

Aspectos técnicos y operativos del uso de biocombustibles a bordo

RESUMEN DE ANAVE DEL INFORME DE DNV 'BIOFUELS IN SHIPPING' (PARTE II)

La Tribuna Profesional de este mes resume la situación actual del uso de los biocombustibles en el transporte marítimo, a partir de la información proporcionada por doce empresas del sector.

Supone la continuación del artículo de esta misma sección publicado en el Boletín de ANAVE del mes de febrero (Tribuna Profesional febrero 2025). Si en esa ocasión se analizaba la oferta y la demanda actual y prevista del mercado de biocombustibles para el transporte marítimo, este capítulo se centra en los aspectos técnicos y operativos de su uso a bordo.

Los biocombustibles como vía de descarbonización del transporte marítimo

Una de las principales razones por la que los biocombustibles se consideran una vía atractiva para la descarbonización del sector marítimo es su gran compatibilidad con los combustibles convencionales y con los equipos a bordo de la flota mercante mundial existente, sin necesidad de acometer modificaciones. Esto es especialmente cierto en el caso del bio-GNL, ya que sus propiedades son prácticamente idénticas a las del GNL fósil.

En el caso de los combustibles líquidos, los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME, por sus siglas en inglés) y los aceites vegetales hidrotratados (*Hydro-treated Vegetable Oil*, HVO) se han erigido como los biocombustibles más consolidados para su uso a bordo de los buques.

Ambos se producen a partir de grasas, aceites y residuos orgánicos. Para obtener FAME, se les somete a un proceso denominado transesterificación, mientras que el HVO se obtiene aplicándoles un proceso químico a partir de hidrógeno. Este último produce hidrocarburos parafínicos que son compatibles con la mayoría de los sistemas de combustible y motores existentes.

En la **tabla 1** de la página siguiente se resumen las características principales de ambos tipos de combustible, cuyo comportamiento real dependerá finalmente del porcentaje en que se mezclen con los combustibles convencionales.

Norma ISO 8217:2024

En 2024 se publicó la norma ISO 8217:2024, que reemplaza a la versión de

2017 incluyendo, entre otras cuestiones, tablas específicas para combustibles con componentes bio.

La norma ISO 8217:2017 (que establece los requisitos generales y las especificaciones para los combustibles utilizados en motores diésel marinos y calderas) incluía una mención para mezclas de combustibles que contenían hasta un 7% de FAME. Esta inclusión permitía el uso de ciertos biocombustibles por el transporte marítimo pero solo en cantidades limitadas. Anteriormente se reconocía el uso de cantidades muy pequeñas de FAME que no alcanzaban un umbral significativo y, por tanto, no se regulaban de manera estricta.

Por su parte, los biocombustibles parafínicos, como el HVO, GTL (*Gas to Liquid*) y BTL (*Biomass to Liquid*), ya se habían incluido en versiones anteriores de la norma ISO debido a su similitud con los destilados del petróleo, por lo que mezclarlos con los combustibles tradicionales no alteraba su clasificación. En este caso, la nueva norma se ha limitado a añadir requisitos adicionales.

(PASAA PÁGINA 21)

TABLA 1 // CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL FAME Y DEL HVO RESPECTO AL MGO

En comparación con el MGO	FAME	HVO
Contenido energético por unidad de masa	Menor	Similar
Número de cetano (facilidad de ignición)	Similar	Superior
Densidad	Similar	Ligeramente inferior
Viscosidad	Ligeramente superior	Ligeramente inferior
Punto de inflamación	Superior	Similar
Lubricidad	Buena (a pesar de un contenido bajo de azufre)	Pobre
Fluidez a baja temperatura	Pobre	Buena / Similar
Estabilidad en almacenamiento	Pobre	Buena / Similar
Interacción con otros materiales	Pobre en algunos casos	Similar

(VIENE DE PÁGINA 20)

El cumplimiento con la norma ISO 8217:2024, las pruebas previas, la comprobación con los fabricantes y la supervisión continua a bordo son medidas esenciales para garantizar la eficiencia y seguridad operativa de los biocombustibles. DNV recomienda actuar con precaución con respecto a los biocombustibles que no cumplen con la norma ISO 8217, especialmente aquellos que no han sido verificados ni probados en condiciones reales.

Consideraciones técnicas y operacionales

Algunas de las propiedades específicas del HVO y del FAME pueden plantear problemas en los sistemas de a bordo.

