

CIRCULAR AD N° 005/2022

- Para:** Armadores, Operadores, Arrendatarios, Apoderados Legales, Empresas Navieras, Funcionarios de supervisión por el Estado Rector del Puerto, Organizaciones Reconocidas (OR`S) y sus Representantes Legales, Capitanes de Buques Internacionales y demás interesados de la Comunidad Marítima.
- Tema:** **ADOPCIÓN** de las Directrices emanadas por la Organización Marítima Internacional (OMI) a través del Comité de Protección del Medio Marino en su 77º período de sesiones (22 al 26 de noviembre del 2021), relativo a **“ORIENTACIONES DE 2021 PARA EL TRATAMIENTO DE LAS TECNOLOGÍAS INNOVADORAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CÁLCULO Y LA VERIFICACIÓN DEL EEDI Y EL EEXI OBTENIDOS”**, la cual tiene como objetivo ayudar a fabricantes, constructores y propietarios de buques, verificadores y otras partes interesadas en el índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI) de los buques y en el índice de eficiencia energética aplicable a los buques existentes (EEXI) a tratar las tecnologías innovadoras de eficiencia energética para calcular y verificar el EEDI obtenido conforme a las reglas 5, 6, 7, 8, 9 y 20 del Anexo VI del Convenio MARPOL.
- Referencias:** La Constitución de la Republica; Convenios Internacionales del ámbito marítimo, Ley Orgánica de la Marina Mercante Nacional (DECRETO No. 167-94) y sus Reformas; Específicamente sus Artículos 1, 5, 92 numerales 1), 18), 19), 20) y 29); Circular MEPC.1/Circ.896 y su Anexo (páginas 1-33) emitida por el Comité de Protección del Medio Marino de la Organización Marítima Internacional (OMI), de fecha 14 de diciembre del año 2021 y el Acuerdo N° DGMM-071-2012, emitido por la Dirección General de la marina Mercante y publicado en el Diario Oficial “La Gaceta” con número 33,001 y otras aplicables.

La presente **CIRCULAR AD No. 005/2022** tiene la finalidad de hacer de su conocimiento lo siguiente:



DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE

PRIMERO: Que la Dirección General de la Marina Mercante, tiene como propósito asegurar la efectividad y control de la administración de los Instrumentos Marítimos de los cuales Honduras es Parte; por lo que a través del Acuerdo N° 71/2012 de fecha 26 de noviembre del 2012; Adopta y unifica en forma expedita las diversas implementaciones de documentos que emanen de la Organización Marítima Internacional (OMI), con la intención de apegar al Estamento Jurídico Nacional las diferentes Directrices y Practicas generadas por la OMI.

SEGUNDO: Que la Dirección General de la Marina Mercante procede a Adoptar el siguiente Instrumento Técnico Jurídico que surge en el seno de la Organización Marítima Internacional (OMI) a través del Comité de Protección del Medio Marino el cual se describe como:

- **Circular MEPC.1/Circ.896 y su Anexo (páginas 1-33)** de fecha 14 de diciembre del 2021, sobre **“ORIENTACIONES DE 2021 PARA EL TRATAMIENTO DE LAS TECNOLOGÍAS INNOVADORAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CÁLCULO Y LA VERIFICACIÓN DEL EEDI Y EL EEXI OBTENIDOS”**.

TERCERO: Que la información antes descrita se podrá encontrar publicada en la página Oficial de la Institución, siendo: www.marinamercante.gob.hn; a la vez dicho instrumento **Circular MEPC.1/Circ.896 y su Anexo (páginas 1-33)** de fecha 14 de diciembre del 2021, sobre **“ORIENTACIONES DE 2021 PARA EL TRATAMIENTO DE LAS TECNOLOGÍAS INNOVADORAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CÁLCULO Y LA VERIFICACIÓN DEL EEDI Y EL EEXI OBTENIDOS”**, forman parte integral de la presente Circular.

CUARTO: Que Honduras es Estado miembro de la OMI y se encuentra comprometido en Adoptar e Implementar los instrumentos relativos a la Seguridad de la Navegación, Protección del Medio Marino, así como las directrices establecidas en el Convenio MARPOL, del cual Honduras es signatario.

Se invita a los Gobiernos Miembros a que pongan las orientaciones adjuntas en conocimiento a sus Administradores, el sector, las organizaciones de transporte marítimo pertinentes, las compañías navieras y otras partes interesadas.

Tegucigalpa, República de Honduras a los ocho (08) días del mes de febrero del año dos mil veintidós (2022).

DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE



ABG. JUAN CARLOS RIVERA
DIRECTOR GENERAL



4 ALBERT EMBANKMENT
LONDRES SE1 7SR

Teléfono: +44(0)20 7735 7611

Facsímil: +44(0)20 7587 3210

MEPC.1/Circ.896
14 diciembre 2021

**ORIENTACIONES DE 2021 PARA EL TRATAMIENTO DE LAS TECNOLOGÍAS
INNOVADORAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CÁLCULO
Y LA VERIFICACIÓN DEL EEDI Y EL EEXI OBTENIDOS**

- 1 El Comité de protección del medio marino, en su 77º período de sesiones (22 a 26 de noviembre de 2021), aprobó las "Orientaciones de 2021 para el tratamiento de las tecnologías innovadoras de eficiencia energética en el cálculo y la verificación del EEDI y el EEXI obtenidos", que figuran en el anexo.
- 2 Se invita a los Gobiernos Miembros a que pongan las orientaciones adjuntas en conocimiento de sus Administraciones, el sector, las organizaciones de transporte marítimo pertinentes, las compañías navieras y otras partes interesadas.
- 3 El Comité acordó mantener estas orientaciones sometidas a examen a la luz de la experiencia que se adquiera con su aplicación.
- 4 La presente circular revoca la circular MEPC.1/Circ.815.

ANEXO

ORIENTACIONES DE 2021 PARA EL TRATAMIENTO DE LAS TECNOLOGÍAS INNOVADORAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CÁLCULO Y LA VERIFICACIÓN DEL EEDI Y EL EEXI OBTENIDOS

ÍNDICE

- 1 GENERALIDADES
 - 2 DEFINICIONES
 - 3 CLASIFICACIÓN EN CATEGORÍAS DE LAS TECNOLOGÍAS INNOVADORAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA
 - 4 CÁLCULO Y VERIFICACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS TECNOLOGÍAS INNOVADORAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA
- ANEXO 1 Orientaciones para el cálculo y verificación de los efectos de las tecnologías innovadoras de la categoría B
- 1 Sistema de lubricación por aire (categoría B-1)
 - 2 Sistema de propulsión asistida por el viento (categoría B-2)
 - Apéndice 1 Método de pruebas con modelos en túnel de viento
 - Apéndice 2 Matriz de probabilidad eólica mundial (Wk)
- ANEXO 2 Orientaciones para el cálculo y verificación de los efectos de las tecnologías innovadoras de la categoría C
- 1 Sistema de recuperación del calor residual para la generación de electricidad (categoría C-1)
 - 2 Sistema de generación de energía fotovoltaica (categoría C-2)

1 Generalidades

1.1 El objetivo de las presentes orientaciones es ayudar a fabricantes, constructores y propietarios de buques, verificadores y otras partes interesadas en el índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI) de los buques y en el índice de eficiencia energética aplicable a los buques existentes (EEXI) a tratar las tecnologías innovadoras de eficiencia energética para calcular y verificar el EEDI obtenido, conforme a las reglas 5, 6, 7, 8, 9 y 20 del Anexo VI del Convenio MARPOL. Aunque en la totalidad de las orientaciones solamente se utiliza el término EEDI, las orientaciones se aplican tanto al cálculo del EEDI como del EEXI, según corresponda.

1.2 Existen las Directrices sobre el cálculo del EEDI y las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI. Las presentes orientaciones no tienen por objeto sustituir esas directrices, sino ofrecer un método de cálculo, reconocimiento y certificación de las tecnologías innovadoras de eficiencia energética que dichas directrices no recogen. Cuando surja alguna incoherencia entre las presentes orientaciones y las directrices, prevalecerán las directrices.

1.3 Es posible que las presentes orientaciones no contengan medidas suficientes para el cálculo y verificación de los buques de propulsión diésel-eléctrica, propulsión con turbina y propulsión híbrida. Esto se debe a la posibilidad de que la fórmula del EEDI obtenido que figura en las Directrices sobre el cálculo del EEDI no sirva para esos sistemas de propulsión.

1.4 Las presentes orientaciones deberían revisarse a fin de incluir nuevas tecnologías innovadoras que aún no se han incluido.

1.5 Las presentes orientaciones también deberían revisarse, tras obtener experiencia con cada tecnología innovadora, para que resulten más sólidas y eficaces utilizando los datos operacionales reales. Por consiguiente, es aconsejable vigilar y compilar los efectos de cada tecnología innovadora en las condiciones operacionales reales para la futura mejora de las presentes orientaciones.

2 Definiciones

2.1 *Directrices sobre el cálculo del EEDI:* "Directrices de 2018 sobre el método de cálculo del índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI) obtenido para buques nuevos", (resolución MEPC.308(73), enmendada).

2.2 *Directrices sobre el reconocimiento del EEDI:* "Directrices de 2014 sobre reconocimiento y certificación del índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI)" (resolución MEPC.254(67), enmendada por la resolución MEPC.261(68) y la resolución MEPC.309(73)).

2.3 P_p es la potencia propulsora y se define como ΣP_{ME} ($\Sigma P_{ME} + \Sigma P_{PT(i),shaft}$, cuando hay instalados uno o varios motores acoplados al eje, como figura en el párrafo 2.2.5.3 de las Directrices sobre el cálculo del EEDI).

2.4 Además de las presentadas arriba, las definiciones de los términos de las presentes orientaciones son las mismas que las que figuran en el Anexo VI del Convenio MARPOL, las Directrices sobre el cálculo del EEDI y las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI.

3 Clasificación en categorías de las tecnologías innovadoras de eficiencia energética

3.1 Las tecnologías innovadoras de eficiencia energética se clasifican en las categorías A, B y C, dependiendo de sus características y efectos en la fórmula del EEDI. Además, las tecnologías innovadoras de eficiencia energética de las categorías B y C incluyen dos subcategorías cada una (categorías B-1 y B-2, y C-1 y C-2, respectivamente).

Categoría A: Tecnologías que modifican la curva de potencia, dando lugar a variaciones en la combinación de P_P y V_{ref} . por ejemplo, cuando V_{ref} se mantiene constante, P_P disminuye, y cuando P_P se mantiene constante, V_{ref} aumenta.

Categoría B: Tecnologías que reducen la potencia propulsora, P_P , a V_{ref} , pero no generan electricidad. La energía ahorrada se computa como P_{AEff} .

Categoría B-1: Tecnologías que pueden utilizarse en cualquier momento durante las operaciones; el factor de disponibilidad (f_{eff}) será, por tanto, 1,00.

Categoría B-2: Tecnologías que pueden utilizarse a pleno rendimiento sólo en condiciones limitadas. El factor de disponibilidad (f_{eff}) que se fije habrá de ser inferior a 1,00.

