Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 19/12/2025 | Aceptación: 22/12/2025 | Publicación: 25/12/2025

Eficiencia energética y descarbonización de buques marítimos y de alta mar: integración entre diseño, operación y decisión de inversión.

Eficiencia energética y descarbonización de buques marítimos y de alta mar: integración de decisiones de diseño, operación e inversión.

Eficiencia energética y descarbonización de buques marítimos: integración de decisiones de diseño, operaciones e inversión.

Eduardo Brandão Tormento

Ingeniero naval y oceánico egresado de la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ), con un MBA en Gestión de Proyectos y un MBA en Finanzas del IBMEC.

RESUMEN

La descarbonización del transporte marítimo requiere decisiones que van más allá de la simple sustitución de combustibles. Este artículo analiza la eficiencia energética de los buques marítimos y de alta mar como un problema integrado de ingeniería, operación e inversión. La investigación adopta un enfoque cualitativo y bibliográfico-documental, respaldado por la Estrategia 2023 de la Organización Marítima Internacional para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, datos de la UNCTAD y estudios recientes sobre optimización de velocidad, ruta y trimado, sistemas híbridos y combustibles alternativos. El análisis muestra que las medidas operativas y técnicas pueden generar beneficios significativos, pero sus resultados dependen del perfil de la misión, la curva de carga, las condiciones ambientales, la disponibilidad de energía y el ciclo de vida del activo. En los buques de alta mar, en particular aquellos con propulsión diésel-eléctrica y posicionamiento dinámico, la alta variabilidad de potencia hace que la gestión energética sea especialmente sensible al despacho y almacenamiento de generadores. Se propone un marco de decisión que combina el rendimiento hidrodinámico, el perfil operativo, la seguridad, el CAPEX, el OPEX, las emisiones y el riesgo tecnológico. Se concluye que la transición hacia una economía baja en carbono es más sólida cuando se evalúan conjuntamente la eficiencia energética, la elección del combustible y la estrategia de inversión.

Palabras clave: ingeniería naval; eficiencia energética; descarbonización marítima; buques de alta mar; combustibles alternativos; gestión energética.

ABSTRACTO

La descarbonización del transporte marítimo exige decisiones que van más allá de la simple sustitución de combustibles. Este artículo analiza la eficiencia energética de los buques como un problema integrado de ingeniería, operación e inversión. El estudio adopta un enfoque cualitativo, bibliográfico y documental, basado en la Estrategia de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de la Organización Marítima Internacional (OMI) para 2023, datos de la UNCTAD e investigaciones recientes sobre velocidad, rutas, trimado, sistemas de propulsión híbridos y combustibles alternativos. El análisis indica que las medidas operativas y técnicas pueden generar beneficios significativos, pero su rendimiento depende del perfil de la misión, la curva de carga, las condiciones ambientales, la disponibilidad de energía y el ciclo de vida del activ
Los buques de alta mar, en particular las unidades diésel-eléctricas que operan con posicionamiento dinámico, presentan demandas de potencia muy variables y, por lo tanto, requieren una cuidadosa gestión de los generadores y una evaluación exhaustiva del almacenamiento de energía. Se propone una estructura de decisión que combina el rendimiento hidrodinámico, el perfil operativo, la seguridad, los gastos de capital (CAPEX), los gastos operativos (OPEX), las emisiones y el riesgo tecnológico. El artículo concluye que las estrategias de transición hacia una economía baja en carbono son más sólidas cuando se evalúan conjuntamente la eficiencia energética, la elección del combustible y las decisiones de inversión.
Palabras clave: ingeniería naval; eficiencia energética; descarbonización marítima; buques de alta mar; combustibles alternativos; gestión energética.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 19/12/2025 | Aceptación: 22/12/2025 | Publicación: 25/12/2025

INTRODUCCIÓN

Más del 80% del volumen del comercio internacional de mercancías se transporta por mar.
lo que convierte el desempeño de la flota mercante en una parte relevante de la infraestructura económica mundial.
(UNCTAD, 2025). Al mismo tiempo, el sector se enfrenta a una transición regulatoria y tecnológica que
requiere una reducción progresiva de las emisiones sin comprometer la seguridad, la disponibilidad y
competitividad.