El HVO tiene un punto de inflamación similar al del MGO, buena tolerancia al frío, gran estabilidad y propiedades de oxidación y, en general, es comparable en términos de crecimiento microbiano o compatibilidad de materiales. En todo caso, pueden ser necesarios algunos ajustes antes de poder utilizarlo a bordo, debido a su densidad, viscosidad y lubricidad potencialmente inferiores.

Por su parte, el FAME presenta unas propiedades de combustión y lubricidad relativamente buenas, pero plantea algunos retos en comparación con los combustibles marinos tradicionales, sobre todo en términos de estabilidad (degradación), corrosividad y propiedades de fluidez en frío.

A pesar de estas dificultades y de los problemas ocasionales, la experiencia hasta la fecha muestra que la mayoría de las operaciones se desarrollan sin problemas significativos, incluso cuando se utiliza HVO o FAME puros.

Punto de inflamación

Según el Capítulo II-2/B/4 del Convenio SOLAS, ningún combustible con un punto de inflamación (*flash point*) inferior a 60°C puede utilizarse como combustible en los buques.

- El FAME suele superar ampliamente este límite.

- En cambio, el HVO tiene un punto de inflamación similar al del MGO, pero en algunos casos puede situarse por debajo o justo por encima del límite de SOLAS, lo que puede poner en riesgo el cumplimiento de esta exigencia.

En la UE, el diésel para automoción está sujeto a límites de punto de inflamación más bajos, que oscilan entre 52 y 55°C. Por ello, el riesgo de incumplimiento suele provenir del uso de mezclas con combustibles de automoción (en lugar de marinos), más que del HVO o el FAME en sí mismos.

La ISO 8217:2024 ha adoptado el límite mínimo de 60°C en cumplimiento

con SOLAS. En cualquier caso, el punto de inflamación debe confirmarse en la Nota de Entrega del combustible (*Bunker Delivery Note, BDN*) o mediante análisis específicos. Si se detecta un punto de inflamación demasiado bajo, se deben seguir los procedimientos estándar a bordo para estos casos.

Compatibilidad con otros materiales y corrosión

El FAME puede deteriorarse a través de procesos químicos y biológicos, entre ellos la oxidación. Este fenómeno puede dar lugar a la generación de peróxidos de

(PASAA PÁGINA 22)

NORMA ISO 8217:2024

La norma ISO 8217:2024 sobre 'Productos derivados del petróleo, fuentes sintéticas y renovables — Combustibles (Clase F) — Especificaciones de combustibles marinos', amplía la integración de los biocombustibles en la norma ISO 8217, permitiendo un uso más flexible de combustibles con un contenido 100% de FAME o HVO, siempre que cumplan con los estándares establecidos en la misma.

Incluye los siguientes cambios con respecto a su versión de 2017:

Tablas 1 y 3 – El FAME puede utilizarse a bordo en su forma pura, o mezclado en cualquier proporción con combustibles destilados o residuales.

Requisitos para combustibles marinos con 100% FAME:

- Deben cumplir con la norma EN 14214 (exceptuando los requisitos de azufre, punto de turbidez (CP) y punto de obstrucción del filtro en frío (CFPP)).
- Como alternativa pueden cumplir con la norma ASTM D6751, con la única excepción del requisito de contenido de azufre.
- Además, deben ajustarse a la Tabla 1 de esta norma.

Requisitos para combustibles marinos compuestos al 100% por HVO:

- Deben cumplir con la norma EN 15940, exceptuando los requisitos establecidos en las Tablas 2 y 3 de EN 15490:2023.
- También deben ajustarse a la Tabla 1 de esta norma

(VIENE DE PÁGINA 21)

hidrógeno, los cuales, a su vez, favorecen la formación de determinados compuestos responsables del incremento del número de acidez (*Acid Number, AN*). Además, un alto contenido de agua acelera la producción de estos compuestos ácidos.

Según la ISO 8217:2024, no existe una correlación establecida entre el Número de Acidez y la corrosividad del combustible. Sin embargo, sí se ha identificado una relación entre la presencia de ácidos inorgánicos fuertes y la actividad corrosiva, lo cual se mide a través del Número de Ácido Fuerte (*Strong Acid Number, SAN*).