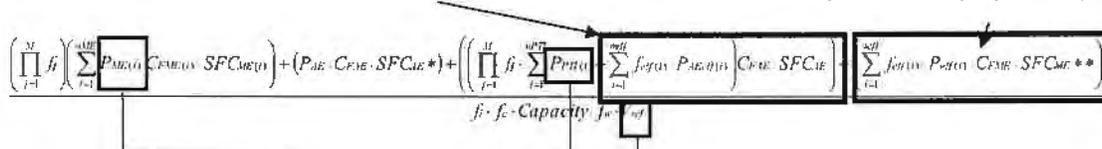
Categoría C: Tecnologías que generan electricidad. La energía ahorrada se computa como P_{AEff} .

Categoría C-1: Tecnologías que pueden utilizarse en cualquier momento durante las operaciones; el factor de disponibilidad (f_{eff}) será, por tanto, 1,00.

Categoría C-2: Tecnologías que pueden utilizarse a pleno rendimiento sólo en condiciones limitadas. El factor de disponibilidad (f_{eff}) que se fije habrá de ser inferior a 1,00.

C) Reducción de las emisiones mediante la reducción de la potencia auxiliar generando electricidad para la carga máxima normal en el mar (P_{AEff})

B) Reducción de las emisiones mediante la reducción de la potencia de propulsión (P_{eff})



A) Combinación de P_P y V_{ref} reflejada en la curva de potencia (curva nudos-kW)

Tecnologías innovadoras de eficiencia energética				
Reducción de la potencia del motor principal			Reducción de la potencia auxiliar	
Categoría A	Categoría B-1	Categoría B-2	Categoría C-1	Categoría C-2
No puede separarse del funcionamiento general del buque	Puede separarse del funcionamiento general del buque		Eficaz en todo momento	En función del entorno
	$f_{eff} = 1$	$f_{eff} < 1$	$f_{eff} = 1$	$f_{eff} < 1$
<ul style="list-style-type: none"> - revestimientos de baja fricción - optimización - resistencia del timón - proyecto de la hélice 	<ul style="list-style-type: none"> - sistema de lubricación por aire del casco (cavidad de aire mediante inyección para reducir la resistencia del buque) (puede apagarse) 	<ul style="list-style-type: none"> - energía eólica (velas, rotores Flettner, cometas) 	<ul style="list-style-type: none"> - sistema de recuperación del calor (recuperación del calor de los gases de escape y conversión a energía eléctrica) 	<ul style="list-style-type: none"> - células fotovoltaicas

4 Cálculo y verificación de los efectos de las tecnologías innovadoras de eficiencia energética

4.1 Generalidades

4.1.1 La evaluación de las ventajas de cualquier tecnología innovadora se debe realizar teniendo en cuenta la forma del casco y el sistema de propulsión con el que se vaya a utilizar. Los resultados de los ensayos con modelo o de las pruebas de mar de la tecnología innovadora con distintas formas de cascos o sistemas de propulsión no siempre sirven.

4.2 Tecnología de la categoría A

4.2.1 Las tecnologías innovadoras de eficiencia energética de la categoría A afectan a la P_P o a la V_{ref} , o a ambas, y sus efectos no pueden medirse por separado. Por este motivo, estos efectos no deberían calcularse ni certificarse por separado en las presentes orientaciones, sino tratarse como parte del buque en las Directrices sobre el cálculo del EEDI y en las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI.

4.3 Tecnología de la categoría B

4.3.1 Los efectos de las tecnologías innovadoras de eficiencia energética de la categoría B se expresan como P_{eff} , que se multiplicaría por C_{FME} y SFC_{ME} (cuando $P_{PT(i)} > 0$, el valor medio ponderado de $(SFC_{ME} \cdot C_{FME})$ y $(SFC_{AE} \cdot C_{FAE})$) y f_{eff} , y luego se deduciría de la fórmula del EEDI. En el caso de la tecnología de la categoría B-1, f_{eff} equivale a 1,00.

4.3.2 En el anexo 1 se presentan orientaciones para calcular y verificar los efectos de las tecnologías innovadoras de la categoría B.

4.4 Tecnología de la categoría C

4.4.1 Los efectos de las tecnologías innovadoras de eficiencia energética de la categoría C se expresan como $P_{AE,eff}$, que se multiplicaría por C_{FAE} , SFC_{AE} y f_{eff} , y luego se deduciría de la fórmula del EEDI. En el caso de la tecnología de la categoría C-1, f_{eff} equivale a 1,00.

4.4.2 En el anexo 2 se presentan orientaciones para calcular y verificar los efectos de las tecnologías innovadoras de la categoría C.

4.5 Valor medio ponderado cuando $P_{PTI(i)} > 0$

4.5.1 Cuando $P_{PTI(i)} > 0$, las tecnologías de ambas categorías B y C pueden deducir el valor de $P_{PTI(i)}$. Cuando esto ocurre, se utilizan los siguientes valores para el valor medio ponderado al calcular $\Sigma(f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_F \cdot SFC)$ en la fórmula del EEDI obtenido:

para la potencia o potencias al eje:

$$(\Sigma P_{PTI(i),shaft} - \Sigma P_{AEeff} \cdot \eta_{GEN} \cdot \eta_{PTI(i)}) / (\Sigma P_{ME(i)} + \Sigma P_{PTI(i),shaft} - \Sigma P_{AEeff} \cdot \eta_{GEN} \cdot \eta_{PTI(i)}),$$

donde, si $(\Sigma P_{PTI(i),shaft} - \Sigma P_{AEeff} \cdot \eta_{GEN} \cdot \eta_{PTI(i)})$ es un valor negativo, el valor de $(\Sigma P_{PTI(i),shaft} - \Sigma P_{AEeff} \cdot \eta_{GEN} \cdot \eta_{PTI(i)})$ debería fijarse en cero; y

para el motor o motores principales:

$$\Sigma P_{ME(i)} / (\Sigma P_{ME(i)} + \Sigma P_{PTI(i),shaft} - \Sigma P_{AEeff} \cdot \eta_{GEN} \cdot \eta_{PTI(i)}),$$

donde si $\Sigma P_{PTI(i),shaft} - \Sigma P_{AEeff} \cdot \eta_{GEN} \cdot \eta_{PTI(i)}$ es un valor negativo, el valor de $(\Sigma P_{PTI(i),shaft} - \Sigma P_{AEeff} \cdot \eta_{GEN} \cdot \eta_{PTI(i)})$ debería fijarse en cero.

ANEXO 1¹

ORIENTACIONES PARA EL CÁLCULO Y VERIFICACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS TECNOLOGÍAS INNOVADORAS DE LA CATEGORÍA B

1 SISTEMA DE LUBRICACIÓN POR AIRE (CATEGORÍA B-1)

1.1 Resumen de la tecnología innovadora de eficiencia energética

1.1.1 El sistema de lubricación por aire es una de las tecnologías innovadoras de eficiencia energética. La resistencia por fricción del buque se puede reducir cubriendo la superficie del buque con burbujas de aire, que se inyectan desde la parte de la proa del fondo del buque mediante ventiladores, etc.

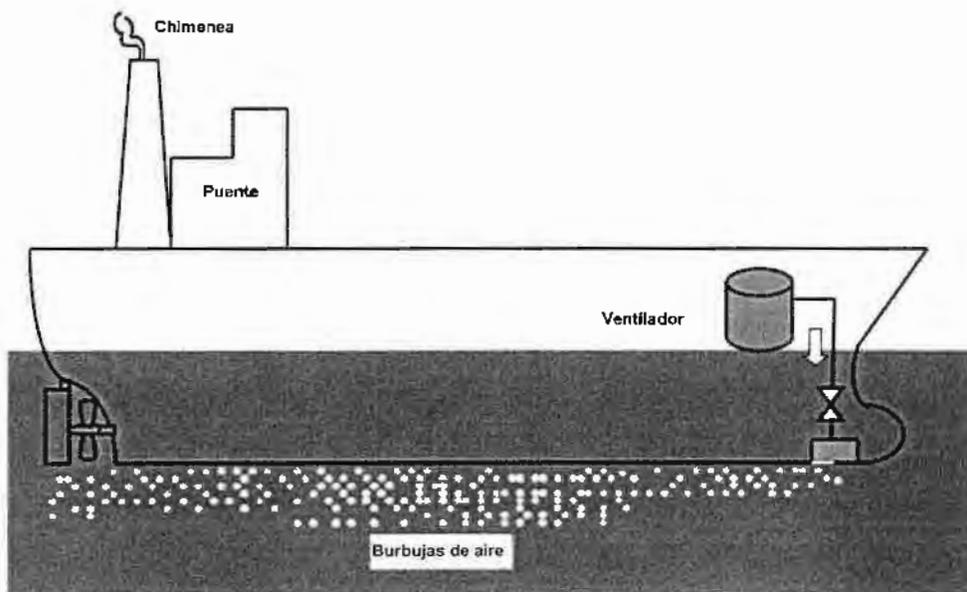


Figura 1: Ilustración esquemática del sistema de lubricación por aire

1.2 Método de cálculo

1.2.1 Reducción de la potencia mediante el sistema de lubricación por aire

1.2.1.1 El factor de reducción de la potencia P_{eff} mediante el sistema de lubricación por aire como tecnología innovadora de eficiencia energética se calcula con la fórmula siguiente. Los términos primero y segundo de la derecha representan, respectivamente, la reducción de la potencia propulsora mediante el sistema de lubricación por aire y la potencia adicional necesaria para hacer funcionar el sistema. En este sistema f_{eff} equivale a 1,0 en la fórmula del EEDI.

¹ Todos los ejemplos de este capítulo se utilizan únicamente para ilustrar los métodos de cálculo y verificación propuestos.

$$P_{eff} = P_{P_{TH(i)}} - P_{AEffAL} \frac{C_{FAE}}{C_{FME}} \frac{SFC_{AE}}{SFC_{ME}} * \quad (1)$$

Cuando $P_{PT(i)} > 0$, el valor medio ponderado de $(SFC_{ME} \cdot C_{FME})$ y $(SFC_{AE} \cdot C_{FAE})$.

1.2.1.2 P_{eff} es la reducción efectiva de potencia en kW debida al sistema de lubricación por aire al 75 % de la potencia nominal instalada (al régimen continuo máximo). Cuando haya instalados generadores acoplados al eje, P_{eff} se debería calcular al 75 % del régimen continuo máximo deduciendo la potencia absorbida por los generadores acoplados al eje que haya instalados, de conformidad con el párrafo 2.2.5 de las Directrices sobre el cálculo del EEDI. La P_{eff} debería calcularse tanto en la condición de plena carga como en la condición de prueba de mar.

