

Comparación de Motores Diesel de 2T y 4T

Dr. Ingeniero Naval LUIS LOPEZ PALANCAR

“El 98% de los buques construidos en España llevan montados motores diesel de 4 Tiempos”.

Obsérvese que se dice que el 98% de los buques construidos en España lleva motores de 4 Tiempos, y esto está sacado de las estadísticas y cifras oficiales.

Si tenemos en cuenta el número de pesqueros, remolcadores, pequeñas unidades de recreo, yates, buques supply, buques oceanográficos, ferries, buques de pasaje, buques de crucero etc., sin contar en esta estadística los buques de combate, la cifra es más que cierta.

Los buques que montan motores de 2 Tiempos son casi en exclusiva, petroleros, grandes portacontenedores, OBOs, Bulkcarriers, y poco más. Y nos pese o no, la cantidad de buques con motores de 2 Tiempos es infinitamente inferior a la de buques equipados con motores de 4 Tiempos. Otra cosa es la potencia total instalada en los buques construidos en España; dado que los motores de 2 Tiempos tienen una potencia muy superior a la de los motores normalmente usados en estas embarcaciones con motores de 4 Tiempos, el resultado es muy diferente.

A nivel mundial, las cifras son similares; los principales países no europeos que fabrican motores de 2 Tiempos son China, Corea y Japón, aunque en la propaganda de licencia de MAN B&W y de Wärtsilä – Sulzer aparezcan como licenciados muchas otras firmas y países. Ello, con la misma filosofía que la anteriormente enunciada.

Y ahora, hagamos las cifras homogéneas: los grandes motores de 2 y 4 Tiempos no son autónomos; necesitan para su correcto funcionamiento energía eléctrica, sobre todo para el accionamiento de las bombas necesarias para su operación (alimentación de combustible, agua dulce, aceite lubricante, agua salada).

Cada buque equipado con un motor de elevada potencia, de 2 o 4 Tiempos, monta como mínimo, dos grupos generadores, siempre con motores de 4 Tiempos. Si hacemos las cuentas necesarias, teniendo en cuenta esta particularidad de que por cada motor de 2 Tiempos, como mínimo se deben instalar dos motores auxiliares de 4 Tiempos, veremos con claridad que, en número, los motores de 4 Tiempos superan a los de 2 Tiempos en mucho.

Y ello, sin contar los buques que solamente montan motores de 4 Tiempos totalmente autónomos.

A comienzos de los años 70, para potencias superiores a los 10.000 CV era necesario e imprescindible instalar motores de 2 Tiempos, ya que los motores de 4 Tiempos no alcanzaban dicha potencia.

Tanto fue así, que incluso en unidades navales se emplearon motores de 2 Tiempos, ante la imposibilidad de instalar los de 4 Tiempos. Durante estos últimos 37 años, la evolución de ambos tipos de motor ha sido imparable; triplicando, al menos, el motor de 4 Tiempos su potencia, y aumentando también de forma muy significativa la potencia los motores de 2 Tiempos. Ello ha motivado que el campo de aplicación de los motores de 2 y de 4 Tiempos se haya desplazado

sustancialmente hacia mayores potencias para cada uno de estos dos tipos de motores.

Respecto al tema de la comparación de los motores de 4 Tiempos y 2 Tiempos, dispongo de información de dos proyectistas de reconocido prestigio mundial (SULZER – Hoy Wärtsilä Sulzer y MAN B&W), en que se hace la comparación de ambos tipos de motores para propulsión de buques, y en ellos se indica que el futuro pasa por las cifras indicadas.

Ya en los años 70, MAN – Augsburg, proyectó y construyó en colaboración con Sulzer – Winterthur, el motor 65/65, y desde el año 2000, Wärtilä viene anunciando la salida al mercado de sus nuevas unidades de la serie 64, con disposición de cilindros de 6, 7, 8, y 9 cilindros en línea, y 12, 14, 16, y 18 cilindros en V. Por ahora está disponible en el mercado la versión en línea de este motor, con una potencia por cilindro de 2.150 kW, lo que para el 18 cilindros supondrá una potencia total de 38.700kW, funcionando a una velocidad de 327,3 y 333,3 rpm. Ya hay armadores debuques portacontenedores que están haciendo cálculos sobre la bondad de montar dos motores de este tipo en lugar de un solo motor de 2 Tiempos, con una potencia total instalada de 75.000 kW, cifra superior aún a la indicada por mí en la introducción al Foro de Propulsión.