La Estrategia IMO 2023 establece, entre otros niveles de ambición, una reducción de al menos el 40%.
de la intensidad de carbono del transporte marítimo internacional para 2030, en comparación con 2008,
y la consecución de cero emisiones netas para alrededor de 2050. La estrategia también introduce puntos de control.
Directrices para las emisiones totales anuales de gases de efecto invernadero: una reducción de al menos el 20 %.
El objetivo es alcanzar el 30% para 2030 y al menos el 70%, con miras a llegar al 80% para 2040 (OMI, 2023).

Estos objetivos aumentan la presión sobre las decisiones de diseño y operativas. Un buque construido
Hoy en día podría permanecer en servicio durante décadas, resistiendo cambios regulatorios y de precios.
infraestructura energética y de suministro. Por lo tanto, la elección del sistema de propulsión ya no es solo una cuestión de...
Una decisión inicial sobre el desempeño se convierte entonces en una decisión que implica la exposición a riesgos tecnológicos y regulatorios.

Los buques offshore añaden complejidad al problema. Buques de suministro de plataformas, anclas
Los buques de suministro de remolcadores y las unidades especializadas pueden alternar el tránsito, la espera y la operación en
Posicionamiento dinámico y picos de demanda. Esta variabilidad implica que la eficiencia no es...
Depende no solo del consumo específico de combustible de un motor en un punto nominal, sino también de su comportamiento.
del sistema a lo largo de toda la misión.

El objetivo de este artículo es analizar cómo las medidas de eficiencia energética, los sistemas híbridos,
La optimización operativa y los combustibles alternativos pueden integrarse en una decisión de
Ingeniería económicamente viable. El objetivo no es indicar una tecnología de aplicación universal.
superior, pero identifique las variables que deben evaluarse en conjunto.

Figura 1. Puntos de control que indican reducciones en las emisiones anuales totales de GEI procedentes del transporte.
Tráfico marítimo internacional en relación con 2008. Fuente: elaboración propia basada en datos de la OMI (2023).

2. METODOLOGÍA

La investigación es cualitativa, exploratoria y bibliográfica-documental. Se dio prioridad a las fuentes...
Documentos institucionales y técnicos publicados hasta julio de 2025, incluida la Estrategia IMO 2023, literatura
Investigación académica sobre eficiencia energética y sistemas híbridos y la hoja de ruta del Departamento de Energía de EE. UU.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 19/12/2025 | Aceptación: 22/12/2025 | Publicación: 25/12/2025

sobre la operación y el mantenimiento de activos eólicos marinos. La literatura sobre descarbonización y
El término "combustibles alternativos" se utiliza como respaldo documental para el sector, y no como...
evidencia de la experiencia profesional específica del autor en estas áreas.
La Estrategia IMO 2023 se utiliza como referencia normativa para los objetivos de descarbonización.
El contexto de la integridad y la gestión de activos en alta mar: la hoja de ruta del Departamento de Energía de Estados Unidos.
(2024) se utiliza para abordar la confiabilidad, el mantenimiento, la inspección, los costos, los riesgos, la digitalización,
seguridad y rendimiento. Aunque el documento se centra en la energía eólica marina, sus principios de
La operación y el mantenimiento, así como la integridad de los activos, ofrecen una referencia técnica transferible para el análisis de sistemas.
en alta mar. Se seleccionaron estudios académicos por su relación directa con variables de ingeniería.
tales como velocidad, ajuste, ruta, distribución de potencia y almacenamiento de energía.
Para los buques de alta mar, se considera el trabajo de Lindstad, Eskeland y Rialland (2017).
sobre baterías en buques de apoyo en alta mar, y un estudio publicado en Applied Energy en 2024 sobre
Optimización de los sistemas de despacho y almacenamiento en buques de suministro a plataformas petrolíferas mediante datos reales.
Estos estudios no se generalizan a toda la flota, sino que se utilizan para demostrar mecanismos.
aspectos técnicos relevantes.
El análisis de los combustibles alternativos se presenta como una revisión de la literatura técnica y normativa.
Disponible hasta julio de 2025, con especial énfasis en la Estrategia IMO 2023 y las fuentes sectoriales anteriores a esa fecha.
límite de tiempo adoptado. Estas fuentes se utilizan para mapear la madurez, los requisitos de seguridad,
infraestructura e incertidumbre tecnológica, sin atribuir experiencia profesional específica al autor en
desarrollo o implementación de combustibles alternativos.
Los resultados se organizan en cuatro dimensiones: eficiencia hidrodinámica y operativa,
Arquitectura energética, combustibles e infraestructura, y viabilidad económica y financiera. Integración.
Estas dimensiones sustentan la estructura de toma de decisiones propuesta.