1.2.1.3 P_{PeffAL} representa la reducción de la potencia propulsora debida al sistema de lubricación por aire en kW. P_{PeffAL} debería calcularse tanto en la condición correspondiente a la *Capacidad* como se define en las Directrices sobre el cálculo del EEDI (en adelante denominada "condición de plena carga"), como en la condición de prueba de mar, teniendo en cuenta los componentes siguientes:

- .1 extensión de la superficie del buque cubierta de aire;
- .2 espesor de la capa de aire;
- .3 índice de reducción de la resistencia por fricción debida a la cobertura de la capa de aire;
- .4 cambio de la eficiencia de propulsión debido a la interacción con las burbujas de aire (factores de la autopropulsión y características de la hélice en mar abierta); y
- .5 cambio de resistencia por dispositivo adicional, si éste se incluye.

1.2.1.4 P_{AEffAL} representa la potencia auxiliar adicional en kW necesaria para hacer funcionar el sistema de lubricación por aire en la condición de plena carga. P_{AEffAL} debería calcularse al 75 % de la potencia nominal de los ventiladores tomando como base el informe de pruebas del fabricante. Para un sistema en el que el valor arriba calculado sea considerablemente diferente de la potencia empleada con el funcionamiento normal en la condición de plena carga, el valor de P_{AEffAL} se podrá calcular mediante un método alternativo. En este caso el proceso de cálculo se debería someter a un verificador.

1.2.2 Puntos que deben tenerse presentes al calcular el EEDI obtenido con el sistema de lubricación por aire

1.2.2.1 La V_{ref} del párrafo 2.2.2 de las Directrices sobre el cálculo del EEDI debería calcularse con la condición APAGADO (OFF) del sistema de lubricación por aire, a fin de evitar que el efecto del sistema se contabilice dos veces.

1.2.2.2 De conformidad con las Directrices sobre el cálculo del EEDI, el valor del EEDI de los buques con el sistema de lubricación por aire ENCENDIDO (ON) debería calcularse en la condición de plena carga.

1.3 Método de verificación

1.3.1 Generalidades

1.3.1.1 El EEDI obtenido de un buque con tecnología innovadora de eficiencia energética se debería verificar de conformidad con las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI. A continuación se incluye información suplementaria sobre la aplicación del sistema de lubricación por aire que no figura en las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI.

1.3.2 Verificación preliminar en la etapa de proyecto

1.3.2.1 Además de lo dispuesto en el párrafo 4.2.2 de las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI, el expediente técnico del EEDI que todo propietario de buque o constructor está obligado a elaborar debería incluir:

- .1 descripción del sistema de lubricación por aire;
- .2 P_{PeffAL} : reducción de la potencia propulsora debida al sistema de lubricación por aire a la velocidad de V_{ref} del buque, tanto en la condición de plena carga como en la condición de prueba de mar;
- .3 EDR_{full} : índice de reducción de la potencia propulsora en la condición de plena carga debida al sistema de lubricación por aire. EDR_{full} se calcula dividiendo la $P_{MEeffAL}$ por la P_{ME} de las Directrices sobre el cálculo del EEDI en la condición de plena carga (véase la figura 2);
- .4 EDR_{trial} : índice de reducción de la potencia propulsora en la condición de prueba de mar debida al sistema de lubricación por aire. EDR_{trial} se calcula dividiendo la $P_{MEeffAL}$ por la P_{ME} de las Directrices sobre el cálculo del EEDI en la condición de prueba de mar (véase la figura 2);

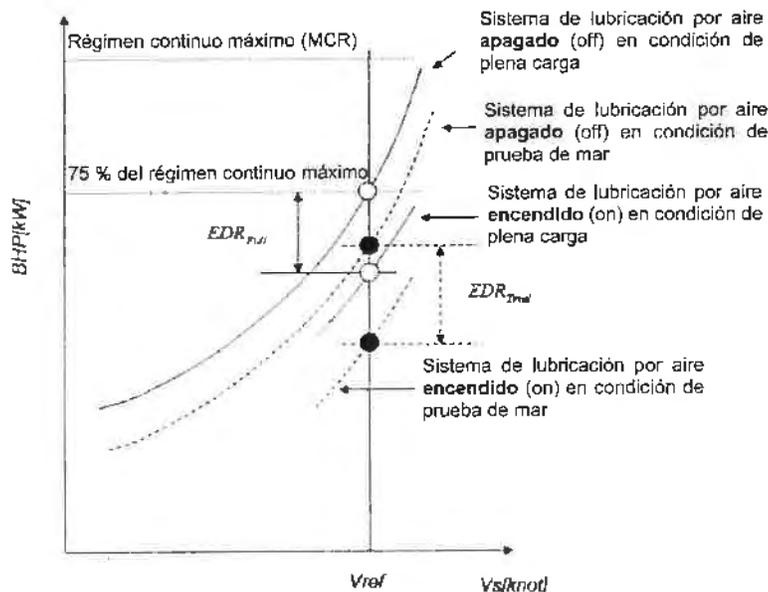


Figura 2: Cálculo del índice de reducción de la potencia propulsora (EDR_{full} y EDR_{trial}) debida al sistema de lubricación por aire

- .5 P_{AEffAL} : potencia adicional necesaria para hacer funcionar el sistema de lubricación por aire; y
- .6 valor calculado del EEDI para el sistema de lubricación por aire ENCENDIDO (ON) en la condición de plena carga.

1.3.2.2 Además de lo dispuesto en el párrafo 4.2.7 de las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI, entre la información adicional que el verificador podrá pedir que el constructor del buque suministre directamente se incluye:

- .1 el proceso detallado de cálculo de la reducción de la potencia propulsora debida al sistema de lubricación por aire: P_{PEffAL} ; y
- .2 el proceso detallado de cálculo de la potencia adicional necesaria para hacer funcionar el sistema de lubricación por aire: P_{AEffAL} .

1.3.3 Verificación definitiva del EEDI obtenido en pruebas de mar

1.3.3.1 La verificación definitiva del EEDI de los buques debida al sistema de lubricación por aire debería realizarse en pruebas de mar. El procedimiento de verificación definitiva debería ajustarse esencialmente a lo dispuesto en el párrafo 4.3 de las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI.

1.3.3.2 Antes de la prueba de mar deberían presentarse al verificador los siguientes documentos: una descripción del procedimiento de la prueba que incluya los métodos de medición que se vayan a utilizar en la prueba de mar del buque para el sistema de lubricación por aire.

1.3.3.3 El verificador debería presenciar la prueba de mar y comprobar que los elementos enumerados en el párrafo 4.3.3 de las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI se miden en la prueba de mar para el sistema de lubricación por aire ENCENDIDO (ON) y APAGADO (OFF).

1.3.3.4 La potencia del motor principal en la prueba de mar para el sistema de lubricación por aire ENCENDIDO (ON) y APAGADO (OFF) debería configurarse de forma que la gama de la curva de potencia que se desarrolle incluya la velocidad del buque V_{ref} .

1.3.3.5 El procedimiento a continuación se debería llevar a cabo tomando como base la curva de potencia que se haya desarrollado para el sistema de lubricación por aire APAGADO (OFF):

- .1 se debería calcular la velocidad del buque al 75 % del régimen continuo máximo del motor principal en la condición de plena carga, V_{ref} . Cuando haya instalados generadores acoplados al eje, la V_{ref} se debería calcular al 75 % del régimen continuo máximo deduciendo la potencia absorbida por los generadores acoplados al eje que haya instalados, de conformidad con el párrafo 2.2.5 de las Directrices sobre el cálculo del EEDI; y
- .2 cuando la V_{ref} obtenida arriba sea distinta de la estimada en la etapa de proyecto, el índice de reducción del motor principal debería volver a calcularse con la nueva V_{ref} tanto en la condición de plena carga como en la condición de prueba de mar.

1.3.3.6 El constructor del buque debería desarrollar curvas de potencia para el sistema de lubricación por aire ENCENDIDO (ON), tomando como base la velocidad del buque y la potencia del motor principal medidas en la prueba de mar. Se deberían realizar los cálculos siguientes:

1. el índice real de reducción de la potencia propulsora ADR_{trial} a la velocidad del buque de V_{ref} en la prueba de mar; y
2. cuando la prueba de mar no se realice en la condición de plena carga, el índice de reducción de la potencia propulsora en dicha condición se calculará mediante la fórmula siguiente:

$$1 - ADR_{Full} = (1 - EDR_{Full}) \times \frac{1 - ADR_{Trial}}{1 - EDR_{Trial}}$$

es decir:

$$ADR_{Full} = 1 - (1 - EDR_{Full}) \times \frac{1 - ADR_{Trial}}{1 - EDR_{Trial}} \quad (2)$$

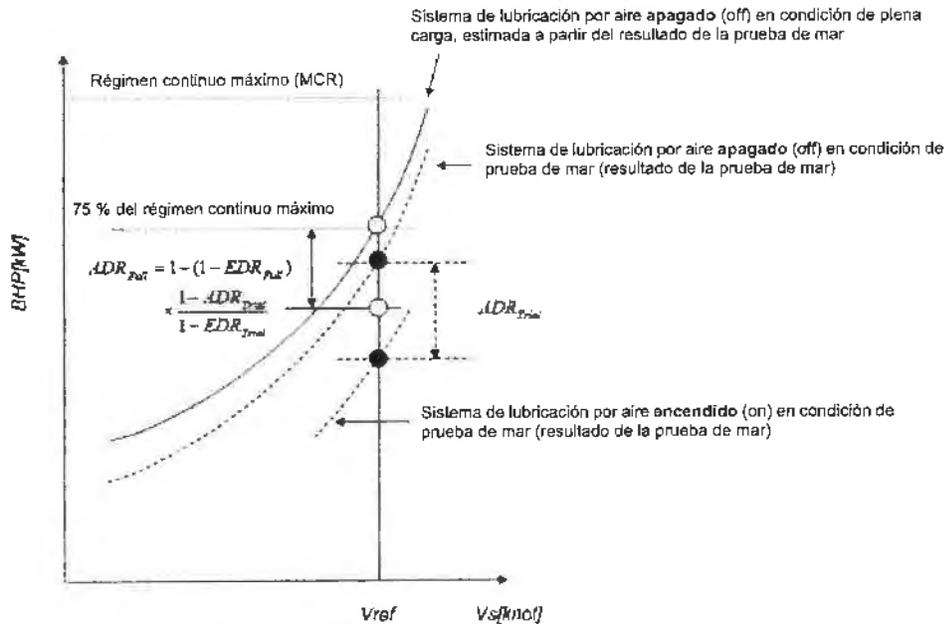


Figura 3: Cálculo del índice real de la reducción de la potencia propulsora (ADR_{full} y ADR_{trial}) debida al sistema de lubricación por aire

1.3.3.7 La reducción de la potencia propulsora debida al sistema de lubricación por aire P_{MEBVAL} en la condición de plena carga y en la condición de prueba de mar se debería calcular como sigue:

$$P_{MEBVAL_Full} = ADR_{Full} \times P_P \quad (3)$$

$$P_{MEBVAL_Trial} = ADR_{Trial} \times P_P \quad (4)$$

1.3.3.8 El propietario del buque o el constructor deberían revisar el expediente técnico del EEDI en caso necesario, teniendo en cuenta el resultado de la prueba de mar. La revisión incluirá lo siguiente:

- .1 la V_{ref} , si es distinta de la estimada en la etapa de proyecto;
- .2 la reducción de la potencia propulsora P_{PeffAL} a la velocidad del buque de V_{ref} en la condición de plena carga y en la condición de prueba de mar, para el sistema de lubricación por aire ENCENDIDO (ON);
- .3 el índice de la reducción de la potencia propulsora debida al sistema de lubricación por aire (ADR_{full} y ADR_{trial}) en la condición de plena carga y en la condición de prueba de mar; y
- .4 el valor calculado del EEDI para el sistema de lubricación por aire ENCENDIDO (ON) en la condición de plena carga.