Los fabricantes de motores recomiendan mantener la acidez de los combustibles a base de FAME en niveles lo más bajos posibles. En caso de sospechar que ha aumentado la acidez del combustible o si se almacena FAME a bordo durante períodos prolongados, se recomienda someterlo a análisis adicionales.

Por su parte, según la EMSA, el HVO presenta una compatibilidad parecida a los diésel fósiles convencionales en cuanto a su interacción con los componentes, tanques y materiales generalmente utilizados en el almacenamiento, trasiego y manipulación del combustible.

Fluidez a baja temperatura

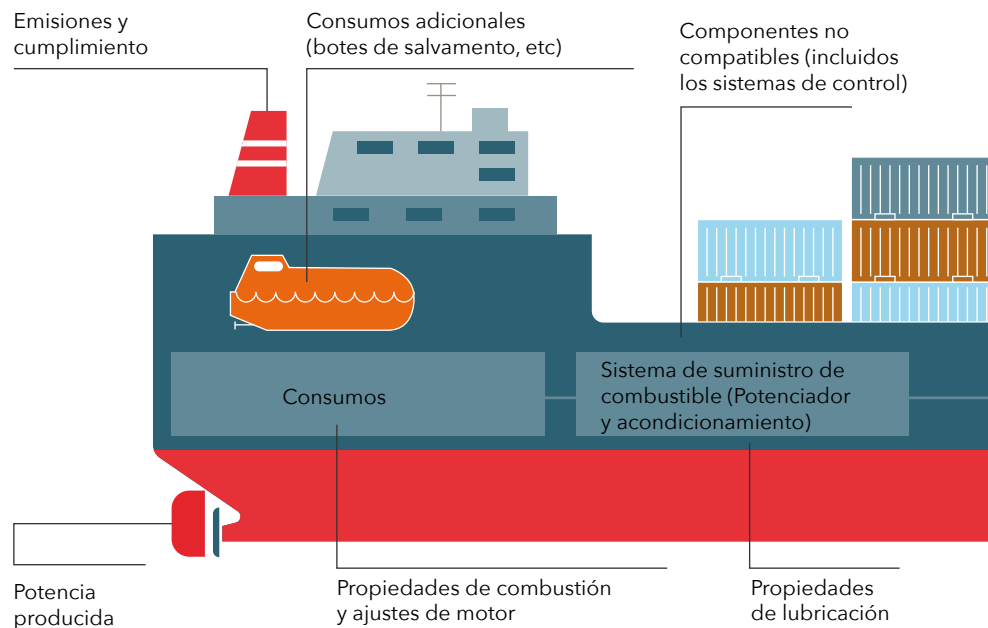
Las mezclas de HVO suelen presentar unas buenas propiedades a baja temperatura. En el caso del FAME, su fluidez a baja temperatura depende de la composición de los ácidos grasos pero puede presentar deficiencias.

Aunque según DNV, hasta la fecha, la fluidez a baja temperatura del FAME y HVO no ha supuesto un problema significativo, existen recomendaciones operacionales sobre la temperatura óptima de los biocombustibles:

- Mantener la temperatura del combustible al menos 10°C por encima del Punto de Fluidez (*Pour Point, PP*) y 5°C por encima del Punto de Obstrucción del Filtro en Frío (*Cold Filter Plugging Point, CFPP*). Esto es especialmente importante en el caso del FAME.
- Para combustibles fósiles convencionales, la recomendación es mantener la temperatura de almacenamiento entre 2 y 5°C por encima del Punto de Turbidez (*Cloud Point, CP*), 10°C por encima del PP y 10°C por encima del CFPP.

FIG. 1 // FACTORES ESENCIALES A TENER EN CUENTA ANTES Y DURANTE EL USO DE BIOCOMBUSTIBLES

(* Estos temas pueden afectar a uno o varios sistemas de a bordo y no son específicos de un sistema)



- En el caso de mezclas con fuelóleos residuales, se recomienda además medir la Temperatura de Aparición de Cera (*Wax Appearance Temperature, WAT*) y la Temperatura de Desaparición de Cera (*Wax Disappearance Temperature, WDT*), además del PP.