3. EFICIENCIA ANTES DEL SUSTITUCIÓN DEL COMBUSTIBLE

La descarbonización puede analizarse desde dos perspectivas complementarias: la reducción de la energía necesaria.
ejecutar una misión y reducir la intensidad de las emisiones de la energía consumida. El primero
La parte frontal incluye velocidad, ruta, trimado, estado del casco y la hélice, gestión de potencia y planificación.
La primera se refiere a la tecnología operativa. La segunda se refiere a los combustibles, la electrificación y las nuevas arquitecturas de propulsión.
Considerar el combustible como la única variable puede cambiar el enfoque del problema. Un combustible con menos...
La intensidad de carbono no elimina las pérdidas hidrodinámicas, el funcionamiento ineficiente del motor o
Dimensionamiento inadecuado. Cuanto menor sea la demanda energética del buque, menor tenderá a ser.
ser la cantidad de combustible o energía alternativa necesaria para realizar la misma función.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
ICMOS - Revista Científica Multidisciplinaria
Conocimiento. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 19/12/2025 | Aceptación: 22/12/2025 | Publicación: 25/12/2025

Estudios recientes muestran el potencial de optimización operativa. Luo, Yan y Wang (2024)
Desarrollaron un modelo para optimizar la velocidad en condiciones climáticas dinámicas y
Informaron de una reducción del 7,34% en el consumo en comparación con un modelo de velocidad estática.
El resultado es específico del buque y de las condiciones estudiadas, pero demuestra la importancia de integrar...

La meteorología desempeña un papel importante en la toma de decisiones operativas.

En otro enfoque, Li et al. (2024) combinaron ruta, velocidad y recorte en un modelo de
Optimización para la eficiencia energética y reducciones reportadas de hasta un 4,54% en el consumo en el escenario.
analizados. Los estudios sobre optimización de recorte utilizando CFD y redes neuronales ya muestran cómo las herramientas
Los sistemas computacionales pueden convertir análisis hidrodinámicos complejos en información operativa de apoyo.
(ALVAREZ et al., 2024).
Estos resultados no deben sumarse ni considerarse como ahorros garantizados. Cada estudio tiene sus propias...
Buque, ruta, condiciones y supuestos específicos. El punto en común es la eficiencia operativa medible.
Puede obtenerse antes o simultáneamente con el cambio de combustible.

4. Perfil de la misión de los buques de alta mar

En los buques de alta mar, la curva de carga suele estar marcada por una fuerte variabilidad. Operaciones
El tránsito, la aproximación, el posicionamiento dinámico, la manipulación de la carga y la espera imponen
Demandas diferentes. Los sistemas diseñados para responder de forma segura a las cargas máximas pueden operar
durante períodos prolongados bajo cargas parciales.
Lindstad, Eskeland y Rialland (2017) observaron que los buques de apoyo en alta mar utilizan múltiples
Motores avanzados y sistemas de posicionamiento dinámico para mantener la fiabilidad en diferentes
estados del mar. El estudio destaca que operar varios motores a baja carga puede aumentar
emisiones locales y menor eficiencia de combustión.