2 SISTEMA DE PROPULSIÓN ASISTIDA POR EL VIENTO (CATEGORÍA B-2)

2.1 Resumen de la tecnología innovadora de eficiencia energética

2.1.1 Los sistemas de propulsión asistida por el viento (WAPS) forman parte de las tecnologías innovadoras de eficiencia de la energía mecánica que reducen las emisiones de CO₂ de los buques. Existen distintos tipos de tecnologías de propulsión eólica (velas, alerones, cometas, etc.) que generan fuerzas dependiendo de las condiciones del viento. En la presente orientación técnica se define la potencia efectiva disponible de los sistemas de propulsión asistida por el viento (WAPS) como el producto de la velocidad de referencia y la suma de la potencia del sistema de propulsión asistida por el viento y la distribución de la probabilidad eólica mundial.

2.1.2 A efectos de estas directrices no se tienen en cuenta los efectos secundarios de la aplicación del sistema de propulsión asistida por el viento que puedan aumentar la resistencia del buque. Con esta simplificación se ignoran efectos como, por ejemplo, la resistencia adicional debida al abatimiento, el ángulo del timón y la escora o la reducción de la eficiencia de la hélice en condición de servicio en rosca, sin que se produzca una pérdida considerable de precisión. No obstante, se considera que las fuerzas correspondientes no pueden generar condiciones que no permitan un funcionamiento en condiciones de seguridad del buque, por ejemplo, debido a la superación de los ángulos de escora.

2.2 Definiciones

2.2.1 A efectos de las presentes directrices se aplicarán las siguientes definiciones:

- .1 *potencia efectiva disponible*: la multiplicación de la potencia efectiva P_{eff} y el factor de disponibilidad f_{eff} según se definen en el cálculo del EEDI;
- .2 *sistemas de propulsión asistida por el viento (WAPS)*: forman parte de las tecnologías innovadoras de eficiencia de la energía mecánica que reducen las emisiones de CO₂ de los buques. Las directrices propuestas se aplican a las tecnologías de propulsión eólica que transfieren la potencia de propulsión mecánica directamente a la estructura del buque (velas, alerones, cometas, etc.);
- .3 *matriz de potencia del sistema de propulsión eólica*: matriz bidimensional que expresa la característica de potencia de un sistema de propulsión asistida por el viento, la cual depende de la velocidad del buque, la velocidad del viento y el ángulo del viento relativo al rumbo del buque;
- .4 *matriz de probabilidad eólica mundial*: contiene datos sobre la energía eólica a escala mundial en las principales rutas marítimas del mundo basados en un estudio estadístico de los datos eólicos mundiales y representa la probabilidad de las condiciones de viento;
- .5 *velocidad del viento*: la velocidad del viento en m/s medida a 10 m de altura sobre el nivel del mar;
- .6 *dirección del viento*: dirección del viento, en relación con el norte, medida a 10 m de altura sobre el nivel del mar; se subdivide en ocho cuadrantes (norte, noreste, este, sureste, sur, suroeste, oeste, noroeste);

- .7 *ángulo del viento*: ángulo del viento en relación con el rumbo del buque a 10 m de altura sobre el nivel del mar; se subdivide en 72 sectores de 5° de ángulo (0°, 5°, ..., 355°); y
- .8 *principal red mundial de transporte marítimo*: red de rutas marítimas mundiales con la mayor frecuencia de viajes.

2.3 Potencia efectiva disponible de los sistemas de propulsión asistida por el viento (WAPS)

2.3.1 La potencia efectiva disponible de los sistemas de propulsión asistida por el viento, como tecnología innovadora de la eficiencia energética, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$(f_{\text{eff}} \cdot P_{\text{eff}}) = \left(\frac{1}{\sum_{k=1}^q W_k} \right) \cdot \left(\left(\frac{0,5144 \cdot V_{\text{ref}}}{\eta_D} \sum_{k=1}^q F(V_{\text{ref}})_k \cdot W_k \right) - \left(\sum_{k=1}^q P(V_{\text{ref}})_k \cdot W_k \right) \right)$$

$$\text{con } F_1 - F_k \geq 0 \wedge F_{k-1} - F_k \geq 0$$

(se ordenan todos los elementos de la matriz de potencia en orden descendente)

$$\text{y } \sum_{k=1}^{q-1} W_k < \frac{1}{2} \wedge \sum_{k=1}^q W_k \geq \frac{1}{2}$$

(se define q: el número de los elementos añadidos en la fórmula)

donde:

- .1 $(f_{\text{eff}} \cdot P_{\text{eff}})$ es la potencia efectiva disponible en kW proporcionada por el sistema de propulsión asistida por el viento especificado. f_{eff} y P_{eff} están combinados en el cálculo ya que el producto de la disponibilidad y la potencia es el resultado de una operación realizada con matrices, en la que se tiene en cuenta cada condición del viento con una probabilidad y una potencia específica del sistema de propulsión eólica;
- .2 el factor 0,5144 es el factor de conversión de millas marinas por hora (nudos) a metros por segundo (m/s);
- .3 V_{ref} es la velocidad de referencia del buque medida en millas marinas por hora (nudos), según se define en las Directrices sobre el cálculo del EEDI;
- .4 η_D es la eficiencia total del (de los) impulsor(es) principal(es) al 75 % de la potencia nominal (MCR) del (de los) motor(es) principal(es). η_D se fijará en 0,7 si el verificador no especifica ni verifica otro valor;
- .5 $F(V_{\text{ref}})_k$ es la matriz de potencia del correspondiente sistema de propulsión asistida por el viento para una determinada velocidad del buque (V_{ref}). Cada elemento de la matriz representa la potencia de propulsión en kilonewton (kN) para la velocidad y el ángulo del viento correspondientes. El ángulo del viento se indica en demoras relativas (siendo 0° viento de proa);

- .6 W_k es la matriz de probabilidad eólica mundial. Cada elemento de la matriz representa la probabilidad de la velocidad del viento y el ángulo del viento en relación con el rumbo del buque. La suma de todos los elementos de la matriz equivale a 1 y es adimensional; y
- .7 $P(V_{ref})_k$ es una matriz con las mismas dimensiones que $F(V_{ref})_k$ y W_k , y representa la demanda de potencia en kW para que opere el sistema de propulsión asistida por el viento.

2.3.2 En el primer término de la fórmula se define la potencia de propulsión adicional que habrá de considerarse en el cálculo general del EEDI. El término contiene el producto de la velocidad específica del buque, la matriz de potencia y la matriz de probabilidad eólica mundial. El segundo término contiene el requisito de potencia para que opere el sistema de propulsión asistida por el viento específico que ha de sustraerse de la potencia eólica obtenida.

2.4 Matriz de potencia del sistema de propulsión eólica $F(V_{ref})_k$

2.4.1 Medición de los coeficientes de propulsión eólica

2.4.1.1 La matriz de potencia del sistema de propulsión eólica es un cuadro que describe los coeficientes medios de propulsión eólica correspondientes a la matriz de probabilidad eólica mundial. Por lo tanto, en primer lugar tiene que hacerse la medición de los coeficientes de propulsión eólica para obtener la matriz de potencia del sistema de propulsión eólica.

2.4.1.2 Para determinar las fuerzas aerodinámicas de un buque asistido por el viento se pueden utilizar varios métodos, dependiendo en primer lugar del tipo de sistema de propulsión asistida por el viento, pero también de las limitaciones de tamaño y de la validación satisfactoria de los métodos ya presentados en documentación existente. Estos métodos son los siguientes:

- .1 pruebas con modelos en túnel de viento;
- .2 cálculos de dinámica de fluidos computacional (CFD)/numéricos; y
- .3 pruebas a escala real.

2.4.1.3 Las fuerzas deben determinarse para la combinación de sistema de propulsión asistida por el viento y buque, a menos que no sea práctico por razones técnicas o económicas. En este último caso se aplican las condiciones del párrafo 2.4.1.4.

2.4.1.4 En el caso de la instalación de múltiples sistemas de propulsión asistida por el viento, pueden determinarse las potencias para los dispositivos de forma aislada y haciendo la suma de los coeficientes de cada una de las unidades que componen el sistema, siempre que exista un método validado para tener en cuenta los efectos de interacción entre los propulsores eólicos y entre el buque y los propulsores eólicos.

2.4.1.5 Los dispositivos de propulsión eólica deben analizarse con su número de Reynolds operacional, ya que se ha demostrado que esto afecta a su rendimiento.

2.4.1.6 La prueba con modelos en túnel de viento es uno de los principales métodos para medir la fuerza aerodinámica de los sistemas de propulsión asistida por el viento del buque en situaciones típicas. En el apéndice 1 de este anexo se describen los métodos de las pruebas con modelos en túnel de viento. Si los coeficientes de propulsión eólica se miden

mediante la prueba con modelos en túnel de viento, esto debe realizarse de conformidad con lo estipulado en el apéndice 1.

2.4.1.7 Para algunos tipos de sistemas de propulsión asistida por el viento, las pruebas con modelos en túnel de viento no son apropiadas para medir los coeficientes de propulsión eólica. Por lo tanto, pueden aceptarse cálculos numéricos, como los cálculos de dinámica de fluidos computacional (CFD), para estimar los coeficientes de propulsión eólica, pero la condición y el modelo del cálculo numérico deben remitirse a los resultados experimentales representativos y el cálculo numérico debe realizarse de acuerdo con normas técnicas y de calidad definidas (ITTC 7.5-03-01-02 e ITTC 7.5-03-01-04 en sus últimas versiones revisadas o equivalentes). Si tanto las pruebas con modelos en túnel de viento como los cálculos numéricos son inadecuados para estimar el coeficiente, podrá aceptarse otro método de prueba con la aprobación del verificador.

2.4.1.8 Cuando se realice una prueba o un cálculo para determinar los coeficientes de propulsión eólica, debería presentarse el procedimiento de la prueba o del cálculo al verificador antes de realizar la prueba o el cálculo. Además, también deberían presentarse al verificador el informe detallado de la prueba y el procedimiento de cálculo después de la prueba. El verificador podrá solicitar al remitente que proporcione más documentos/información, según sea necesario, para verificar los coeficientes de propulsión eólica.