Consideraciones específicas de los subsistemas de almacenamiento y trasiego

Mezcla de biocombustibles y combustibles tradicionales

El FAME presenta en muchas ocasiones propiedades disolventes en comparación con los combustibles diésel convencionales. Dependiendo de la proporción de la mezcla y del grado de suciedad de los tanques y sistemas de combustible, el FAME puede contribuir a disolver los depósitos y sedimentos acumulados que dejan los combustibles convencionales con el paso del tiempo. Como consecuencia, para evitar problemas en el sistema de tuberías, como la obstrucción de filtros, se recomienda eliminar por completo cualquier cera residual, lodo o aceite que quede en los tanques, y que estos se vacíen completamente, se limpien y se sequen antes de cargarlos con FAME. También se recomienda vigilar los filtros aunque, si

bien se han registrado casos de obstrucción, estos no se consideran un problema significativo.

El HVO no tiene el mismo efecto disolvente y, en este contexto, debe manejarse de manera similar a los combustibles tradicionales como el MGO.

Se recomienda evitar la mezcla de combustibles de diferentes tipos o fuentes, a menos que sea estrictamente necesario. En el caso de decidir no limpiar los tanques, se recomienda comprar el combustible al mismo proveedor, consumirlo rápidamente (generalmente en no más de 3 meses) y efectuar análisis periódicos de la calidad del combustible.

Estabilidad y degradación con el tiempo

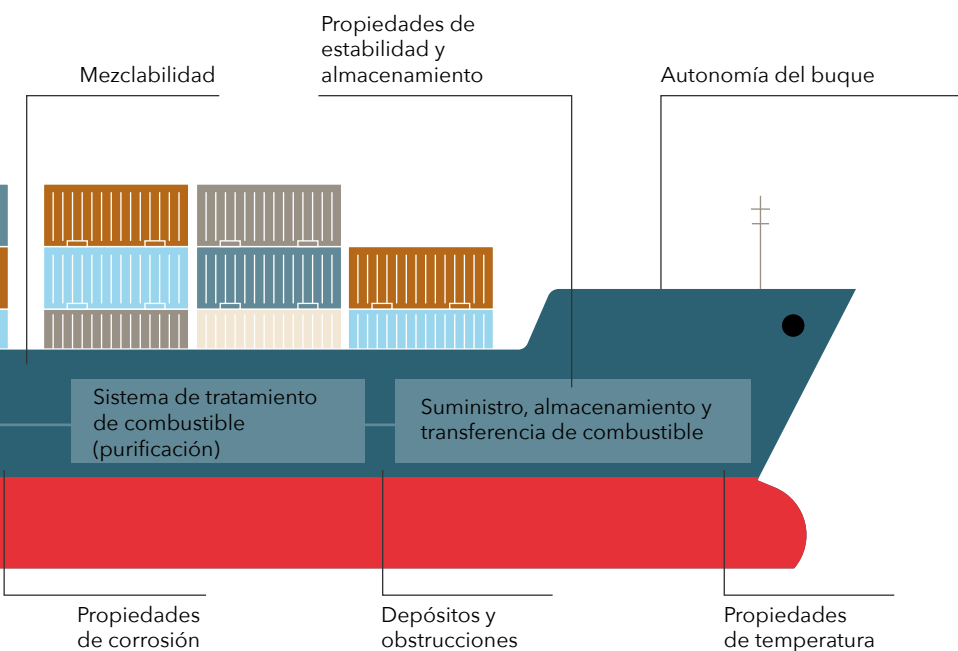
El HVO es químicamente estable a temperaturas ambientales normales. Su estabilidad a la oxidación es comparable a la del diésel fósil convencional, lo que indica que las condiciones de almacenamiento aplicables al HVO deben ser similares a las del MGO.

Sin embargo, el FAME tiene una menor estabilidad térmica y a la oxidación en comparación con los combustibles fósiles. La baja estabilidad a medio plazo es uno de los principales problemas del FAME, ya que la oxidación puede provocar degradación y la formación de depósitos. Si el FAME se almacena bajo las condiciones adecuadas, puede mantener hasta seis meses una calidad estable. Sin embargo, se han registrado casos de degradación después de tan sólo tres meses.

(PASAA PÁGINA 23)

COMBUSTIBLES EN LOS BUQUES

ningún combustible o mezcla en particular.



(VIENE DE PÁGINA 22)

También es importante resaltar que el FAME puede generar depósitos o sedimentos cuando entra en contacto con ciertos metales, como el cobre, el plomo, el estaño o el zinc. A diferencia de los combustibles convencionales, el FAME puede retener altos niveles de agua en suspensión. La presencia de agua en el FAME puede fomentar reacciones hidrolíticas que degradan el combustible, dando lugar a la formación de ácidos grasos libres. Cuando estos ácidos grasos reaccionan con sales y agua, pueden generar depósitos jabonosos, lo que puede obstruir filtros y tuberías, reduciendo la eficiencia del sistema de combustible.