Esta característica explica el interés en los sistemas híbridos. El almacenamiento puede absorber
Las variaciones rápidas permiten operar con menos grupos electrógenos en rangos más eficientes.
y proporcionar reserva de energía. Sin embargo, la ventaja potencial depende del perfil de carga real y de la
Dimensionamiento del sistema.

Un estudio publicado en 2024 en la revista Applied Energy, basado en datos reales de un buque de suministro a una plataforma petrolífera.

Los estudios sobre sistemas diésel-eléctricos concluyeron que optimizar el despacho de energía puede reducir el consumo de combustible y las emisiones de CO2, y

que la integración de baterías puede producir ganancias adicionales. El estudio también observó efectos

Existen distintos factores relacionados con los contaminantes, lo que refuerza la idea de que el desempeño ambiental no debe reducirse a un solo factor.

variable.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 19/12/2025 | Aceptación: 22/12/2025 | Publicación: 25/12/2025

Para la ingeniería, la consecuencia es metodológica: las decisiones sobre baterías o generación no deberían
Basado únicamente en la potencia instalada. Series temporales de carga, duración de los modos de funcionamiento,
La redundancia y los requisitos transitorios son información clave para evaluar la arquitectura.

5. VELOCIDAD, RUTA, AJUSTE Y CONDICIONES AMBIENTALES

La resistencia al movimiento hacia adelante y la potencia requerida varían según la velocidad, el desplazamiento, el trimado y las condiciones.
Casco, olas, viento y corriente. Por lo tanto, la eficiencia operativa requiere una conexión entre la hidrodinámica.
y planificación de viajes.

La planificación de rutas según las condiciones meteorológicas puede buscar tiempos de viaje más cortos, distancias más cortas, menor consumo de combustible o una combinación de estos factores.
objetivos. Palma, Giglio y Tei (2024) destacan el potencial del enrutamiento meteorológico y discuten
Cómo la navegación electrónica y los estándares S-100 pueden mejorar la información utilizada en el cálculo de rutas.
La optimización de la velocidad es igualmente sensible a las condiciones dinámicas. Los modelos que ignoran
Las variaciones meteorológicas pueden generar perfiles diferentes a los que se obtienen cuando el viento y las olas son el único factor.
se incorporan. El trabajo de Luo, Yan y Wang (2024) ilustra esta diferencia comparando
Optimización dinámica y estática.
El ajuste es otra variable de ingeniería con potencial operativo. Estudios de optimización

Los datos combinados sobre ruta, velocidad y recorte demuestran que los modelos computacionales pueden respaldar la toma de decisiones.
eficiencia, siempre que sus resultados permanezcan vinculados al buque, los datos y las condiciones para
que se desarrollaron. Li et al. (2024), por ejemplo, informaron ahorros de combustible de
hasta un 4,54% en el caso de estudio analizado, sin que este porcentaje sea automáticamente transferible.
a otros buques.
Estas medidas tienen una característica estratégica: muchas pueden aplicarse sin esperar a...
madurez de un nuevo combustible. También reducen la energía que requerirán las futuras soluciones de bajo consumo energético.
Necesitarán suministrar carbono.

6. Sistemas híbridos y almacenamiento de energía

Los sistemas híbridos combinan fuentes de energía con características distintas. En los buques propulsados por diésel...

