

LA PROPULSIÓN MAGNETO–HIDRODINÁMICA

Julio Espinoza Llanos*

La búsqueda de energías ha sido una constante en el desarrollo de la propulsión naval, tanto por su importancia económica, como por características medio ambientales y técnicas. La energía magnética, y la hidrodinámica se están uniendo para obtener resultados sorprendentes, que a simple vista parecen sacados de la ficción.



Las primeras embarcaciones flotantes en el mundo fueron impulsadas y movidas por sistemas más sencillos de los que se encuentran ahora: extremidades, tablas planas, o incluso largas cañas que tocaban el fondo para moverse.

A lo largo de los años se recurrió a la construcción de embarcaciones cada vez con mayor calado, objeto obtener la mayor parte de su estructura sumergida bajo el agua y su centro de gravedad descendiera lo máximo posible. Así surgieron

las velas, el vapor y las hélices, la combustión interna, turbinas, motores eléctricos, propulsión nuclear y combinaciones de todas ellas.

Posteriormente se comenzó a experimentar y perfeccionar con los hidroplanos, los cuales están provistos por aletas inclinadas, que al dar avance sostienen gran parte del peso de la embarcación; esto, por efecto de la reacción que el agua ejerce contra ellas. Así, la embarcación se eleva literalmente sobre la superficie, en la que

* Teniente 2º. ING.NV.EL.

solo apoya las aletas y alcanza una velocidad muy superior a otro tipo de embarcaciones.

Hasta ahora han sido innumerables los avances hechos en la tecnología usada para propulsar y mejorar la eficiencia de las embarcaciones. Pero, existe una tecnología que posee un gran potencial y que no ha sido totalmente explotada para la propulsión de buques: la energía magnética, que aplicada a la propulsión de buques se denominaría energía magneto–hidrodinámica.

Actualmente, la energía magnética es conocida como una tecnología con gran potencial dentro del área marina. La propulsión magneto–hidrodinámica es la única tecnología que proporciona movimiento a través de magnetismo. Para quienes han visto la película la caza del octubre rojo (“The Hunt for Red October”), deben recordar esta tecnología, que también es famosa por su “Caterpillar Drive”, cuyo sistema permitía una interacción especial entre el agua y el campo magnético que permitía al submarino propulsarse magneto–hidrodinámicamente.

Breve historia

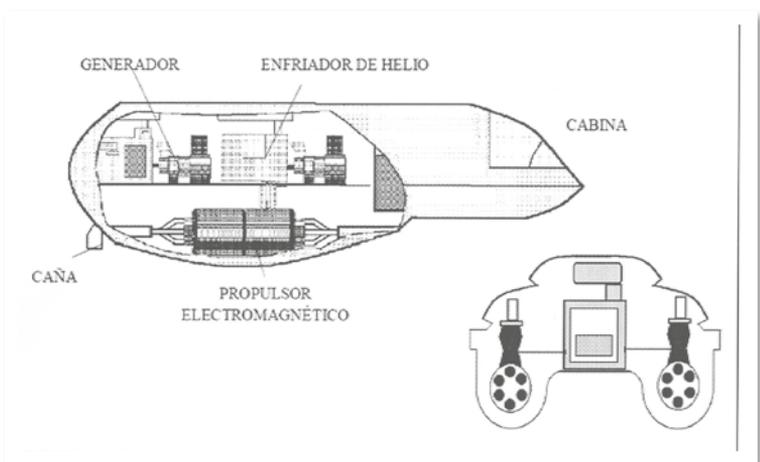
Los principios fundamentales fueron descritos por Faraday cerca del año 1830, pero no fue hasta 1959 que se alcanzó un nivel adecuado de comprensión de las propiedades de los conductores con cargas libres. La investigación llevada en Alemania, Francia, Gran Bretaña, Japón, Unión Soviética y Estados Unidos, permitió consolidar su experiencia; por la que, la energía térmica o bien la energía cinética del fluido es transformada directamente en energía eléctrica o viceversa, es decir, si existe una corriente inmersa en un fluido, se ejercerá una fuerza sobre éste, convirtiéndose el dispositivo en una bomba, cuyo fluido circulante es la única parte en movimiento.

