denomina "Sistema de Vuelo". [3]

Dirigido por la consola de control, la cometa de arrastre realiza maniobras de vuelo dinámicas regulares en el aire, a proa del buque, para generar la propulsión. Esta fuerza de tracción se transmite a la nave a través de una amarra de remolque de fibra sintética de alta resistencia. Un cable especial integrado dentro de esta amarra asegura el suministro de energía y la comunicación entre la consola de control de la cometa y el sistema de control de la nave.

Al tener la cometa volando a tanta altura, se encuentra ante grandes velocidades de viento, del orden de un 45% superiores a las de superficie, lo que se traduce en un aumento del empuje generado a la cometa por acción del viento, del orden de un 200% sobre si estuviera volando a baja altura.

Su principal ventaja, por tanto, radica en el ahorro energético y económico conseguido, muy importante en un mundo marítimo donde el consumo de combustible es clave para obtener rentabilidad. Este sistema utiliza grandes cometas de tracción que proporcionan hasta 25 veces más energía por metro cuadrado que los sistemas de propulsión a vela convencionales. La experiencia ha demostrado que el kW/h con el sistema SkySails cuesta aproximadamente la mitad que el kW/h generado con el motor principal. Pero el ahorro de combustible también significa un ahorro de emisiones. Se pueden reducir las emisiones de CO_2, así como las emisiones de azufre y óxido de nitrógeno. La Organización Marítima Internacional (OMI) estima que con la implantación del sistema SkySails se pueden eliminar hasta 100 millones de toneladas de emisiones de carbono perjudiciales para el clima en todo el mundo cada año. Destaca también la sencillez de su implantación, lo que hace que sea posible instalar el sistema de arrastre por cometas, no solo en buques de nueva construcción, sino también en buques existentes, civiles o militares, sin muchas dificultades. Las cometas no requieren de mástiles sobre la cubierta, con lo cual no ocupan apenas espacio en cubierta, ni entorpecen las operaciones de carga y descarga. Además con sus sistemas de control de vuelo las cometas pueden controlar su propia velocidad de vuelo aumentando de esta manera la fuerza de tracción.

Su principal inconveniente radica en la dependencia del viento. Su ausencia, o su existencia a baja velocidad impide la posibilidad de propulsión mediante la cometa. Este sistema tampoco es posible utilizarlo cuando el rumbo es de cara al viento. Además una vez la cometa está desplegada, el cambio de rumbo del buque es más lento de lo habitual, por lo tanto no se puede utilizar este sistema en zonas con mucho tránsito, ni en canales angostos y en general en ninguna situación que requiera rapidez de maniobra. [4]

3. Resultados y discusión. Viabilidad económica.

Según las pruebas hechas por la empresa SkySails, se ha observado que cuanto mayor es la velocidad, mayor es el ahorro de combustible. Aunque no todo es ahorro. Este sistema exige unos costes de operación y mantenimiento considerables. El coste de adquisición del sistema SkySails aproximado es de 500.000€. SkySails también estima que el ahorro promedio conseguido instalando la tracción por cometa estaría en torno al 30% de combustible, aunque hay que tener en cuenta las

operaciones y mantenimiento de los equipos, como ya se ha comentado, por lo que el ahorro sería menor. Los logros conseguidos hasta ahora nos muestran como un gran barco mercante de unos 140 metros de eslora consumiría un 30 % menos de combustible y reduciría en un 20 % la emisión de CO_2. Esto cada año podría significar 100 millones de toneladas menos de CO_2 emitidas a la atmósfera y menos contaminación sonora, fundamental para las especies marinas. El objetivo de SkySails es equipar a 1500 buques para el año 2018.

A continuación se realiza un estudio de consumo de combustible con la ayuda del programa *MaxSurf Resistance*. Se realizará una predicción de potencia a unos modelos de buque, obteniendo así la reducción de potencia en kilovatios que se conseguiría con la implantación del sistema SkySails. Con este dato se calculará el ahorro de consumo diario y se estimará el tiempo de recuperación de la inversión.

- **Caso 1: Petrolero VLCC:** Se estudiará un petrolero VLCC con las siguientes dimensiones:

Tabla 1. Petrolero VLCC.