Las baterías eléctricas pueden utilizarse para la reducción de picos de demanda, la reserva de energía, el soporte transitorio y la optimización.
de la carga de los generadores. El beneficio no proviene de la presencia de la batería en sí, sino de cómo
Altera el funcionamiento del conjunto.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 19/12/2025 | Aceptación: 22/12/2025 | Publicación: 25/12/2025

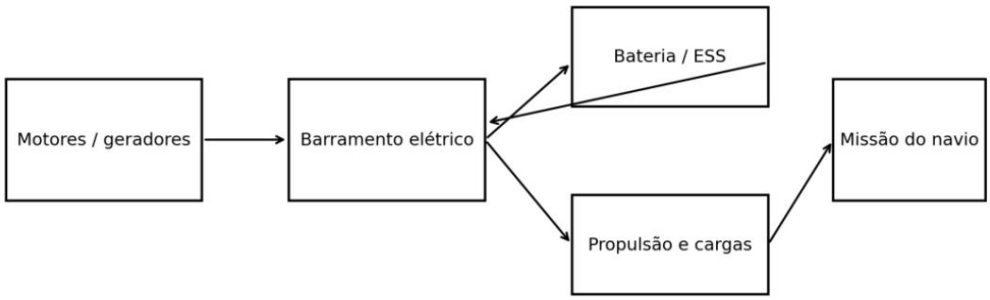


Figura 2. Arquitectura conceptual de un sistema híbrido diésel-eléctrico con almacenamiento de energía.

energía. Fuente: elaboración del autor basada en Lindstad, Eskeland y Rialland (2017) y el estudio

PSV publicado en Applied Energy (2024).

El estudio de Lindstad, Eskeland y Rialland (2017) concluyó que la combinación de baterías y motores

El reciclaje en buques de apoyo en alta mar podría reducir la contaminación local y el impacto climático.

Las condiciones analizadas. En ese contexto económico, los autores encontraron mayor atractivo para

buques nuevos en lugar de modernizar los existentes.

Esta conclusión histórica debe interpretarse con precaución debido a los costos de las baterías, el combustible,

Las regulaciones y la tecnología cambian. Sin embargo, sigue siendo relevante al demostrar que la modernización y

Los proyectos de obra nueva tienen características económicas diferentes y no deben evaluarse con la misma lógica.

En los nuevos proyectos, la integración puede comenzar con el diseño general, la distribución eléctrica, la refrigeración,

Protección contra incendios, peso y estabilidad. En las reformas, se tienen en cuenta el espacio, las interfaces existentes y las limitaciones.

Los factores estructurales y la vida útil restante del activo pueden limitar la solución.

Por lo tanto, el análisis económico debe incorporar no solo el ahorro de combustible, sino también el CAPEX.

Mantenimiento, sustitución de componentes, tiempo de inactividad, impacto en la capacidad operativa.

y cualquier valor residual.

7. Combustibles alternativos e incertidumbre tecnológica

La transición energética marítima no presenta una única ruta consolidada. GNL, biocombustibles,

El metanol, el amoníaco, el hidrógeno, la electrificación y las combinaciones híbridas tienen diferentes niveles de

madurez, infraestructura, densidad energética, requisitos de almacenamiento y perfil de emisiones.

La Estrategia IMO 2023 reconoce que es necesario ampliar las tecnologías, los combustibles y las fuentes de energía.

tener emisiones de GEI cero o casi cero será una parte integral del cumplimiento de los objetivos de

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 19/12/2025 | Aceptación: 22/12/2025 | Publicación: 25/12/2025

sector. El documento establece como nivel de ambición que estas soluciones representan al menos
El 5%, con el objetivo de alcanzar el 10%, de la energía utilizada por el transporte marítimo internacional para 2030 (OMI, 2023).
Sin embargo, esta directriz regulatoria no elimina las diferencias en madurez, disponibilidad, costo y
infraestructura entre las alternativas.