Aparición de microorganismos

La aparición de microorganismos puede darse en el MGO tradicional por lo que aquellos buques con tendencia a experimentarlo con los combustibles convencionales serán más proclives a sufrirlo con los biocombustibles.

El FAME es particularmente susceptible al crecimiento microbiano, lo que puede provocar obstrucciones en filtros y tuberías. Si se detecta este fenómeno, se recomienda una limpieza exhaustiva de los tanques.

El HVO, en cambio, tiene un comportamiento similar al MGO, por lo que no requiere precauciones adicionales.

El agua es un factor clave que favorece la proliferación de estos microorganismos. Por ello, se recomienda:

- Drenar el agua en los tanques de biocombustible con regularidad.

- Purificar el biocombustible en los separadores de combustible.
- Mantener la temperatura de almacenamiento lo más baja posible, si las condiciones operativas lo permiten.
- Calentar los tanques solo cuando sea estrictamente necesario, para mantener las propiedades de fluidez a bajas temperaturas.
- Evitar el almacenamiento prolongado de FAME a bordo.

Densidad y purificación

Los separadores de combustible pueden requerir ajustes (digitales y/o mecánicos) para que funcionen correctamente con combustibles que tengan densidades diferentes a las habituales, especialmente en el caso del HVO, que tiene una menor densidad que los combustibles tradicionales. Por su parte, la densidad del FAME es comparable a la del MGO, por lo que no requeriría en principio adaptaciones significativas.

En los combustibles tradicionales, suele añadirse agua para diluir el combustible. Sin embargo, en el caso del FAME, añadir agua no solo es innecesario, sino que puede contribuir a la formación de lodos jabonosos, lo que afectaría a la estabilidad y al rendimiento.

En cualquier caso, la diferencia de densidades tampoco suele suponer un problema significativo.

Consideraciones específicas en cuanto al consumo a bordo

Viscosidad

El control de la viscosidad es esencial a la hora de evaluar las propiedades de los combustibles. Una baja viscosidad (menor a 2 cSt) puede generar fugas en las juntas y en los sistemas del motor, incluidas las bombas de inyección de combustible. A su vez, el desgaste de las bombas de inyección puede generar problemas para conseguir la presión suficiente debido a fugas internas. Una viscosidad por debajo de 1,5 cSt puede provocar un mayor desgaste en ciertos tipos de bombas. Por el contrario, una viscosidad excesivamente alta en la inyección puede generar problemas al pulverizar y consumir el combustible en los motores diésel.

En general, la viscosidad del combustible suministrado a los motores se controla mediante un viscosímetro que debe poder detectar viscosidades muy bajas con precisión. Los biocombustibles a base de HVO pueden presentar una viscosidad baja en comparación con los combustibles destilados tradicionales. Por su parte, el FAME generalmente tiene una viscosidad ligeramente superior a la del diésel convencional.

Es importante destacar que la ISO 8217:2024 establece unos criterios de viscosidad mínimos (2 cSt) y máximos (6 cSt). Los fabricantes de motores permiten el uso de FAME y HVO siempre que se cumplan los requisitos de viscosidad en la entrada del motor.

De acuerdo con DNV, no se han identificado problemas operacionales significativos relacionados con este aspecto.

Contenido energético y densidad

La ISO 8217:2017 no prescribía mediciones concretas de contenido energético para FAME o mezclas con FAME. Sin embargo, la ISO 8217:2024 ha actualizado este aspecto, especificando que la medición del Poder Calorífico Inferior (*Lower Calorific Value, LCV*) debe hacerse según la norma ASTM D240.

El LCV del FAME es generalmente inferior al del MGO y el VLSFO, mientras que el del HVO es similar. Dado que el

(PASAA A PÁGINA 24)



(VIENE DE PÁGINA 23)

FAME tiene un menor LCV, su uso conlleva un mayor consumo de combustible en comparación con los combustibles fósiles convencionales. Esta reducción en el contenido energético puede hacer recomendable ajustar el motor para hacerlo trabajar en el punto óptimo.