Eslora	330,366	m
Manga	54,252	m
Calado	20,422	m
Desplazamiento	308787,8	Tn
Vel. servicio	13	nudos

Se obtienen los siguientes datos:

Tabla 2. Petrolero VLCC.

VELOCIDAD (NUDOS)	RESISTENCIA (KN)	POTENCIA (KW)
3	81	233
3,5	108	362
4	139	532
4,5	174	747
5	212	1011
5,5	254	1331
6	299	1709
6,5	347	2151
7	399	2662
7,5	454	3245
8	512	3906
8,5	574	4649
9	639	5477
9,5	707	6397
10	778	7411
10,5	852	8525
11	929	9743
11,5	1010	11071
12	1095	12515
12.5	1182	14082
13	1274	15780

Se estima a partir de la siguiente gráfica la velocidad que proporciona el sistema SkySails en óptimas condiciones: [5] [3]

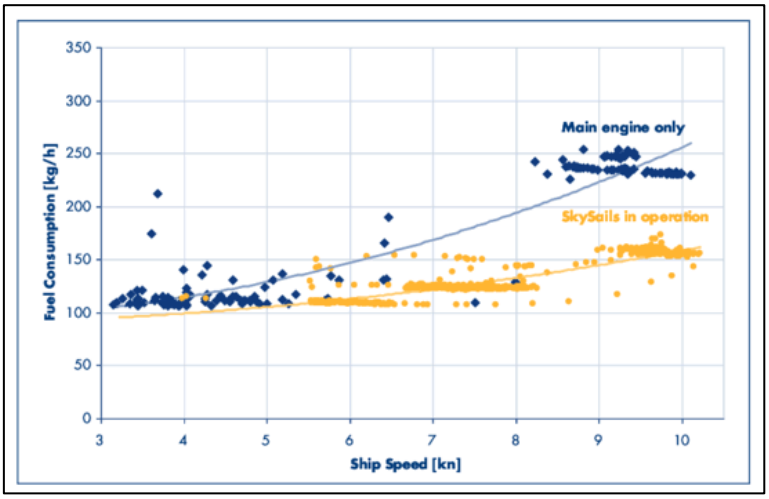

Figura 4. Gráfica sistema de propulsión SkySails. Fuente: **(TALAVERA, 2016)**

Se va a suponer que a 10 nudos se obtendría el mismo consumo que sin la cometa y el buque a 6 nudos, por lo que se utilizará el valor de 4 nudos como la reducción de velocidad que permite el sistema SkySails. Cabe destacar que a mayores velocidades, la velocidad que aporta la cometa sería mayor ya que la curva de propulsión con motor aumenta más rápidamente, sin embargo utilizaremos el valor de 4 nudos de manera aproximada.

Tabla 3. Petrolero VLCC.

	Velocidad (nudos)	Resistencia (KN)	Potencia (KW)
Cometa + Motor	9	639	5477,85
Motor	13	1274	15779,877

$$Peso = Consumo\ específico * Potencia \quad (1)$$

$$Peso = 185 * 10^{-6} \frac{Tn}{kW * h} * (15779{,}877 - 5477{,}85) kW = 1{,}91\ Tn/h$$

Se supone que el combustible es MDO, cuyo precio en 2015 era de aproximadamente 600 €/Tn:

$$Ahorro = 1{,}91 Tn/h * 600€/Tn = 1.146€/h$$

Para amortizar la instalación del sistema SkySails, valorada en aprox. 500.000 €, se necesitarían 436,30 horas de funcionamiento (aproximadamente 18 días).

- **Caso 2: Bulk Carrier:** Se estudiará un Bulk Carrier con las siguientes dimensiones:

- **Tabla 4**. Granelero.

Eslora	154,113	m
Manga	23,11	m
Calado	10	m
Desplazamiento	27688,25	Tn
Vel. servicio	14	nudos

Se obtienen los siguientes datos:

Tabla 5. Granelero.