En el caso de los combustibles emergentes, la evaluación técnica debe tener en cuenta los riesgos y requisitos específicos.
de almacenamiento, compatibilidad de materiales, infraestructura y fuente de energía. La propia OMI
Determina que la evaluación climática debe considerar las emisiones de pozo a despertar, lo que impide la reducción en
Una etapa de la cadena simplemente traslada las emisiones a otra (OMI, 2023).
Las alternativas con un historial operativo más extenso pueden ofrecer ventajas de infraestructura y
Está disponible en ciertos mercados, pero esto no elimina la necesidad de evaluar las emisiones.
a lo largo del ciclo de vida, seguridad, convertibilidad y exposición regulatoria. El punto central de este
Esta sección compara las variables de decisión descritas en la literatura y no presenta experiencia práctica de...
autor con un combustible específico.
Por lo tanto, la disponibilidad de combustible no debería significar simplemente reservar espacio para un futuro tanque.
Una estrategia sólida examina la convertibilidad, la compatibilidad de materiales, la seguridad,
Disponibilidad regional, precio, normativa e impacto en la configuración de los buques.

8. Economía del ciclo de vida y decisiones de inversión

La elección tecnológica debe estar vinculada al ciclo de vida económico del activo. CAPEX más
Los costes elevados pueden ser racionales cuando reducen los gastos operativos o la exposición regulatoria a lo largo de los años de funcionamiento.
Del mismo modo, una solución técnicamente eficiente puede no resultar rentable en un activo cercano a su valor de mercado.
el final de su vida económica.

El valor actual neto, el coste total de propiedad y el análisis de escenarios son herramientas adecuadas.
para comparar alternativas. El desafío radica en los supuestos: precio del combustible, uso anual,
Los costes del carbono, la disponibilidad de infraestructuras y el valor residual pueden variar significativamente.
En un entorno de incertidumbre, una única proyección central puede enmascarar el riesgo. Escenarios conservadores,
Las versiones básica y acelerada permiten probar la sensibilidad al combustible, el cumplimiento normativo y el uso.
Los activos marítimos de larga duración y la flexibilidad tecnológica pueden tener un valor económico incluso
cuando no aparece directamente en la eficiencia instantánea.
La gestión del proyecto también afecta al resultado. La integración tardía de los requisitos de combustible,
Los sistemas de seguridad o eléctricos tienden a aumentar el retrabajo y las interfaces. Decisiones de ingeniería
Estas decisiones deben tomarse con una gobernanza del alcance, el riesgo y el cambio que sea compatible con la complejidad de la situación.
proyecto.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 19/12/2025 | Aceptación: 22/12/2025 | Publicación: 25/12/2025

Por lo tanto, la perspectiva financiera no es un paso posterior a la ingeniería. Ayuda a seleccionar qué ganancias...
Los técnicos tienen un valor suficiente para justificar la inversión.

9. Un marco integrado para la toma de decisiones

Con base en la literatura revisada, la decisión se puede organizar en seis preguntas. Primero, ¿qué
¿Qué misión debe cumplir la embarcación? En segundo lugar, ¿cuál es el perfil energético real de esta misión?
Tercero, ¿qué pérdidas pueden reducirse mediante medidas operacionales o hidrodinámicas? Cuarto,
¿Qué arquitectura de generación y almacenamiento se ajusta mejor a la curva de carga? Quinto, ¿cuál
¿Son estos combustibles técnica y logísticamente viables? Sexto, ¿qué alternativa preserva mejor el medio ambiente?
¿Cuál es su valor económico en diferentes escenarios?

El orden es importante. Empezar por el combustible antes de comprender la demanda de energía puede...
Para producir sobredimensionamiento o elecciones incompatibles con el perfil operativo. Comience por
La inversión de capital por sí sola puede descartar soluciones que ofrecen un mejor costo total.
La seguridad sigue siendo una cuestión transversal. Los nuevos combustibles introducen riesgos específicos, mientras que
Las baterías modifican los requisitos de protección y respuesta ante emergencias. Ninguna mejora en las emisiones justifica el cambio.
reducción del nivel de seguridad.
La estructura también debe ser iterativa. Un cambio en la ruta operativa puede alterar...
Disponibilidad de combustible; las nuevas regulaciones podrían cambiar el costo de una modernización; datos
Las cifras de consumo reales pueden revelar oportunidades de optimización que no eran visibles en la fase de diseño.
Este enfoque no ofrece una respuesta universal. Su valor reside en reducir la fragmentación de las decisiones.
y para explicitar las interdependencias entre ingeniería, operaciones y finanzas.

