

## MODELO ACTUAL DE LA LÓGICA DE CONTROL PARA UNA PLANTA DE PROPULSIÓN NAVAL TIPO CODLAG

### CURRENT MODEL OF THE CONTROL LOGIC FOR A CODLAG TYPE NAVAL PROPULSION PLANT

Chafuelán-Vera Ariel Humberto

Investigador Independiente. Manta, Ecuador.  
Correo: humbertochafuelanv@hotmail.com

De la Rosa-Rosales Yusnier

Investigador Independiente. Manta, Ecuador.  
Correo: yusnier\_delarosa45@hotmail.com

#### RESUMEN

El documento presenta un enfoque bibliográfico para simular el comportamiento de una planta de propulsión tipo CODLAG en situaciones normales o transitorias, junto a ello las condiciones de diseño que se utilizará para el entorno del sistema de control y el estudio general de las plantas de propulsión de barcos. Esta clase de barcos tiene un nuevo concepto de planta de propulsión: el tipo combinado “diésel, electric and gas” (CODLAG), con engranaje único y dos líneas de eje. En el documento se informa una comparación entre los resultados de los transitorios de simulación, los datos de referencia para evaluar la relación óptima en el uso de recursos y prevención de fallas. El modelo de simulación se realizará mediante el uso de plataformas de software y hardware que permitan el estudio del comportamiento del buque en condiciones transitorias (aceleración, desaceleración, etc.) y en estado estacionario (navegación a velocidad constante), así como el análisis de la interacción mutua entre todos los elementos involucrados.

**Palabras claves:** CODLAG, lógica de propulsión, simulación, transitorio, estacionario.

#### ABSTRACT

The document presents a bibliographical approach to simulate the behavior of a CODLAG-type propulsion plant in normal or transitory situations, together with the design conditions that will be used for the control system environment and the general study of the propulsion plants of boats. This class of ships has a new concept of propulsion plant: the combined type “diesel, electric and gas” (CODLAG), with single gear and two shaft lines. The document reports a comparison between the results of the simulation transients, the reference data to evaluate the optimal relationship in the use of resources and failure prevention. The simulation model will be carried out through the use of software and hardware platforms that allow the study of the behavior of the ship in transient conditions (acceleration, deceleration, etc.) and in a stationary state (navigation at constant speed), as well as the analysis of the mutual interaction between all the elements involved.

**Keywords:** CODLAG, propulsion logic, simulation, transient, stationary.

## 1. INTRODUCCIÓN

El diseño y la optimización de las plantas de control de la propulsión es una parte crucial del diseño de barcos. De hecho, el comportamiento de la planta de propulsión está muy influenciado por la dinámica del sistema de control. La aceleración, la desaceleración, la parada forzos, los giros bruscos son algunos ejemplos de condiciones transitorias que una planta de propulsión debe soportar mientras mantiene un rendimiento óptimo sin reducir la seguridad y la fiabilidad del barco. En este proyecto de investigación se discuten la metodología y los modelos de simulación necesarios para diseñar las lógicas de control de propulsión para una innovadora planta de propulsión CODLAG. La metodología se basa en el RT-HIL y consiste en el desarrollo de las lógicas de control de propulsión en un entorno virtual.

En los últimos años, los sistemas de propulsión de barcos han experimentado importantes innovaciones para satisfacer las necesidades del propietario del barco, satisfacer las normas obligatorias en términos de seguridad e impactos medioambientales y reducir el consumo de fuel-oil. La creciente complejidad de estos nuevos sistemas de propulsión marina, como el objetivo CODLAG de este estudio, incluye diferentes tipos de motores con potencias y velocidades de rotación muy diferentes. Esto conduce necesariamente al desarrollo de estrategias de control de propulsión específicas. El control de propulsión debería diseñarse para gestionar un sistema tan complejo de forma segura y económica, en todas las condiciones previsibles. Además, los sistemas de control de la propulsión también deben poder garantizar el mejor rendimiento de la instalación de propulsión en todas las condiciones; que es lo que se pretende poder alcanzar.

El tiempo total de diseño se reduce y esto permite minimizar el tiempo y el costo relacionado de las pruebas en el mar para la puesta en servicio final. Gracias a esta metodología, es posible probar el sistema de control en diferentes condiciones operativas fuera de línea, en tierra en la oficina, sin riesgos para el sistema real.

## 2. PROPULSIÓN NAVAL

Un sistema de propulsión para Martínez, (2019) consta de tres partes: una fuente de energía (llevada a bordo como energía animal o combustible, o recogida del exterior como energía eólica o solar), un motor que la transforma en una forma mecánica y el propulsor o propulsor (que empuja el agua circundante hacia atrás).