2.4.1.9 La prueba de un modelo de buque sin sistema de propulsión asistida por el viento mide principalmente las fuerzas que ejerce el viento en el modelo de buque en relación con la proa y desde diferentes direcciones. La prueba de un modelo de buque con sistema de propulsión asistida por el viento mide principalmente la propulsión eólica máxima del modelo de buque hacia proa y con diferentes direcciones del viento, la cual posteriormente se utiliza para calcular el coeficiente de propulsión eólica del sistema. Los coeficientes del sistema de propulsión asistida por el viento deben determinarse para una serie de ángulos del viento que van de 0° a 360°, espaciados a intervalos de 5°.

2.4.1.10 Se podrá aceptar una única prueba en túnel de viento para varios sistemas de propulsión asistida por el viento idénticos y buques idénticos. El verificador podrá solicitar que se presente la documentación justificativa.

2.4.2 Métodos para las pruebas en túnel de viento y procesamiento de datos

Opción 1: Prueba con un modelo de buque equipado con sistema completo de propulsión asistida por el viento

2.4.2.1 Cuando la prueba en túnel de viento se realiza con el modelo de buque y el modelo de sistema de propulsión asistida por el viento, el método de prueba debería seguir las especificaciones que figuran en el apéndice 1. Las fuerzas eólicas que actúan sobre el modelo de buque se calculan de la manera siguiente:

$$C_{Fx} = F_x / (0,5 \rho V^2 A)$$

2.4.2.2 Los coeficientes de propulsión eólica² del sistema de propulsión asistida por el viento pueden determinarse de la siguiente manera:

$$\Delta C_{Fx} = C_{Fx-withWAPS} - C_{Fx-withoutWAPS}$$

² Los coeficientes de la potencia no tienen dimensiones; las unidades para calcularlos pueden elegirse libremente, pero deben ser coherentes entre sí.

donde:

- .1 C_{Fx} es el coeficiente de la potencia eólica del modelo que apunta a proa;
- .2 F_x es la potencia eólica del modelo que apunta a proa;
- .3 ΔC_{Fx} es el coeficiente de propulsión eólica del sistema de propulsión asistida por el viento;
- .4 ρ es la densidad del aire de la prueba con modelo;
- .5 V es la velocidad del aire de la prueba con modelo;
- .6 A es el total del área proyectada del sistema de propulsión asistida por el viento; y
- .7 el subíndice "with WAPS" significa la condición con sistema de propulsión asistida por el viento del modelo de buque, mientras que "without WAPS" significa la condición sin sistema de propulsión asistida por el viento del buque.

Opción 2: Prueba con una sola unidad de propulsión asistida por el viento

2.4.2.3 Cuando la prueba en túnel de viento se realiza con una sola unidad de propulsión eólica, el método de prueba debería seguir las especificaciones que figuran en el apéndice 1. Los coeficientes de propulsión eólica³ del modelo pueden calcularse de la manera siguiente:

$$C_{Fx} = F_x / (0,5 \rho V^2 A)$$

donde:

- .1 C_{Fx} es el coeficiente de la potencia eólica del modelo que apunta a proa;
- .2 F_x es la potencia eólica del modelo que apunta a proa;
- .3 ρ es la densidad del aire de la prueba con modelo;
- .4 V es la velocidad del aire de la prueba con modelo; y
- .5 A es el total del área proyectada del sistema de propulsión asistida por el viento.

2.4.2.4 Los coeficientes de propulsión eólica (ΔC_{Fx}) de los sistemas de propulsión asistida por el viento de varias unidades pueden calcularse sumando los coeficientes de las unidades que componen el sistema, ponderados por los efectos de la interacción y el apantallamiento de las superestructuras.

³ Los coeficientes de la potencia no tienen dimensiones; las unidades para calcularlos pueden elegirse libremente, pero deben ser coherentes entre sí.

Para las opciones 1 y 2: Cálculo de los coeficientes medios de consumo de energía del sistema de propulsión asistida por el viento activo durante la prueba en túnel de viento

2.4.2.5 Se debe medir el consumo de energía del sistema de propulsión asistida por el viento y rellenar la matriz de consumo de energía basándose en los valores medidos y en el plan de control de los sistemas.

2.4.3 Cálculo de la matriz de potencia del sistema de propulsión eólica

2.4.3.1 Los coeficientes de propulsión eólica⁴ del sistema de propulsión asistida por el viento del buque pueden utilizarse para predecir la matriz de potencia del sistema de propulsión eólica. El viento aparente se define como la combinación resultante del viento en relación con la superficie del mar y el viento generado por la velocidad del buque. Los pasos para calcular la matriz de potencia del sistema de propulsión eólica son los siguientes:

- .1 determinar la velocidad del buque (V_{ref});
- .2 seleccionar la velocidad media del viento que corresponda a los términos en W_k , la matriz de probabilidad eólica mundial, a 10 m de altura. Por ejemplo, se considera que la velocidad media del viento correspondiente a la primera banda de velocidades del viento (0-1 m/s) de la matriz de probabilidad eólica es de 0,5 m/s; se considera que la velocidad media del viento correspondiente a la segunda banda de velocidades del viento (1-2 m/s) es de 1,5 m/s, etc.;
- .3 extrapolar la velocidad del viento a la altura de referencia de los sistemas de propulsión asistida por el viento, tomada como la altura del centro de esfuerzo aerodinámico o la mitad de la altura desde la línea de flotación:

$$v_{z_{ref}} = v_{10m} \left(\frac{z_{ref}}{10} \right)^\alpha \text{ para } z_{ref} < 300m$$

$$v_{z_{ref}} = v_{10m} \left(\frac{300}{10} \right)^\alpha \text{ para } z_{ref} \geq 300m$$

donde:

- .1 z_{ref} es la altura de referencia por encima de la línea de flotación, que debe ser igual a la mitad de la altura de cada vela, rotor Flettner, etc., del sistema de propulsión asistida por el viento;
- .2 v_{10m} es la velocidad del viento a 10 m de altura sobre el nivel del mar;
- .3 $v_{z_{ref}}$ es la velocidad del viento resultante a la altura de referencia; y

⁴ Los coeficientes de la potencia no tienen dimensiones; las unidades para calcularlos pueden elegirse libremente, pero deben ser coherentes entre sí.

- .4 α se toma como 1/9 de acuerdo con las recomendaciones de la ITTC.⁵
- .4 según la velocidad media correspondiente del viento, el ángulo de dirección del viento y la velocidad del buque, calcular la velocidad del viento relativo (V_k) y el ángulo de dirección del viento relativo en el buque;
- .5 según el ángulo de dirección del viento relativo, y la relación correspondiente entre el ángulo de dirección del viento relativo y el coeficiente de propulsión eólica (ΔC_{Fx}) obtenido con la prueba, calcular los coeficientes medios de propulsión eólica ($\Delta C_{Fx})_k$ correspondientes a W_k del sistema de propulsión asistida por el viento; y
- .6 según el coeficiente medio de propulsión eólica del sistema de propulsión asistida por el viento, calcular los términos de la matriz de potencia del sistema de propulsión eólica $F(V_{ref})_k$ del buque a escala real correspondientes a W_k aplicando la siguiente fórmula:

$$F(V_{ref})_k = (\Delta C_{Fx})_k * (0,5 \rho V_k^2 A)$$

donde:

- .1 $(\Delta C_{Fx})_k$ son los coeficientes medios de propulsión eólica correspondientes a W_k ;
- .2 ρ es la densidad media del aire en el entorno del transporte marítimo ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$);
- .3 V_k es la velocidad del viento relativo en un buque a escala real correspondiente a W_k ;
- .4 A es el total del área proyectada del sistema de propulsión asistida por el viento;
- .5 es posible modificar los reglajes del propulsor eólico para encontrar el mejor $(\Delta C_{Fx})_k$; esto puede hacerse por interpolación, siempre que los incrementos de los reglajes sean lo suficientemente pequeños;
- .6 los reglajes y el despliegue del sistema de propulsión asistida por el viento deben respetar las restricciones operacionales definidas para el sistema (por ejemplo, una velocidad máxima del viento a efectos operacionales, si es inferior a la prevista en la matriz de probabilidad eólica mundial, > Beaufort 8, 19 m/s);
- .7 se debe tener en cuenta la posible resistencia al viento inducida por el sistema, como, por ejemplo, en las direcciones de viento inutilizables cercanas al viento en contra y cuando los sistemas no

⁵ Conferencia internacional de canales de experiencias hidrodinámicas (ITTC), "ITTC – Recommended Procedures and Guidelines: Preparation, Conduct and Analysis of Speed/Power Trial", Conferencia internacional de canales de experiencias hidrodinámicas (ITTC), 7.5-04-01-01.1, 2017.

Nota: La ITCC no proporciona orientaciones para velocidades del viento por encima de más de 300 m de altura. Sin embargo, en estas orientaciones se supone que el viento es constante por encima de los 300 m de altura.

están operacionales debido a que se hayan superado los límites operacionales; y

- .8 si $F(V_{ref})_k$ supera la resistencia del buque, de manera que el empuje del impulsor sería negativo, $F(V_{ref})_k$ debe limitarse al valor de la resistencia.

2.4.4 Examen de los límites operacionales de los sistemas de propulsión asistida por el viento y de las fuerzas laterales y los momentos de guiñada

2.4.4.1 La fuerza $F(V_{ref})_k$ debe calcularse solamente cuando se encuentre dentro del dominio operacional aplicable al sistema de propulsión asistida por el viento. Estas limitaciones operacionales pueden ser causadas, como mínimo, por las condiciones del viento o por las fuerzas totales generadas por el sistema de propulsión asistida por el viento que se aplican al buque.

2.4.4.2 $F(V_{ref})_k$ debe ser cero para cualquier par (dirección del viento; fuerza del viento) que no se ajuste al dominio operacional del sistema de propulsión asistida por el viento validado por el verificador en el manual de funcionamiento del sistema de propulsión asistida por el viento y el buque.

2.4.4.3 Las fuerzas laterales ejercidas en el buque por el sistema de propulsión asistida por el viento y el momento de guiñada resultante pueden afectar el rendimiento del sistema y, por tanto, el cálculo del EEDI. Por ello, el constructor naval y/o el fabricante del sistema de propulsión deben documentar las fuerzas laterales aplicadas en el buque y los momentos de guiñada generados en el buque por el sistema de propulsión asistida por el viento, y el verificador los debe constatar. Estos datos pueden obtenerse sin esfuerzo adicional durante las pruebas descritas en el párrafo 2.4.1 de la presente circular.

2.4.4.4 La conformidad con el dominio operacional requiere que, para cualquier par (dirección del viento; fuerza del viento), y teniendo en cuenta las fuerzas totales generadas por el sistema de propulsión asistida por el viento (es decir, incluyendo las fuerzas laterales del buque y los momentos de guiñada), la resistencia del sistema de propulsión asistida por el viento, las fuerzas en el enclavamiento y la escora del buque se ajusten a lo estipulado en el expediente del proyecto estructural y en el cuadernillo de estabilidad del buque, respectivamente. Cuando las fuerzas laterales y el momento de guiñada sean particularmente elevados, el verificador podrá solicitar demostraciones de mantenimiento del rumbo y del ángulo del timón para validar la conformidad con el dominio operacional.