10 DISCUSIÓN

La literatura reciente converge en un punto: la eficiencia marítima es un problema multivariable. Estudios
Las mediciones de velocidad, ruta y ajuste demuestran mejoras en casos específicos; la investigación con PSV muestra que...
Documentos de despacho y almacenamiento; documentos técnicos sobre combustibles.
diferentes niveles de madurez y barreras.

También surge una distinción entre eficiencia y descarbonización. La primera está directamente conectada
las decisiones de ingeniería, operación, confiabilidad y rendimiento de los activos; la segunda amplía la
Análisis para un campo regulatorio y tecnológico en transformación. Este artículo analiza
Los combustibles alternativos sirven como contexto técnico y documental para las decisiones de diseño y
inversión, sin presuponer una actividad profesional específica por parte del autor en la implementación de estas soluciones.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 19/12/2025 | Aceptación: 22/12/2025 | Publicación: 25/12/2025

Un buque puede volverse más eficiente sin cambiar de combustible, reduciendo las emisiones en...
unidad de servicio. También puede cambiar a energía con menor intensidad de carbono sin necesidad de corrección.
Ineficiencias operativas. La estrategia más sólida combina ambos enfoques.
Para el segmento offshore, la variabilidad de la carga y la necesidad de confiabilidad hacen que esto...
La integración es especialmente relevante. La evaluación debe considerar los modos de operación, los requisitos,
Posicionamiento, reserva, respuesta dinámica y seguridad.
Los puntos de control de la OMI subrayan la importancia de las decisiones que se toman en el presente.
El buque, encargado a mediados de la década de 2020, podría operar durante los hitos de 2030 y
2040. Esto transforma el riesgo regulatorio en una variable de diseño.
Sin embargo, existen limitaciones importantes. Los resultados de ahorro porcentual encontrados en los estudios no
Deben ser transportados directamente a otros buques. La validez depende de los datos, el modelo,
Ruta, condiciones ambientales y arquitectura. Los estudios de caso deben guiar las hipótesis, no las promesas de...
actuación.
La principal implicación es la necesidad de una ingeniería basada en datos y un análisis del ciclo de vida.
Medir antes de invertir, validar modelos y probar escenarios son prácticas que reducen el riesgo de las decisiones.
Técnicamente atractivo, pero económicamente frágil.

CONCLUSIÓN

La descarbonización marítima no se puede reducir a elegir un nuevo combustible. Comienza
comprendiendo cuánta energía necesita la embarcación para cumplir su misión y por qué es necesario.
Se consume energía.
Las medidas operativas, como la optimización de la velocidad, la ruta y el recorte, demuestran un potencial de reducción.
En estudios recientes se han publicado cifras de consumo, pero los porcentajes son específicos de cada caso y no constituyen una respuesta definitiva.
Garantía de rendimiento.
En los buques de alta mar, la curva de carga variable hace que la gestión y el almacenamiento de energía sean una prioridad.
particularmente relevante. Los estudios con buques de apoyo en alta mar muestran que los sistemas híbridos
Pueden reducir el consumo de combustible y las emisiones cuando se dimensionan y operan adecuadamente.
La elección entre obra nueva y rehabilitación requiere diferentes consideraciones económicas. Espacio, integración, calidad de vida.
Los costes restantes y el tiempo de inactividad pueden afectar al atractivo de una solución.
Los combustibles alternativos añaden otra capa de incertidumbre. Madurez de la tecnología a bordo.
Esto no significa que la disponibilidad de combustible con bajas emisiones de carbono y el rendimiento de los gases de escape no lo impidan.
Sustituye al análisis del ciclo de vida.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VI, vol. 2, 2025 | Envío: 19/12/2025 | Aceptación: 22/12/2025 | Publicación: 25/12/2025

La Estrategia IMO 2023 hace que este debate sea temporalmente concreto al establecer ambiciones para 2030, 2040 y aproximadamente 2050. Los activos a largo plazo deben valorarse en función de esto. horizonte.