Pero volvamos a la comparación que se ha propuesto entre motores de 2 Tiempos y de 4 Tiempos, y tomando los ejemplos que indican en sus intervenciones. Sea un buque con una potencia instalada de 20.000 kW. Se puede optar por un motor de 4 Tiempos o por uno de 2 Tiempos.

Veamos cuales son las opciones.

Entre los motores de 4 Tiempos se podrían instalar los 18V 48&60 B de MAN B&W, con una potencia nominal de 21.600 kW a una velocidad de 500 / 514 rpm, o un Wärtsilä 16V 46F, de 20.000 kW a 600 rpm.

Para estos motores los consumos específicos son los siguientes:

18V48/60B	176 g/kWh
16V46F	173 g/kWh

Ambos consumos están referidos a un combustible con un poder calorífico inferior de 42.700 kJ/kg, en condiciones ISO, y sin bombas accionadas.

En cuanto a los consumos de aceite lubricante son los siguientes:

18V48&60B	0,8 g/kWh
16V46F	0,79 g/kWh

En cuanto a dimensiones y pesos, ambos motores presentan los siguientes valores:

18V48/60B 16V46F
Peso (Toneladas) 259 246
Dimensiones (metros)

Longitud máxima 14,450 12,590
Longitud mínima 12,260 10,895
Anchura máxima 4,720 5,350
Anchura en anclaje 2,280 2,310
Altura máxima 5,420 5,940
Altura desmontaje 5,420 5,940

Veamos ahora que motor de 2 Tiempos podríamos seleccionar con esta misma potencia:

Si queremos ir a un pequeño número de cilindros, deberemos seleccionar motores de gran diámetro, lo que penaliza el peso; por lo tanto, y para hacer la comparación lo más aséptica posible, veamos motores que tengan un número de cilindros algo menor, con el menos peso posible. Entre las opciones tenemos motores de MAN B&W y de Wärtsilä-Sulzer.

Si de estos seleccionamos varias alternativas tenemos la siguiente conclusión:

MAN B&W

Motor 7L70MC-C 8S70MC 7S70MC-C 8L70MC
Consumo (g/kWh) 170 169 169 170
Consumo aceite (g/kWh) 0,1 0,1 0,1 0,1
Lubricación cils. 0,7 – 1,1 0,95-1,5 0,95-1,5 0,7-1,1
Potencia instalada 20.000 20.000 20.000 20.000
Peso (Toneladas) 605 722 624 683
Dimensiones (metros)
Longitud máxima 10,161 12,161 10,161 11,992
Anchura máxima 7,454 7,668 7,454 7,752
Anchura en anclaje 3,842 4,250 3,842 3,842
Altura máxima 15,104 15,765 15,116 15,765
Altura desmontaje 11,623 11,200 11,250 10,225

WÄRTSILÄ – SULZER

Motor 8RTA68 7RTA72U
Consumo (g/kWh) 169 169
Consumo aceite (g/kWh) 0,8 – 1,2 0,8-1,2
Lubricación cils. Incluido Incluido
Peso (Toneladas) 593 624
Dimensiones (metros)
Longitud máxima 11,700 11,275
Anchura máxima 7,454 7,967
Anchura en anclaje 3,842 4,070
Altura máxima 15,125 15,350
Altura desmontaje 11,623 11,875

La simple comparación de estos datos, para este caso en concreto, viene a arrojar los siguientes resultados:

- Cualquiera de los motores de 2 Tiempos seleccionados pesa el doble como mínimo que el más pesado de los motores de 4 Tiempos.
- La diferencia en consumo de combustible máxima entre el más económico de los motores de 2 Tiempos y el que mayor gasto presenta de los de 4 Tiempos es de 8 g/kWh. Ello implica una diferencia en consumo horario para los 20.000 kW de 160 kg/hora de combustible adicional para los motores de 4 Tiempos. Este menor consumo de combustible del motor de 2 Tiempos se ve compensado por el consumo de combustible de los grupos generadores de a bordo, necesarios para accionar todas las bombas y periféricos del motor no accionados por este.
- En lo que respecta al consumo de aceite, tomando el motor de 4 Tiempos con mayor consumo (0,8 g/kWh) y el que menor consumo presenta de los motores de 2 Tiempos (0,9 + 0,1 = 0,91 g/kWh), arroja una diferencia de 0,11 g/kWh a favor del motor de 4 Tiempos. Ello implica una diferencia en consumo horario para los motores de 2 Tiempos de 2,2 kg/h de aceite adicional para los motores de 2 Tiempos.
- A cambio de un incremento máximo en longitud para el motor más desfavorable de 4 Tiempos de $14,450 - 10,161 = 4,29$ metros, el motor de 2 Tiempos de menor altura presenta una diferencia con el de mayor altura de 4 Tiempos de $15,104 - 5,940 = 9,164$ metros desfavorable para el motor de 2 Tiempos.

