

# PROPULSIÓN MAGNETOHIDRODINÁMICA PARA EMBARCACIONES

## 1. INTRODUCCIÓN.

Tanto en la naturaleza como en los procesos industriales, podemos observar a los campos magnéticos influenciar en el comportamiento de fluidos y flujos. En la industria metalúrgica, los campos magnéticos son usados para agitar, bombear, levitar y calentar metales líquidos. Los campos magnéticos de la tierra, que protegen a la superficie de la letal radiación solar, son generados por el movimiento del núcleo líquido de la tierra. Las manchas y erupciones solares, son generadas por el campo magnético solar y, el campo magnético galáctico que influye en la formación de estrellas a partir de las nubes de gas interestelar. Para todos estos fenómenos, se usa la palabra magnetohidrodinámica, en donde el campo magnético  $B$  y el campo de velocidad  $v$  están acoplados, dado que hay un fluido conductor de electricidad y no magnético, por ejemplo, metales líquidos, gases ionizados calientes (plasmas) o electrolitos fuertes. El campo magnético puede inducir corrientes en fluido conductor en movimiento, lo que a su vez crea fuerzas en el fluido y cambia el campo magnético mismo.

## 2. ANTECEDENTES.

En 1991, en Japón, se construyó el prototipo de un buque llamado “Yamato 1”, desarrollado por la Ship & Ocean Foundation, siendo esta la primera embarcación de propulsión magnetohidrodinámica, impulsándose por primera vez en el puerto de Kobe en junio del 1992.



Fig. 1. Yamato 1

### 3. PROPULSIÓN MAGNETOHIDRODINÁMICA.

La fuerza actúa sobre una partícula en movimiento, moviéndose con velocidad  $\vec{v}$ , debida a la acción de campos eléctricos y magnéticos combinados, se obtiene fácilmente por superposición.

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

Esta ecuación es conocida como la ecuación de la fuerza de Lorentz, y se emplea para determinar las órbitas del electrón en el magnetrón, trayectorias del protón en el ciclotrón, de las características del fluido en el generador magnetohidrodinámico; en general, en el movimiento de partículas cargadas en campos eléctricos y magnéticos combinados. La propulsión magnetohidrodinámica (MHD) se basa en una interacción entre el campo magnético producido por los inductores alimentados en corriente continua y el campo eléctrico generado por una diferencia de potencial entre dos electrodos dentro del agua de mar.

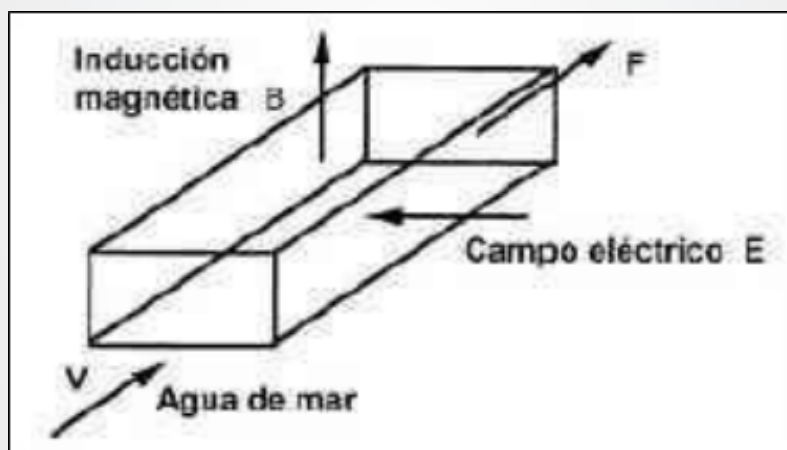


Fig. 2. Esquema de los campos eléctrico y magnético actuando sobre el agua de mar

A diferencia de los métodos convencionales de propulsión de embarcaciones, ya sea por medio de hélices o paletas propulsoras, se usa un chorro de agua producido por un sistema de propulsión magnetohidrodinámico. Dicha tecnología está basada en la ley fundamental del electromagnetismo que explica que cuando un campo magnético y una corriente eléctrica actúan sobre un fluido, la interacción repulsiva entre ambos, empuja al fluido en dirección perpendicular a ambos (regla de la mano izquierda de Fleming).

En un dispositivo en el cual el conductor por el que circula la corriente es un fluido, por ejemplo, el agua de mar (hidro), se produce movimiento (dinámico) de dicho fluido, debido a la interacción del campo magnético (magneto) y a la corriente que circula por el agua. A dicho dispositivo se le conoce como un motor magnetohidrodinámico. Los motores magnetohidrodinámicos trabajan con campos eléctricos y magnéticos constantes con el tiempo (corriente continua).