El año 1858 el investigador Warren A. Rice patentó un sistema denominado

“Propulsion System” usando un campo eléctrico y un flujo magnético que lograba un empuje en el agua de mar ionizada, para propulsar un buque. En 1961 se aceptó esta patente y se constituyó como la aplicación precursora de la propulsión magneto–hidrodinámica (MHD).

Más adelante Stewart Way, de Westinghouse Electric Company, se propone desarrollar el primer vehículo propulsado mediante energía MHD, un submarino de unos 400 [kg] de desplazamiento y 3 [m] de eslora, alcanzando los 0,4 [m/s] de velocidad. No fue mucho; sin embargo, quedó la experiencia y el logro. No obstante, la perfección de este proyecto se detuvo al comprobar que si se instalaba un sistema similar al del modelo probado, en un submarino más grande, solamente el peso de las bobinas generadoras del campo serían alrededor de 500 000 [ton], lo cual resultaba ineficiente y burdo desde el punto de vista ingenieril, concluyendo finalmente en que se necesitaba un sistema de reducción notable de la sección de los conductores, de ahí nace la superconductividad.¹

La primera máquina MHD en el mundo fue empleada en 1992 y fue entonces cuando recibió la total atención del mundo. Ésta fue instalada en un buque japonés llamado “Yamamoto 1”, la cual consistía de dos máquinas MHD sin contener partes móviles, cautivando a todos por su especial arquitectura y sistema de propulsión.



Esquema de construcción de sistema propulsor “Yamamoto 1”.

1. Capacidad de algunos materiales para conducir corriente eléctrica sin resistencia o pérdida de energía bajo ciertas condiciones.

Aspectos técnicos

La propulsión MHD está basada en la interacción entre un campo magnético alimentado con corriente continua y un campo eléctrico generado por una diferencia de potencial entre dos electrodos dentro del agua de mar. La tecnología MHD se fundamenta en la ley del electromagnetismo, señalando que cuando un campo magnético y una corriente eléctrica actúan sobre un fluido, la interacción repulsiva entre ambos empuja el fluido en dirección perpendicular a ambos (al campo magnético y la corriente eléctrica, regla de la mano izquierda).

El ajuste de la potencia propulsora se obtiene variando la inducción magnética o la corriente del electrodo, siendo la mejor solución la modulación de la corriente del electrodo para ayudar al funcionamiento del inductor superconductor en modo continuo.

El agua de mar conduce la electricidad debido a su salinidad y conductividad del orden de los 0,22 [Ohm*m]. Dentro de un propulsor fluye el agua por tubos, arreglados de manera tal que parecen toberas de un cohete. Dichos tubos se encuentran envueltos en su contorno por bobinas superconductoras hechas de una aleación especial (puede ser niobio y titanio) sobre un núcleo de cobre. A su vez, se utiliza un refrigerante para las bobinas, que puede ser Helio, a una temperatura de -452,13 [°F], manteniéndolas en un estado de superconductividad, es decir, casi no existe resistencia al flujo de la electricidad.

En un campo eléctrico, la definición de intensidad de campo eléctrico muestra que la fuerza sobre una partícula cargada es:

$$F_e = Q * E$$

Q: Carga eléctrica.

E: Intensidad de campo eléctrico.

Fe: Fuerza debido a campo eléctrico.

La fuerza se encuentra en la misma dirección que la intensidad del campo eléctrico (cargas positivas) y es directamente proporcional a E y Q. Si la carga está en movimiento, la fuerza en cualquier punto de su trayectoria estará dada también por la ecuación anterior.

Además, se sabe que una partícula cargada y en movimiento, en un campo magnético de densidad de flujo B, experimenta una fuerza cuya magnitud es proporcional al producto de las magnitudes de la carga (Q), su velocidad v, la densidad de flujo (B) y el seno del ángulo comprendido entre los dos vectores. La dirección de la fuerza es perpendicular a v y B y está dada por un vector unitario en la dirección de (v x B). Esta fuerza puede expresarse de la siguiente manera:

$$F = (Q * v) \times B$$

F: Fuerza debido a campo magnético.

Q: Carga eléctrica.

B: Densidad de flujo magnético.