Un híbrido diésel o gas (CODOG) es un sistema de propulsión para barcos cuya velocidad máxima debe ser muy superior a su velocidad de crucero, especialmente en fragatas modernas o buques de guerra como las fragatas.

Para cada eje de la hélice hay un motor Diesel para velocidad de crucero y una turbina de gas de engranajes para tablero de alta velocidad. Ambos están conectados al eje con un embrague; solo un sistema impulsa la embarcación y el sistema CODAG puede utilizar la potencia combinada de ambos (Villa y Pernas, 2020).

La ventaja de CODOG en comparación con CODAG es que la transmisión es más simple, pero requiere una turbina de gas más potente o adicional para lograr la misma potencia máxima. La desventaja de CODOG es que el consumo de combustible a alta velocidad es peor que el de CODAG.

El Diesel Combinado y Gas Natural (CODAG) es un sistema de propulsión para barcos que requieren una velocidad máxima mucho más rápida que la velocidad de crucero, especialmente para fragatas modernas o buques de guerra como las fragatas.

El sistema CODAG consiste en un motor diésel para crucero y una turbina de gas que se puede encender para transporte de alta velocidad. En la mayoría de los casos, la potencia de salida del motor diésel solo es tan diferente de la potencia de salida del motor diésel y la potencia de la turbina combinadas que la hélice de paso controlable no puede limitar la rotación, por lo que el motor diésel no puede seguir funcionando sin cambiar su relación de transmisión. Por lo tanto, se requiere una caja de cambios especial de varias velocidades. Esto contrasta marcadamente con un sistema híbrido diésel o de gas natural (CODOG), que

acopla el motor diésel al eje con una simple caja de cambios de relación fija, pero desconecta el motor diésel cuando se energiza la turbina (BT, 2014).

En comparación con una planta de energía diésel pura con la misma potencia máxima, este sistema de propulsión ocupa menos espacio porque se puede usar un motor más pequeño y la turbina de gas y la caja de cambios no requieren tanto espacio adicional. Aún así, según Grupel, (2020) conserva la alta eficiencia de combustible de un motor diésel cuando viaja, lo que permite una mayor autonomía y menores costos de combustible que una turbina de gas sola. Por otro lado, se requieren transmisiones más complejas, pesadas y engorrosas.

### **3. CODLAD**

CODLAD (combinado con diésel- eléctrico y diésel) es un sistema de propulsión naval en el que un motor eléctrico y un motor diésel actúan sobre una única hélice. El tren de transmisión es responsable de que uno o dos motores actúen sobre el eje de transmisión.

El sistema de propulsión CODLAD se basa en el uso de motores eléctricos conectados directamente a los ejes de las hélices (normalmente dos). El motor eléctrico es alimentado por un generador diésel y tiene una velocidad superior, al igual que ocurre en el sistema de propulsión CODAD, intercalando un motor diésel de mayor potencia que se desconecta de la línea de transmisión para recuperar la velocidad de crucero.

El sistema utiliza motores diésel para la propulsión y la generación de energía para los servicios a bordo, lo que reduce significativamente los costos, ya que se utilizan menos motores diésel para diversos servicios marítimos y los motores eléctricos requieren menos mantenimiento. Además, el tren motriz utilizado para acoplar y desacoplar el sistema diésel-eléctrico del motor diésel tiene velocidades más altas porque el motor eléctrico puede funcionar de manera más eficiente a mayores revoluciones y está conectado directamente al eje de la hélice (BAE Systems, 2013).

#### **4. CODLAG**

Combinado diésel eléctrico gas (CODLAG) es una mejora del sistema de propulsión combinado diésel y gas de los buques. Una variante denominada sistema combinado diésel-eléctrico o de gas (CODLOG) contiene los mismos elementos básicos, pero no permite el uso simultáneo de fuentes de accionamiento alternativas.

Los sistemas CODLAG utilizan motores eléctricos conectados a ejes de hélice (generalmente 2). El motor eléctrico es alimentado por un generador diésel. Para velocidades más altas, la turbina de gas impulsa el eje a través de una caja de cambios de conexión cruzada; para velocidades de crucero, la línea de transmisión de la turbina se desconecta del embrague (Sirus, Pedram, y Rahimi, 2014). Esta disposición, que combina motores diésel para la propulsión y la generación de energía, reduce en gran medida los costos de servicio, ya que reduce la cantidad de motores diésel y motores eléctricos diferentes y requiere un mantenimiento significativamente menor. Además, el motor eléctrico puede funcionar de manera eficiente en un amplio rango de revoluciones y se puede conectar directamente al eje de transmisión, por lo que se puede usar una caja de cambios más simple para combinar la salida mecánica de la turbina y el sistema eléctrico diésel.