2.5 La matriz de probabilidad eólica mundial W_k

2.5.1 Probabilidades de vientos

2.5.1.1 Las condiciones del viento no son constantes. La velocidad y dirección de los vientos varían con el tiempo. Las expectativas del viento son distintas en las distintas regiones de la Tierra.

2.5.1.2 Sin embargo, cada expectativa de viento puede expresarse en un patrón de probabilidad de viento distintivo para cada punto particular en el planeta. Siempre hay una cierta probabilidad de que el viento tenga una determinada dirección y velocidad. Estas probabilidades están documentadas en las cartas de vientos. Con este enfoque, cada región geográfica tiene una carta de vientos particular.

2.5.2 Ángulos de los vientos relativos al buque

2.5.2.1 Para los sistemas de propulsión asistida por el viento, no es pertinente si el viento viene del norte o del sur. Lo único que cuenta es el ángulo del viento en relación con el rumbo del buque. En consecuencia, cuando se aplican a los sistemas de propulsión asistida por el viento en una ruta comercial, las direcciones del viento indicadas en los datos meteorológicos deben recalcularse en relación con el rumbo de los buques, donde 0° significa viento de proa, 90° viento de la banda de estribor, 180° de popa y 270° de la banda de babor.

2.5.3 Principal red mundial de transporte marítimo

2.5.3.1 Para crear un cuadro mundial de probabilidad de vientos para el cálculo del EEDI del sistema de propulsión asistida por el viento, se requiere la media de todas las condiciones de viento a lo largo de las principales rutas marítimas mundiales.

2.5.3.2 En la figura 1 puede verse la principal red mundial de transporte marítimo utilizada para determinar las condiciones del viento a nivel mundial. A lo largo de las rutas mostradas se analizaron 106 cartas de condiciones de viento. Estos gráficos se basan en 868 500 datos de viento.

2.5.3.3 Las cartas de condiciones del viento para cada posición se recalcularon primero en coordenadas de rumbo del buque y luego se promediaron para formar una carta mundial de condiciones del viento. Los resultados se ven en la figura 2; la carta completa (la matriz de probabilidad eólica mundial) se presenta en forma de cuadro en el apéndice 2 de este anexo.

2.5.3.4 Cada elemento de la matriz W_k representa la probabilidad de la velocidad y el ángulo del viento específicos en relación con el rumbo del buque. La suma de todos los elementos de la matriz equivale a 1 (1,0), lo que representa el 100 % de todas las condiciones de viento.

2.5.3.5 Los resultados muestran que los vientos de proa o de popa ocurren con más frecuencia que los vientos de las bandas. Hay dos posibles razones para explicar este fenómeno:

- .1 las rutas marítimas y los sistemas meteorológicos mundiales están más orientados este-oeste que norte-sur; y
- .2 las rutas marítimas y los vientos están influenciados por las costas, por lo que, en algunas regiones, tienden a ser paralelos.

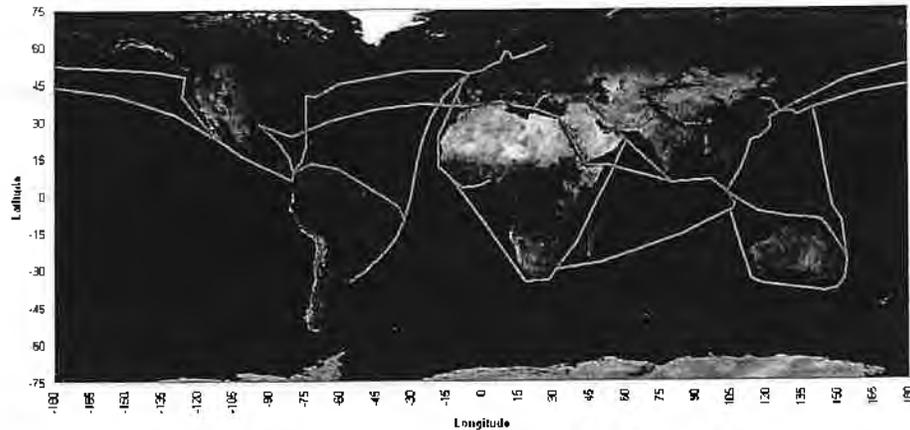


Figura 1: Principal red mundial de transporte marítimo utilizada para generar la carta de vientos

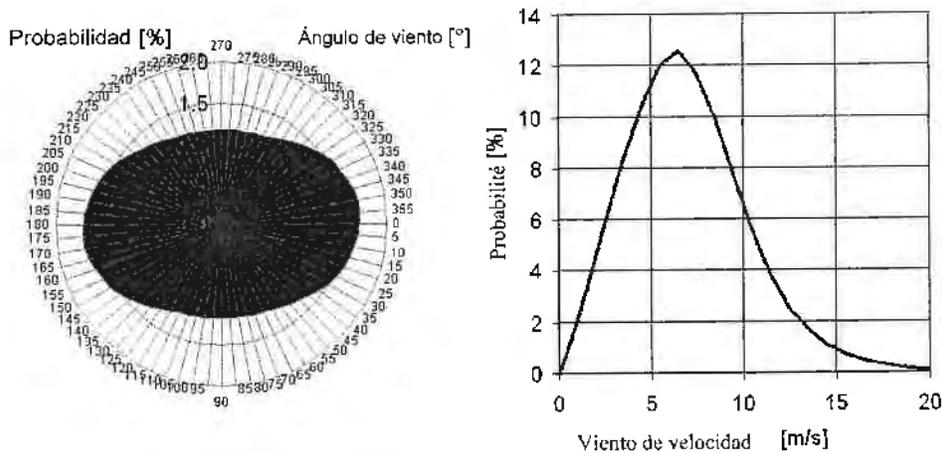


Figura 2: Curvas de vientos resultantes en las principales rutas marítimas mundiales en relación con el buque

2.6 Determinación de la reducción efectiva del CO₂ mediante el uso de sistemas de propulsión asistida por el viento

2.6.1 A fin de calcular la reducción del CO₂ es preciso multiplicar la potencia efectiva disponible ($f_{\text{eff}} * P_{\text{eff}}$) por el factor de conversión C_{FME} y SFC_{ME} según se establece en la fórmula original del EEDI.

2.7 Verificación de los sistemas de propulsión asistida por el viento en el proceso de certificación del EEDI

2.7.1 Generalidades

2.7.1.1 La verificación del EEDI con tecnologías innovadoras de eficiencia energética debería llevarse a cabo de conformidad con las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI. A continuación se describen elementos adicionales de las tecnologías innovadoras de eficiencia energética que no se incluyen en las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI.

2.7.2 Verificación preliminar en la etapa de proyecto

2.7.2.1 Además de lo dispuesto en el párrafo 4.2.2 de las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI, el expediente técnico del EEDI que todo propietario de buque o constructor está obligado a elaborar debería incluir:

- .1 una descripción de los sistemas de propulsión asistida por el viento; y
- .2 el valor calculado del EEDI como resultado del sistema de propulsión asistida por el viento.

2.7.2.2 Además de lo dispuesto en el párrafo 4.2.7 de las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI, el verificador podrá pedir que el constructor del buque suministre información adicional. Ésta incluye:

- .1 el proceso detallado de cálculo de la matriz de potencia del sistema de propulsión eólica $F(V_{ref})_k$ y resultados de los ensayos de rendimiento.

2.7.2.3 Para evitar efectos perniciosos en la estructura o en el impulsor principal del buque, durante el proceso de certificación del EEDI se debería determinar de qué modo influirán en el buque las fuerzas añadidas. En caso necesario, los elementos de la matriz de potencia del sistema de propulsión eólica podrán limitarse a restricciones específicas de los buques. Deberían comprobarse los medios técnicos para restringir la potencia del sistema de propulsión eólica como parte del ensayo de rendimiento.

2.7.2.4 Cuando en el proceso de certificación del EEDI se someta a aprobación más de una tecnología innovadora de eficiencia energética, convendrá considerar la interacción que pueda darse entre ellas. En la información adicional presentada al verificador en el proceso de certificación se incluirá la documentación técnica pertinente.

2.7.3 Verificación definitiva del EEDI obtenido

2.7.3.1 La potencia neta total generada por los sistemas de propulsión asistida por el viento debería confirmarse basándose en la documentación del expediente técnico del EEDI. Para la verificación definitiva, el verificador del EEDI debe comprobar que la configuración del sistema de propulsión asistida por el viento instalado coincide con el sistema descrito en el expediente técnico del EEDI.

APÉNDICE 1

MÉTODO DE PRUEBAS CON MODELOS EN TÚNEL DE VIENTO

De conformidad con lo dispuesto en el párrafo 2.4.1 de la presente circular, se definen dos métodos de prueba:

- .1 opción 1: Prueba con un modelo de buque equipado con sistema completo de propulsión asistida por el viento; y
- .2 opción 2: Prueba con un modelo completo de una sola unidad de propulsión eólica.

Opción 1: Prueba con un modelo de buque equipado con sistema completo de propulsión asistida por el viento

1 Modelo

1.1 El modelo del sistema de propulsión asistida por el viento y el modelo del casco deben hacerse de forma similar a la forma real, pero en el modelo podrán omitirse los apéndices que no afectan a las características aerodinámicas (por ejemplo, pasamanos, molinetes, etc.).

1.2 La condición de calado del modelo de casco debe corresponder a la "capacidad" definida en las Directrices para el cálculo del EEDI.

1.3 El modelo del casco se conecta con la plataforma giratoria a través de un equilibrio de fuerzas y el ángulo de dirección del viento en el modelo del buque se modifica variando el ángulo de la plataforma giratoria.

2 Condiciones de la prueba

2.1 En las pruebas con modelos en túnel de viento de matriz eólica del sistema de propulsión asistida por el viento de un buque debe satisfacerse tanto el criterio de similitud dinámica como el de similitud geométrica. Es decir, cuando la velocidad del viento de la prueba supera una cierta velocidad del viento crítica, el coeficiente eólico adimensional tiende a ser estable, y el flujo alrededor del modelo es similar al del buque real. El coeficiente eólico medido puede extrapolarse directamente al buque real. Durante la prueba se determina la velocidad del viento crítica con una prueba de velocidad de viento variable.

2.2 En las pruebas con modelos en túnel de viento los chapiteles y los elementos rugosos se disponen en el frente de la sección de pruebas y se obtiene el campo eólico de la capa límite atmosférica sobre la superficie oceánica en la escala del modelo para la prueba de matriz eólica. El número de Reynolds de la prueba debe ser superior a $1,0 \times 10^6$. El número de Reynolds (Re) se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot L_{pp}}{\mu}$$

donde ρ y μ son la densidad y la viscosidad del aire, respectivamente, U es la velocidad del viento y L_{pp} es la longitud entre perpendiculares del modelo de buque.

2.3 El porcentaje de bloqueo no debe ser superior al 5 %. Esta relación se calcula dividiendo el área transversal proyectada del modelo por el área de la sección transversal del túnel de viento.