VELOCIDAD (NUDOS)	RESISTENCIA (KN)	POTENCIA (KW)
3	18,2	52
3,5	24,3	81,112
4	31,3	119,238
4,5	39,1	167,524
5	47,7	227,1
5,5	57,1	299,084
6	67,3	384,589
6,5	78,3	484,726
7	90,1	600,623
7,5	102,7	733,451
10	178,8	1703,45
10,5	197,3	1973,597
11	217,3	2276,687
11,5	238,9	2617,549
12	262,6	3002,041
12.5	288,6	3437,156
13	317,4	3931,111
13,5	349,4	4493,438
14	385	5134,923

Se utilizará según la demostración realizada en el caso anterior, el valor de 4 nudos como la reducción de velocidad que permite el sistema SkySails.

Tabla 6. Granelero.

	Velocidad (nudos)	Resistencia (KN)	Potencia (KW)
Cometa + Motor	10	178,8	1703,45
Motor	14	385	5134,923

$$Peso = Consumo\ específico * Potencia$$

$$Peso = 185 * 10^{-6} \frac{Tn}{kW * h} * (5134{,}923 - 1703{,}45)kW = 0{,}63\ Tn/h$$

Se supone que el combustible es MDO, cuyo precio en 2015 era de aproximadamente 600 €/Tn:

$$Ahorro = 0{,}63Tn/h * 600€/Tn = 380{,}89€/h$$

Para amortizar la instalación del sistema SkySails, valorada en aprox. 500.000 €, se necesitarían 1.312,71 horas de funcionamiento (aproximadamente 55 días).

A continuación se muestra una tabla resumen de los datos obtenidos y las conclusiones del estudio.

Tabla 7. Granelero vs Petrolero.

	Petrolero VLCC	Granelero
Eslora (m)	330,36	154,11
Vel. Servicio (nudos)	13	14
Ahorro en combustible (€/h)	1.146	380,89
Tiempo de Amortización	436,30 h (aprox. 18 días)	1.312,71 h (aprox. 55 días)

Del estudio realizado se pueden obtener las siguientes ventajas:

- El ahorro económico es mayor para grandes velocidades.
- A velocidades similares, un buque de mayor tamaño tiene un mayor ahorro en combustible.
- Teniendo en cuenta solo la inversión inicial, se obtienen unos plazos de amortización bastante reducidos.

4. Conclusiones

Las cometas que se utilizan para la propulsión de buques son cometas tipo FOIL, y se ha demostrado que estas cometas tipo FOIL tienen un rendimiento muy superior a las velas tradicionales usadas para la propulsión.

Es conocido que el viento es la fuente de energía marina más barata, ecológica y potente, por lo que el sistema SkySails, con una instalación sencilla que permite su implantación tanto en buques de nueva construcción como en buques existentes, civiles o militares, podría ser una apuesta para el futuro. Este sistema podría ser un complemento del motor convencional utilizado para la propulsión.

El sistema está muy automatizado ya que las maniobras se pueden controlar desde un panel de control en el puente de gobierno, mientras que las escasas maniobras de cubierta necesarias, son sencillas y muy seguras.

Usando el sistema Skysails se estima un ahorro del 30% de combustible y un descenso del 20% del nivel de emisiones. A mayores velocidades de navegación y mayor tamaño del buque, mayor será el ahorro que se consiga.

Aunque es verdad que existe una alta inversión inicial (500.000€), se debe destacar que el período de recuperación de la inversión es corto.

No se debe olvidar, en detrimento del sistema, que su utilización depende de las condiciones meteorológicas durante la navegación.

Referencias

1. Oliveira J. Buques arrastrados por cometas. El bbc Skysails. https://vadebarcos.wordpress.com/2014/06/30/buques-arrastrados-cometas-bbc-beluga-skysails (2014, acceso 1 Julio 2016).

2. Krüger S. The Energy Efficiency Design Index, http://www.ship-efficiency.org/onTEAM/pdf/TUHH2009.pdf (2016, acceso 3 Julio 2016).

3. Talavera M. Skysails, sostenibilidad aplicada al mundo marítimo, http://www.motorpasionfuturo.com/industria/skysails-sostenibilidad-aplicada-al-mundo-maritimo (2016, acceso 15 Junio 2016).

4. SKYSAILS. *S*kysails - shipping's new power, http://www.skysails.info/english (2016, acceso 1 Julio 2016).

5. Nergiza. Buques de carga con tracción por cometas, http://nergiza.com/buques-de-carga-con-traccion-por-cometas (2016, acceso 1 Julio 2016).