Por ejemplo, si a un motor se le ha aplicado una limitación de su potencia (*Engine Power Limitation, EPL*), el uso de un combustible con menor LCV puede reducir aún más la potencia máxima disponible.

Lubricidad

Los biocombustibles, en particular el HVO, suelen tener niveles de azufre muy bajos, lo que puede conllevar problemas de lubricidad. Aunque el FAME también puede tener bajo contenido de azufre, su capacidad lubricante es buena.

Es por tanto fundamental verificar las propiedades lubricantes y la viscosidad del HVO, ya que puede ser necesario el uso de aditivos para evitar un desgaste prematuro de componentes como bombas o sistemas de inyección de combustible.

Cada fabricante proporciona recomendaciones específicas de lubricación, las cuales deben seguirse estrictamente.

Temperatura de evaporación

Algunos biocombustibles presentan una temperatura de evaporación más alta, lo

que significa que requieren más energía para pasar de estado líquido a gaseoso en comparación con los combustibles fósiles convencionales. Cuando un combustible tiene una temperatura de evaporación elevada, las partes que no se queman pueden permanecer en estado líquido dentro del sistema de lubricación en lugar de evaporarse y ser expulsadas por los sistemas de ventilación del cárter. Esto puede generar la acumulación de combustible en el aceite lubricante, lo que con el tiempo puede alterar sus propiedades, reduciendo su capacidad de lubricación y favoreciendo la formación de depósitos en el motor.

Emisiones de NOx y cumplimiento MARPOL

Antes de la adopción de la circular MEPC.1/Circ.795/Rev.7 (Interpretaciones Unificadas del Anexo VI de MARPOL), se requería una exención del Estado de bandera para probar biocombustibles y cumplir con la Regla 13 del Anexo VI de MARPOL. Sin embargo, con la aprobación de esta Interpretación Unificada por el MEPC 78, los biocombustibles pueden utilizarse sin aprobación del Estado de bandera, siempre que se cumplan los requisitos de NOx.

Además de las limitaciones de NOx, es importante señalar que los requisitos de calidad del combustible establecidos en

la Regla 18 del Anexo VI de MARPOL también se aplican a los biocombustibles. La circular MEPC.1/Circ.795/Rev.8 establece que una mezcla de no más del 30% en volumen de biocombustible o combustible sintético debe cumplir los requisitos de la regla 18.3.1 del Anexo VI de MARPOL. Esto significa que un motor diésel marino que pueda operar con una mezcla de biocombustible de hasta el 30%, al considerarse estos combustibles similares a los combustibles fósiles, no requiere acciones específicas.

Del mismo modo, la resolución MEPC.1/Circ.795/Rev.7 permite que los motores diésel marinos cuyo expediente técnico acredite que pueden utilizar mezclas de biocombustible superiores al 30% sin alterar los componentes críticos de NOx ni sus configuraciones, puedan utilizar estos combustibles sin ningún trámite adicional.

Conclusiones

Los biocombustibles representan una alternativa viable para la descarbonización del transporte marítimo debido a su compatibilidad con los sistemas y motores existentes. La reciente modificación de la norma ISO 8217 ha ampliado su regulación, permitiendo su uso en su forma pura o en mezclas sin restricciones de porcentaje, siempre que cumplan los estándares específicos.

Desde una perspectiva técnica, el FAME y el HVO presentan diferencias clave. El FAME ofrece buena lubricidad y capacidad disolvente aunque tiene un menor contenido energético y presenta deficiencias en fluidez a bajas temperaturas y estabilidad en almacenamiento. Su número de cetano es similar al MGO y su punto de inflamación es superior. En cambio, el HVO tiene una densidad y estabilidad similares al diésel fósil, un número de cetano superior y mejor fluidez a bajas temperaturas. Su lubricidad es deficiente, lo que puede requerir aditivos.

En definitiva, ambos biocombustibles son opciones viables, aunque con desafíos operativos específicos. El cumplimiento con la ISO 8217:2024, junto con la supervisión continua y el análisis de parámetros clave como el punto de inflamación, la viscosidad, la interacción con otros materiales y el contenido energético, es esencial para garantizar la eficiencia y seguridad operativa.

ANAVE, como editora de anave.es, no se hace responsable de la fidelidad de los datos publicados por las fuentes. Se autoriza la reproducción total o parcial de este artículo, siempre que se cite a ANAVE como fuente.