3 Método de prueba

3.1 A igual dirección del viento en el casco, los coeficientes de propulsión eólica del sistema de propulsión asistida por el viento son diferentes según los diferentes ángulos de incidencia del viento. A fin de obtener los coeficientes de propulsión eólica máxima del sistema de propulsión asistida por el viento en cada uno de los ángulos de la dirección del viento en el casco, el plan de pruebas debería incluir:

- .1 mediciones de las características de la potencia aerodinámica del modelo de buque sin sistema de propulsión asistida por el viento en una serie de ángulos del viento que vayan de 0° a 360°, en intervalos de 5°, que podrían extenderse a intervalos de 10° solamente para las direcciones desde el través hasta la popa;
- .2 mediciones de las características de la potencia aerodinámica del modelo de buque con sistema de propulsión asistida por el viento en una serie de ángulos del viento que vayan de 0° a 360°, en intervalos de 5° o 10°; los ángulos de incidencia del sistema de propulsión asistida por el viento van de 0° a 180°, con intervalos de 5° o 10° en cada ángulo del viento para el modelo de buque. Alrededor de los coeficientes máximos de propulsión eólica se debería trabajar con menores intervalos de los ángulos de incidencia; y
- .3 en los casos en que las mediciones se realicen con intervalos de 10° deberá interpolarse cada característica de fuerza intermedia (es decir, F_x a 5°, 15°, 25°...) utilizando los resultados de las mediciones.

3.2 En los casos en los que la forma del buque y el sistema de propulsión asistida por el viento sean simétricos a estribor y a babor los coeficientes de propulsión eólica también serán simétricos y, por tanto, se podrán omitir las mediciones para una serie de ángulos del viento que vayan de 0° a 180° o de 180° a 360°.

3.3 Si el sistema de propulsión asistida por el viento tiene una estructura que puede variarse y controlarse, como las velas o los rotores, el modelo del sistema de propulsión asistida por el viento puede disponerse como el ángulo del viento, la velocidad del rotor u otra estructura controlable para lograr un máximo de potencia desarrollada por el viento o para reducir a un mínimo la resistencia del viento.

Opción 2: Prueba con un modelo completo de una sola unidad de propulsión eólica

4 Modelo

4.1 Deberían tenerse en cuenta los efectos del casco y de las superestructuras mediante acciones correctivas que tengan en cuenta la zona apantallada y la distancia. Si se instalan varias unidades de propulsión eólica a bordo del buque, deberían tenerse en cuenta las interacciones aerodinámicas entre ellas aplicando medidas correctivas. El verificador podrá solicitar documentación a quien realizó la prueba para comprobar que se han tenido en cuenta estos efectos.

4.2 El modelo de la unidad de propulsión eólica se conecta con la plataforma giratoria a través de un equilibrio de fuerzas y el ángulo de dirección del viento en el modelo del buque se modifica variando el ángulo de la plataforma giratoria.

5 Condiciones de la prueba

5.1 En las pruebas con modelos en túnel de viento de matriz eólica del sistema de propulsión asistida por el viento de un buque debe satisfacerse tanto el criterio de similitud dinámica como el de similitud geométrica. Es decir, cuando la velocidad del viento de la prueba supera una cierta velocidad del viento crítica, el coeficiente eólico adimensional tiende a ser estable, y el flujo alrededor del modelo es similar al del buque real. El coeficiente eólico medido puede extrapolarse directamente al buque real. Durante la prueba se determina la velocidad del viento crítica con una prueba de velocidad de viento variable.

5.2 El número máximo de Reynolds de la prueba debe ser superior a $5,0 \times 10^5$. El número de Reynolds (Re) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Re = \rho \cdot U \cdot C / \mu$$

donde ρ y μ son la densidad y la viscosidad del aire, respectivamente, U es la velocidad del viento y C es la longitud de la cuerda media de la unidad de propulsión eólica.

5.3 El porcentaje de bloqueo no debe ser superior al 5 %. La relación se calcula dividiendo el área transversal proyectada del modelo por el área de la sección transversal del túnel de viento.

6 Método de prueba

6.1 A fin de obtener los coeficientes máximos de propulsión eólica del sistema de propulsión asistida por el viento en cada uno de los ángulos de dirección del viento en el buque, el plan de pruebas debería incluir mediciones de las características de la potencia aerodinámica de:

- .1 una banda de ángulos de incidencia admisibles en la unidad de propulsión eólica; y
- .2 una banda de reglajes admisibles (inclinación del perfil, velocidad de rotación, tasa de succión, área reducida, etc.).

6.2 La fuerza de propulsión aplicada al buque es la fuerza aerodinámica medida en la unidad de propulsión eólica apuntando a proa.

ANEXO 2⁶

**ORIENTACIONES PARA EL CÁLCULO Y VERIFICACIÓN DE LOS EFECTOS
DE LAS TECNOLOGÍAS INNOVADORAS DE LA CATEGORÍA C**

**1 SISTEMA DE RECUPERACIÓN DEL CALOR RESIDUAL PARA
LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD (CATEGORÍA C-1)**

1.1 Resumen de la tecnología innovadora de eficiencia energética

1.1.1 En este capítulo se presentan las orientaciones para el tratamiento de los sistemas de recuperación del calor residual a alta temperatura (generación eléctrica) como tecnologías innovadoras de eficiencia energética para la reducción de la potencia auxiliar (en relación con la $P_{AEff(i)}$). No es necesario medir la energía mecánica residual recuperada directamente por acoplamiento a los ejes, dado que el efecto de la tecnología se refleja directamente en la V_{res} .

1.1.2 Las tecnologías de creación de energía basadas en el calor residual aprovechan con mayor eficacia la energía generada por el combustible utilizado en el motor al recuperar la energía térmica de los gases de escape, agua de refrigeración, etc. y generar con ello electricidad.

1.1.3 Para generar electricidad con las tecnologías de creación de energía basadas en el calor residual (generación eléctrica) se utilizan los dos métodos siguientes:

- .1 A) método para recuperar energía térmica mediante un termointercambiador e impulsar el motor térmico que impulsa el generador eléctrico; y
- .2 B) método para impulsar directamente un generador eléctrico mediante una turbina de potencia, etc. Además, existe un sistema de recuperación del calor residual que combina los dos métodos anteriores.

⁶ Todos los ejemplos de este capítulo se utilizan únicamente para ilustrar los métodos de cálculo y verificación propuestos.

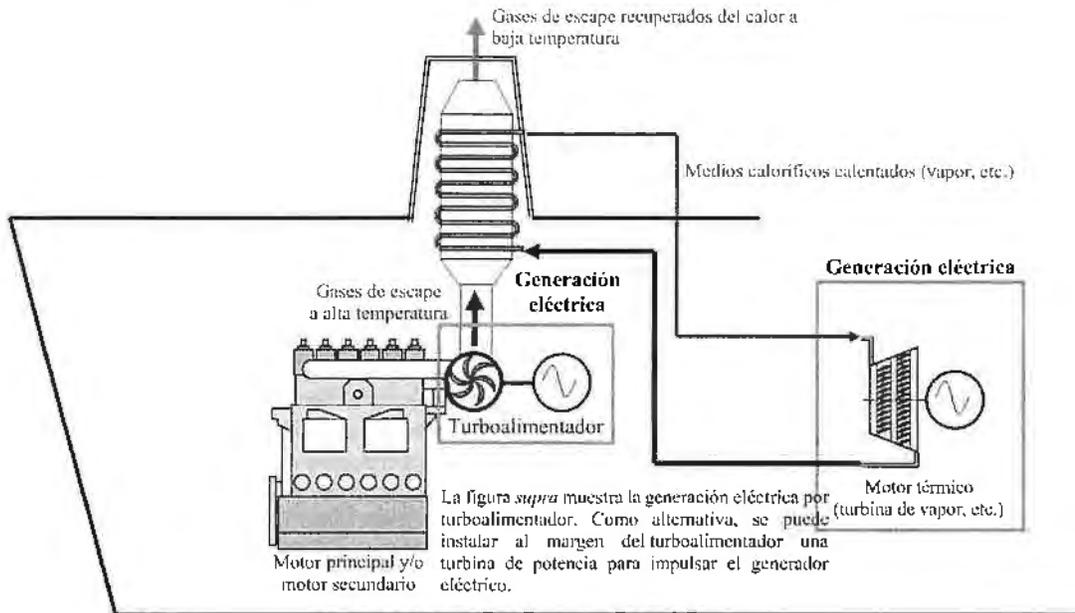


Figura 1: Ilustración esquemática de la recuperación del calor de escape

1.2 Método de cálculo

1.2.1 Reducción de la potencia debida al sistema de recuperación del calor residual

1.2.1.1 La reducción de la potencia a través del sistema de recuperación del calor residual se calcula con la siguiente ecuación. Para este sistema, f_{eff} equivale a 1,00 en la fórmula del EEDI.

$$P_{AEff} = P'_{AEff} - P_{AEff_{Loss}} \quad (1)$$

En la ecuación anterior P'_{AEff} es la potencia producida por el sistema de recuperación del calor residual. $P_{AEff_{Loss}}$ es la potencia necesaria para impulsar el sistema de recuperación del calor residual.

1.2.1.2 P_{AEff} representa la reducción de la potencia auxiliar total del buque (kW) mediante el sistema de recuperación del calor residual en la condición de funcionamiento del buque aplicada para el cálculo del EEDI. Se tiene en cuenta la potencia generada por el sistema en esta condición y transmitida al cuadro de distribución principal, independientemente de su aplicación a bordo del buque (salvo para la energía consumida por las máquinas como se describe en el párrafo 1.2.1.4 de este capítulo).

1.2.1.3 P'_{AEff} se determina mediante la siguiente ecuación:

$$P'_{AEff} = \frac{W_e}{\eta_g} \quad (2)$$

donde:

W_e : producción calculada de electricidad mediante el sistema de recuperación del calor residual

η_g : rendimiento medio ponderado del generador

1.2.1.4 P_{AEff} se determina mediante los factores siguientes:

- .1 temperatura y flujo másico de los gases de escape de los motores, etc.;
- .2 constitución del sistema de recuperación del calor residual; y
- .3 eficiencia y rendimiento de los componentes del sistema de recuperación del calor residual.

1.2.1.5 P_{AEff_Loss} representa la potencia (kW) para la bomba, etc., necesaria para impulsar el sistema de recuperación del calor residual.

1.3 Método de verificación

1.3.1 Generalidades

1.3.1.1 La verificación del EEDI con tecnologías innovadoras de eficiencia energética debería llevarse a cabo de conformidad con las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI. A continuación se describen elementos adicionales de las tecnologías innovadoras de eficiencia energética que no se incluyen en las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI.

1.3.2 Verificación preliminar en la etapa de proyecto

1.3.2.1 Además de lo dispuesto en el párrafo 4.2.2 de las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI, el expediente técnico del EEDI que todo propietario de buque o constructor está obligado a elaborar debería incluir:

- .1 diagramas, como un diagrama de la instalación, un diagrama de los procesos o un diagrama de las tuberías y de los instrumentos en el que se describa el sistema de recuperación del calor residual, y la información pertinente, como las especificaciones de los componentes del sistema;
- .2 deducción de la energía ahorrada de la potencia del motor auxiliar mediante el sistema de recuperación del calor residual; y
- .3 resultado del cálculo del EEDI.