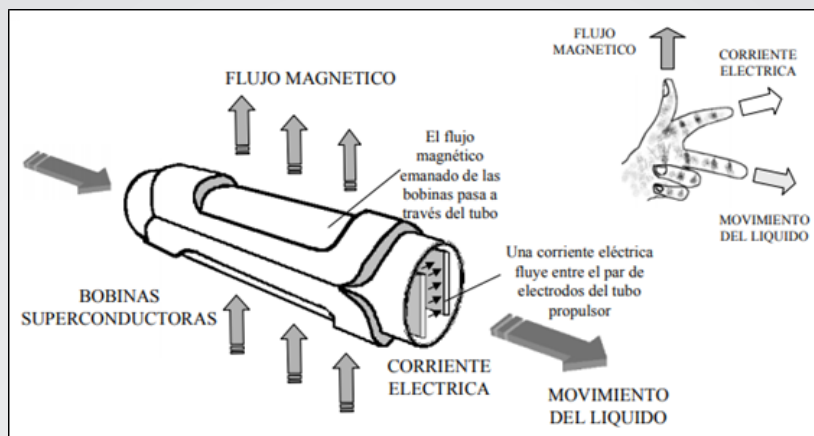


Fig. 3. La propulsión magnetohidrodinámica y la regla de la mano izquierda.

Este principio es posible gracias al agua de mar, que conduce la electricidad debido a la sal que contiene, otorgándole una conductividad eléctrica del orden de  $0.22 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ . Dentro de cada propulsor, el agua fluye por tubos, posicionados de tal forma como si fueran las toberas de un cohete. Los tubos se encuentran envueltos en su contorno por bobinas superconductoras hechas de una aleación especial (niobio y titanio) sobre un núcleo de cobre. El helio líquido puede ser usado como refrigerante para las bobinas a una temperatura de  $-452.13 \text{ }^\circ\text{F}$ , solo unos pocos grados sobre el cero absoluto, manteniéndolas en un estado de superconductividad donde casi no existe resistencia al flujo de la electricidad.

El desarrollo de embarcaciones propulsadas por esta tecnología se vio afectada, ya que es imprescindible tener inducciones magnéticas importantes (5 Teslas) dentro de grandes volúmenes (centenares de  $\text{m}^3$ ) para obtener un rendimiento aceptable. Por otro lado, el magnetismo de la tierra tiene influencia en el propulsor magnetohidrodinámico, por lo que se requiere de un gran flujo magnético generado para poder contrarrestar el mismo.

#### 4. CONCLUSIÓN.

Sin duda alguna, entre las ventajas que se obtienen con el uso de la propulsión por motores magnetohidrodinámicos se tiene:

- Cero emisiones de gases contaminantes a diferencia de las embarcaciones convencionales de la actualidad, que hacen uso de combustibles fósiles para el funcionamiento de sus motores.
- El silencio que se obtendría en la navegación.
- Bajo nivel de mantenimiento comparado con los sistemas de propulsión convencionales.

Entre las desventajas, se tiene:

- Limitación de las embarcaciones para navegar sobre aguas dulces, ya que ésta no conduce tan bien la electricidad a diferencia de en el agua salada.
- El magnetismo de la tierra, que implica generar un gran flujo magnético a fin de contrarrestar el mismo.
- Alto grado de corrosión del agua salada en los electrodos.
- Dificultad actualmente para construir magnetos más eficientes y livianos, debido al bajo rendimiento aún obtenido, puesto que el magneto consume más del 60% de la fuerza electromotriz generada.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Allain, R. (19 de Enero de 2018). Wired. Obtenido de <https://www.wired.com/story/the-magnetohydrodynamic-drive-is-realand-you-can-build-one/>
- Martínez, I. d. (2011). Nuevo Sistema de Propulsión Naval. Obtenido de <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/12273/DeLaLlanaMartinez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moreau, R. (s.f.). Fluid Mechanics and its applications. Obtenido de [http://norlx51.nordita.org/~brandenb/AstroDyn/progress/material/Molokov\\_Moreau\\_ea\\_2007.pdf](http://norlx51.nordita.org/~brandenb/AstroDyn/progress/material/Molokov_Moreau_ea_2007.pdf)
- Nakariakov, V. (2014). Introduction to MHD. Obtenido de [https://warwick.ac.uk/fac/sci/physics/research/cfsa/people/valery/teaching/khu\\_mhd/KHU\\_mhd\\_handout.pdf](https://warwick.ac.uk/fac/sci/physics/research/cfsa/people/valery/teaching/khu_mhd/KHU_mhd_handout.pdf)
- NASA. (s.f.). The superconducting MHD-Propelled Ship Yamato 1. Obtenido de <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19960000249.pdf>
- Schafelner, A. (Marzo de 2016). Introduction to Magnetohydrodynamics. Obtenido de <https://www.numa.uni-linz.ac.at/Teaching/Bachelor/schafelner-bakk.pdf>

**Autor:** Ing. César Moreno Tarazona, Analista de I+D+i

**Edición:** Bach. Francie Salazar Mandamiento, Responsable de Medios e Imagen Institucional