Es decir, que la velocidad de la partícula será constante, aun cuando la fuerza será perpendicular a la dirección del movimiento de la partícula.

Esto muestra una diferencia en el efecto de los campos magnéticos y eléctricos sobre partículas cargadas.

En fin, la fuerza sobre una partícula en movimiento, debido a campos eléctricos y magnéticos combinados, se obtiene fácilmente por superposición de estas dos ecuaciones:

$$F = Q(E + v \times B)$$

Esta ecuación se conoce como la ecuación de la fuerza de Lorentz, y su empleo se requiere para la determinación de las características del fluido en un MHD, o en general, para el movimiento de partículas cargadas en campos eléctricos y magnéticos combinados.

Consideraciones finales

Actualmente la propulsión MHD requiere elevados campos magnéticos para que el rendimiento del propulsor sea interesante, requiriendo superconductores que mejoren notablemente esta capacidad. Pero además, no solo se deberá desarrollar superconductores, sino que también requerirá materiales capaces de soportar elevadísimos amperajes, todo

esto a medida que se incrementa el porte de la embarcación.

Esta tecnología tiene una serie de ventajas :

- Permitirá a distintas embarcaciones viajar a altas velocidades ya que no se tendrá el problema de la cavitación.
- Al eliminar la hélice, línea de ejes y cajas de engranajes, se disminuyen las emisiones acústicas.
- Existirá un bajo nivel de mantenimiento comparado con los sistemas de propulsión convencionales.
- No se necesita un enlace entre la unidad propulsora y una hélice.
- Se mejora la estanqueidad, al no contar con juntas estancas giratorias o ejes que atraviesen el casco.
- La marcha avante o atrás se puede obtener al cambiar la dirección del campo eléctrico o inducción magnética.
- Se puede considerar la supresión del timón, controlando la alimentación de los inductores repartidos por la periferia del casco del buque y mejorar así las formas hidrodinámicas de los buques.

Las desventajas que presenta son:

- Existe una señal magnética residual debido a las fugas de campo de inducción magnética del propulsor. Actualmente, es posible detectar campos magnéticos a distancia. (MAD: Detectores de anomalías magnéticas).
- Existen residuos químicos provenientes de la descomposición del agua de mar (electrólisis), ya que cuando una corriente eléctrica

continua (CC) circula entre dos electrodos, se genera un fenómeno de electrólisis con desprendimiento de gas, consistente de una formación de burbujas de oxígeno o de cloro, según la intensidad de la corriente frente al ánodo y formación de hidrógeno frente al cátodo.

- La construcción de sus magnetos, más eficientes y livianos, es un problema a considerar, a pesar que se han construido modelos con rendimientos regulares.
- El magnetismo de la tierra tiene influencia en el propulsor MHD, por lo que se requiere un gran flujo magnético a fin de contrarrestar el mismo.
- La tecnología MHD para buques no puede operar en áreas de agua dulce, ya que no es un buen conductor como se requiere.

Conclusiones

Dentro del ámbito naval es una alternativa importante para su estudio, desarrollo y comprensión, ya que si bien en este caso se habló de un sistema propulsor, también puede ser utilizado como generador, como motor de inducción (IMHD) con corrientes alternas inducidas, generadores con paneles solares, entre otros.

Desde el punto de vista medio ambiental, también representa una forma limpia de propulsión, como se nombró en algunas ventajas y para un futuro cercano, es una muy buena alternativa que se debe tener en consideración para un desarrollo y mejora del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hayt William, *Teoría electromagnética*, 5^{ta} Edición, Edit. Mc Graw Hill, U.S.A.
2. AKAGI, Shinsuke. FUJITA, Kiko & SOGA, Kazuo (1994) *Optimal design of thruster system for superconducting electromagnetic propulsion ship. Proceedings of the 5th international marine design conference*, 13.
3. BOIX, Oriol; CÓRCOLES, Felipe; Francisco, J. SUELVES; SAINZ, Luis (2002). *Tecnología eléctrica*. Editorial Técnica CEYSA.
4. CALTRON, J.S. (1994). *Marine propellers and propulsion*. Manchester: Butterworth Heinemann, ltd.