#### **5. LÓGICAS DE PROPULSIÓN Y SIMULACIÓN**

El modelo de simulación será una plataforma de software que permita el desarrollo del estudio del comportamiento del buque en condiciones transitorias y en navegación a velocidad constante, así como el análisis de la interacción mutua entre todos los elementos involucrados. Para alcanzar este objetivo, se unieron tres macrosistemas para describir adecuadamente el comportamiento global del barco: la maniobrabilidad del barco, la planta de propulsión y el sistema de control. Cada macro sistema está compuesto por diferentes elementos; cada uno de estos elementos ha sido esquematizado y modelado utilizando las ecuaciones diferenciales que rigen su comportamiento físico y representan sus funciones.

La subdivisión no es completamente precisa, porque es difícil definir la pertenencia del elemento a un área macro específica, y algunos sistemas están en el límite. Por ejemplo, la hélice puede verse asociada a la maniobrabilidad ya que proporciona el empuje necesario para alcanzar una determinada velocidad del barco, pero también puede incluirse en el sistema de propulsión de la planta porque determina la carga del motor. Los diferentes submodelos han sido estudiados y desarrollados con diferentes grados de detalle. La forma más sencilla de esquematizar un sistema es mediante el uso de una tabla de parámetros y ecuaciones algebraicas que identifiquen el comportamiento del sistema en condiciones de estado estacionario (Viviani et al., 2019).

Por lo general, la mayoría de los datos necesarios provienen de pruebas de fabricación del sistema. El enfoque más complejo y realista, utilizado para la mayoría de los elementos, es modelar el sistema con sus ecuaciones físicas, tanto algebraicas como diferenciales. Con este enfoque, se debe tener en cuenta un gran conjunto de parámetros, y esto en sí mismo puede ser un obstáculo difícil. Se podría obtener un enfoque intermedio fusionando modelos tabulares y ecuaciones algebraicas/diferenciales para producir un modelo cuasi estático (Altosole & Figari, 2011; Altosole et al., 2010; Viviani et al., 2008).

## 6. CONCLUSIONES

El enfoque de análisis del sistema actual, denominado (sistema de sistemas) permite el examen de la interacción mutua de todos los subsistemas involucrados (Turbina de gas, motor eléctrico, mecánico, rampas. Hélices y controladora). Esto permite evaluar y medir el uso óptimo de recursos para el funcionamiento correcto del sistema. Este tipo de simulación permite una retroalimentación realista de los sistemas de barcos que de otro modo no estaría disponible con las técnicas de simulación estándar haciendo posible la prevención de fallas anticipándose a las pruebas de mar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altosole, M., & Figari, M. (2011). Métodos simples efectivos para el modelado numérico de motores marinos en el diseño de sistemas de control de propulsión de barcos. *Journal of Naval Architecture and Marine Engineering* (págs. 129-141). DOI 10.3329/jname.v8i2.7366.
- Altosole, M., Benvenuto, G., & Campora, U. (2010). Modelado numérico de los gobernadores de motores de una planta de propulsión CODLAG. *Actas de la 10.ª Conferencia Internacional sobre Ciencias y Tecnologías Marinas, Mar Negro* (pág. 173 178). Marva, Bulgaria: ISSN: 1314-0957.
- BAE Systems. (2013). Preguntas y respuestas con BAE Systems sobre la actualización del diseño de la fragata tipo 26 en Euronaval 2012.
- BT. (2014). Sistemas de propulsión naval mediante la utilización de motores diésel y turbinas de gas. Obtenido de Buenas Tareas: <https://www.buenastareas.com/ensayos/Sistemas-De-Propulsi%C3%B3n-Naval-Mediante-La/55790112.html>
- Grupel. (2020). ¿Cómo funciona un generador diésel? Obtenido de Grupel: <https://grupel.eu/es/faqs/como-funciona-un-generador-diesel>
- Martínez, I. (2019). MARINE PROPULSION. Obtenido de Isidoro Martínez UPM: <http://imartinez.etsiae.upm.es/~isidoro/bk3/c17/Marine%20propulsion.pdf>
- Sirus, S., Pedram, E., & Rahimi, M. (2014). SISTEMA DE PROPULSIÓN HÍBRIDO Bandar Abbas 1 PARA NUEVA GENERACIÓN DE BUQUES.
- Villa, R., & Pernas, J. (2020). Propulsión CODOG en buques de guerra. *Dialnet*, Nº. 994, 2020, ISSN 0020-1073.
- Viviani, M., Altosole, M., Cerruti, M., & Menna, A. (2008). Marine Propulsion System Dynamics. 6th International Conference On High-Performance Marine Vehicles. Naples, Italia: Hiper.
- Viviani, M., Dubbioso, G., Soave, M., & Notaro, C. (2019). Hydrodynamic coefficients regressions analysis and application to twin screw vessels.