1.3.2.2 Además de lo dispuesto en el párrafo 4.2.7 de las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI, entre la información adicional que el verificador podrá pedir que el constructor del buque suministre directamente se incluye la siguiente:

- .1 datos sobre los gases de escape del motor principal al 75 % del régimen continuo máximo (y/o el motor auxiliar en la condición de medición del consumo específico de combustible) a distintas temperaturas de entrada del aire ambiente, por ejemplo, 5 °C, 25 °C y 35 °C, consistentes en:
 - .1.1 caudal másico del gas de escape para el turboalimentador (kg/h);
 - .1.2 temperaturas de los gases de escape tras el turboalimentador (°C);
 - .1.3 caudal másico de derivación de los gases de escape disponible para la turbina de potencia, en su caso (kg/h);

- .1.4 temperatura de los gases de escape del caudal de derivación ($^{\circ}\text{C}$); y
- .1.5 presión de los gases de escape del caudal de derivación (bar);
- .2 cuando se trate de un sistema con termointercambiador, el caudal previsto de producción de vapor y las temperaturas del vapor del intercambiador, teniendo en cuenta los datos de los gases de escape del motor principal;
- .3 proceso de estimación de la energía calorífica recuperada por el sistema de recuperación del calor residual; y
- .4 en el párrafo 1.2.1 del presente capítulo se incluye más información sobre el método de cálculo de P_{AEff} .

1.3.3 Verificación definitiva del EEDI obtenido en pruebas de mar

1.3.3.1 La deducción de la energía ahorrada de la potencia del motor auxiliar mediante el sistema de recuperación del calor residual debería comprobarse con los resultados de las pruebas de taller de los componentes principales del sistema de recuperación del calor residual y, cuando sea posible, con pruebas en el mar.

1.3.3.2 En el caso de los sistemas en los que resulta difícil realizar pruebas de taller, por ejemplo, en el caso del economizador de los gases de escape, se debería comprobar el rendimiento del sistema de recuperación del calor residual midiendo la cantidad de vapor generado, su temperatura, etc. en la prueba de mar. En ese caso la cantidad de vapor medida, la temperatura, etc. se debería corregir para que sea el valor de la condición referente a los gases de escape de la etapa del proyecto, en las condiciones de la medida del consumo específico de combustible del motor o motores principal(es)/auxiliar(es). La condición del gas de escape debería corregirse teniendo en cuenta la temperatura atmosférica de la sala de máquinas (condición de medición del consumo específico de combustible del motor o motores principal(es)/auxiliar(es); es decir, 25°C), etc.

2 SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA (CATEGORÍA C-2)

2.1 Resumen de la tecnología innovadora de eficiencia energética

2.1.1 La colocación en un buque de un sistema de generación de energía fotovoltaica proporcionará al buque parte de la energía eléctrica destinada a propulsar el buque o a ser utilizada en su interior. El sistema de generación de energía fotovoltaica consiste en módulos fotovoltaicos y otros equipos eléctricos. En la figura 1 se presenta un diagrama esquemático del sistema de generación de energía fotovoltaica. El módulo fotovoltaico consiste en una combinación de células solares y existen varios tipos de células solares, por ejemplo, la "fotovoltaica de silicio cristalino para uso terrestre" y la "fotovoltaica de lámina delgada para uso terrestre", etc.

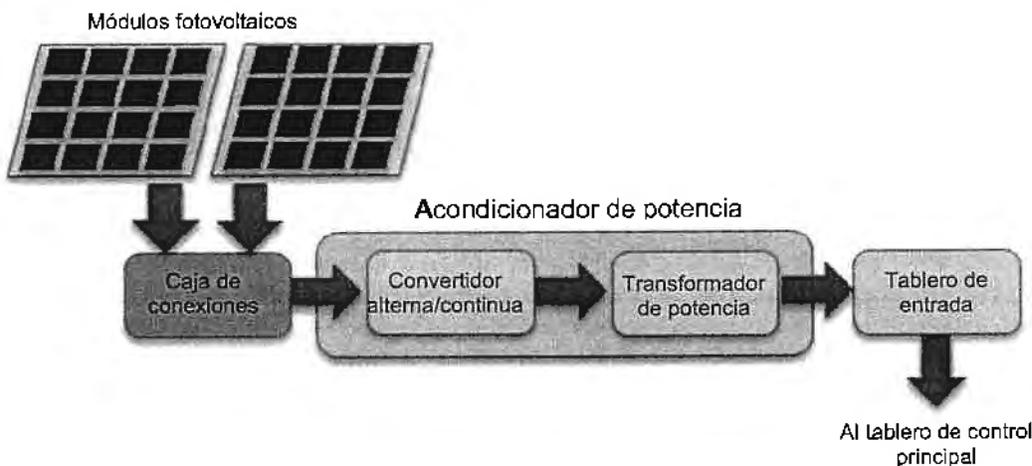


Figura 1: Diagrama esquemático del sistema de generación de energía fotovoltaica

2.2 Método de cálculo

2.2.1 Energía eléctrica debida al sistema de generación de energía fotovoltaica

2.2.1.1 La reducción de la potencia auxiliar debida al sistema de generación de energía fotovoltaica se puede calcular como sigue:

$$f_{\text{eff}} \cdot P_{\text{AEff}} = \{f_{\text{rad}} \times (1 + L_{\text{temp}} / 100)\} \times \{P_{\text{max}} \times (1 - L_{\text{others}} / 100) \times N / \eta_{\text{GEN}}\} \quad (1)$$

donde $f_{\text{eff}} \cdot P_{\text{AEff}}$ es la energía eléctrica neta total (kW) generada por el sistema de generación de energía fotovoltaica.

2.2.1.2 El coeficiente efectivo f_{eff} es la relación de la generación media de energía fotovoltaica de las principales rutas marítimas del mundo respecto de la generación nominal de energía fotovoltaica especificada por el fabricante. El coeficiente efectivo se puede calcular mediante la fórmula siguiente con la irradiación solar y la temperatura del aire de las principales rutas marítimas del mundo:

$$f_{\text{eff}} = f_{\text{rad}} \times (1 + L_{\text{temp}} / 100) \quad (2)$$

2.2.1.3 f_{rad} es la relación de la irradiación solar media de las principales rutas marítimas del mundo respecto de la irradiación solar nominal especificada por el fabricante. La potencia

nominal máxima que se genera, P_{max} , se mide siguiendo la condición de prueba normalizada de la norma de la CEI.⁷ La condición de prueba normalizada especificada por el fabricante es: masa de aire 1,5; temperatura del módulo 25 °C; e irradiación solar 1 000 W/m². La irradiación solar media de las principales rutas marítimas del mundo es 200 W/m². La f_{rad} se calcula, por tanto, con la fórmula siguiente:

$$f_{rad} = 200 \text{ W/m}^2 \div 1\,000 \text{ W/m}^2 = 0,2 \quad (3)$$

2.2.1.4 L_{temp} es el factor de corrección, normalmente negativo, derivado de la temperatura de los módulos fotovoltaicos, y su valor se expresa en porcentajes. La temperatura media de los módulos se estima en 40 °C y se basa en la temperatura media del aire de las principales rutas marítimas del mundo. El factor L_{temp} se deriva, por tanto, del coeficiente de temperatura f_{temp} (por ciento/K) especificado por el fabricante (véase la norma correspondiente de la CEI⁷) como sigue:

$$L_{temp} = f_{temp} \times (40 \text{ °C} - 25 \text{ °C}) \quad (4)$$

2.2.1.5 P_{AEff} es la energía fotovoltaica generada dividida por la eficiencia media ponderada del generador o generadores en la condición especificada por el fabricante y expresada como sigue:

$$P_{AEff} = P_{max} \times (1 - L_{others} / 100) \times N / \eta_{GEN}, \quad (5)$$

donde η_{GEN} es la eficiencia media ponderada del generador o generadores.

2.2.1.6 P_{max} es la energía fotovoltaica nominal máxima generada de un módulo expresada en kilovatios, especificada a partir de las normas de la CEI.⁷

2.2.1.7 L_{others} es la suma de las pérdidas de otra índole expresadas en porcentajes e incluye las pérdidas del acondicionador de potencia, en contacto, por resistencia eléctrica, etc. A partir de la experiencia adquirida, se calcula que L_{others} es de un 10 % (pérdida del acondicionador de potencia: 5 %, más la suma de las pérdidas de otra índole: 5 %). Sin embargo, para la pérdida del acondicionador de potencia, resulta práctico aplicar el valor especificado a partir de las normas de la CEI.⁸

2.2.1.8 N es el número de módulos utilizados en un sistema de generación de energía fotovoltaica.

2.3 Método de verificación

2.3.1 Generalidades

2.3.1.1 La verificación del EEDI con las tecnologías innovadoras de eficiencia energética se lleva a cabo siguiendo las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI. En la presente sección se incluyen prescripciones adicionales relativas a las tecnologías innovadoras.

⁷ Véase la norma 61215 de la CEI: *Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval* for Crystalline silicon terrestrial PV modules (Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino para uso terrestre. Cualificación del diseño y homologación), aplicable a esos módulos, y la norma 61646 de la CEI: *Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval* (Módulos fotovoltaicos de lámina delgada para uso terrestre – Cualificación del diseño y homologación), para ese tipo de módulos.

⁸ Norma 61683 de la CEI: *Photovoltaic systems – Power conditioners – Procedure for measuring efficiency* (Sistemas fotovoltaicos. Acondicionadores de potencia. Procedimiento para medir el rendimiento).

2.3.2 Verificación preliminar en la etapa de proyecto

2.3.2.1 Además de lo dispuesto en el párrafo 4.2.2 de las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI, el expediente técnico del EEDI que todo propietario de buque o constructor está obligado a elaborar debería incluir:

- .1 descripción del sistema de generación de energía fotovoltaica;
- .2 energía generada por el sistema de generación de energía fotovoltaica; y
- .3 valor calculado del EEDI debido al sistema de generación de energía fotovoltaica.

2.3.2.2 Además de lo dispuesto en el párrafo 4.2.7 de las Directrices sobre el reconocimiento del EEDI, entre la información adicional que el verificador podrá pedir que el constructor del buque suministre directamente se incluye:

- .1 el proceso detallado de cálculo de la reducción de la potencia auxiliar por el sistema de generación de energía fotovoltaica; y
- .2 el proceso detallado de cálculo de la energía eléctrica neta total ($f_{eff} \cdot P_{AE_{eff}}$) especificada en la sección 2.2 de las presentes orientaciones.

2.3.3 Verificación definitiva del EEDI obtenido en pruebas de mar

2.3.3.1 La energía eléctrica neta total generada por el sistema de generación de energía fotovoltaica debería confirmarse basándose en el expediente técnico del EEDI. Además de confirmar ese dato, antes de efectuar la verificación definitiva se debería confirmar si se está utilizando la configuración de los sistemas de generación de energía fotovoltaica del buque.