Por lo tanto, es necesaria la integración entre ingeniería y finanzas. CAPEX, OPEX, disponibilidad, Es necesario evaluar el mantenimiento, el riesgo regulatorio y la flexibilidad junto con el consumo y las emisiones.

La gestión de proyectos también forma parte de la eficiencia. Requisitos de seguridad, combustible y arquitectura.

Los sistemas de gestión energética deben implementarse en las primeras etapas del desarrollo para evitar problemas de interfaz y retrabajos posteriores.

La estructura propuesta en este artículo organiza la decisión en función de la misión, la demanda de energía y... Oportunidades para la eficiencia, la arquitectura de energía, el combustible y el análisis económico. Ella Se trata de una síntesis conceptual, no de un modelo predictivo.

Las investigaciones futuras podrían explorar más a fondo la integración entre datos operativos, modelos hidrodinámicos, Pronóstico meteorológico y optimización de despachos para buques en alta mar, con validación en diferentes perfiles de misión.

También son necesarios estudios del ciclo de vida que incorporen los precios futuros de la energía y las emisiones.

Deben tenerse en cuenta los cambios en la cadena de suministro y las normativas vigentes, evitando conclusiones basadas únicamente en el rendimiento a bordo.

Se concluye que la transición marítima hacia una economía baja en carbono será más coherente cuando se mejore la eficiencia. La energía debe ser tratada como una disciplina continua de diseño y operación, y no como una respuesta aislada a un objetivo regulatorio.

REFERENCIAS

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA DE EE. UU. (DOE). Una hoja de ruta de operaciones y mantenimiento para EE. UU. Energía eólica marina. Washington, DC: Departamento de Energía de los Estados Unidos, 2024.

ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL (OMI). Estrategia de la OMI para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los buques (2023). Londres: OMI, 2023.

LINDSTAD, Haakon Elizabeth; ESKELAND, Gunnar S.; RIALLAND, Agathe. Baterías en buques de apoyo en alta mar: contaminación, impacto climático y economía. Transportation Research Part D: Transport and Environment, vol. 50, págs. 409-417, 2017. DOI: 10.1016/j.trd.2016.11.023.

LI, Zhongwei et al. Optimización colaborativa de la eficiencia energética de buques para un transporte marítimo con bajas emisiones de carbono mediante GA-LSTM y NSGA-III. Ocean Engineering, vol. 312, art. 119190, 2024. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2024.119190.

LUO, Xi; YAN, Ran; WANG, Shuaian. Optimización de la velocidad de navegación de buques considerando condiciones meteorológicas dinámicas. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 167, art. 104827, 2024. DOI: 10.1016/j.trc.2024.104827.

PALMA, Valentino; GIGLIO, Davide; TEI, Alessio. Investigación de la influencia de la navegación electrónica y el S-100 en el cálculo de la ruta meteorológica. WMU Journal of Maritime Affairs, vol. 23, pág. 457-475, 2024. DOI: 10.1007/s13437-024-00344-7.

EVALUACIÓN del impacto de la optimización de la distribución de potencia y los sistemas de almacenamiento de energía en vehículos eléctricos diésel: un estudio de caso basado en datos reales de campo. Applied Energy, vol. 357, art. 122476, 2024. DOI: 10.1016/j.apenergy.2023.122476.

Este es un artículo de acceso abierto publicado bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite su uso.
Se permite su distribución y reproducción en cualquier medio, sin restricciones, siempre que se cite correctamente la obra original.