Una simple ojeada a estos datos nos indica que para esta potencia, y en función del tipo de buque, parece más recomendable el motor de 4 Tiempos por las siguientes razones:

- Desarrolla una potencia equivalente a un motor de 2 Tiempos, con mucha menos altura, y anchura, a costa de una mayor longitud.
- La instalación de un motor de 4 Tiempos implica un ahorro en peso de 160 toneladas.
- A cambio de un aumento en el consumo de combustible, también se obtiene un ahorro (que será mayor si se toman las cifras máximas de consumo de aceite lubricante) en el consumo de aceite de lubricación, cuyo precio es muy superior al del combustible.
- La diferencia de altura, a favor del motor de 4 Tiempos supone un ahorro de espacio que puede ser aprovechado para aumentar la capacidad de carga.

Una reductora con inversión para un motor de 20.000 kW (Datos tomados de RENCK) tiene un peso de 176 toneladas. Por lo tanto, la instalación completa del motor más pesado de 4 Tiempos pesaría en total 435 toneladas, frente a las 593 del motor menos pesado de 2 Tiempos. Esto que de por sí ya implica un ahorro de peso de 158 toneladas, es aún más llamativo en el caso del motor de 2 Tiempos.

Explicemos las razones: Supongamos una fábrica como la de MAN B&W en Augsburg, que no dispone de puerto cercano.

Los motores deben salir en góndola arrastrada por camión desde la fábrica. Y efectivamente existen tales góndolas; otro tanto ocurre con la reductora.

No es este el caso de los motores de 2 Tiempos, para los que la propia MAN B&W debe después de la prueba oficial desmontarlos, y enviarlos en partes al astillero, donde el motor vuelve a ser montado.

Este proceso, que de por sí, es más caro, tiene otra implicación. Cuando se prueba un motor, queda en un cierto estado. Si posteriormente a la prueba se desmonta, y se vuelve a montar, el estado es otro (Véase la publicación de UNESCO referida a la Calidad y Selección de Motores Diesel), con lo que sería absolutamente necesario probarlo en las mismas condiciones que existían en el banco de pruebas. Pero esto es imposible en el propio buque o en el astillero; los auxiliares no son los mismos, las condiciones ambientales no son las mismas, etc...

Esto ha dado numerosos quebraderos de cabeza a las Sociedades de Clasificación (He sido testigo de varios casos en Alemania y Dinamarca), ya que los inspectores argumentan, con razón, que el estado del motor tras la prueba oficial en banco no es el mismo que el del motor montado en el astillero o en el buque.

Pero es que, además, la mayoría de los motores de 4 Tiempos, al llevar las turbosoplantes en voladizo (bien a proa o bien a popa del motor), dejan un espacio entre el volante y la vertical de las turbosoplantes, en que se puede instalar el acoplamiento elástico y parte de la reductora. Por ello, la longitud motor + reductora es mucho menor que la suma de las longitudes de ambos elementos.

En cuanto al mantenimiento, MAN B&W no facilita cifras del concepto TBO para los motores de 2 Tiempos; sin embargo Wärtsilä – Sulzer si lo da para sus motores. Haciendo caso de los datos facilitados por Wärtsilä – Sulzer, el TBO para el motor RTA 68 es de 2,5 años o 15.000 horas, y para el motor RTA72U este valor sigue siendo de 2,5 años o 15.000 horas. Llama poderosamente la atención que con un motor, teóricamente mucho más robusto y sometido a menos esfuerzos mecánicos y térmicos, esta cifra sea tan baja, muy similar a las de los motores de 4 Tiempos. Esto nos lleva a pensar que el concepto de TBO no es el mismo para todos los fabricantes, y es algo fundamental en una comparación de máquinas homogeneizar los conceptos que se manejan.

Otra de las grandes leyendas de los motores diesel de 2 y 4 Tiempos radica en la precisión de mecanizado de los elementos de ambos.

Siempre ha circulado la versión de que el motor de 4 Tiempos necesitaba mucha más precisión en tolerancias y grado de terminación de sus elementos, mientras que el motor de 2 Tiempos, no necesitaba tanta precisión.

Totalmente falso; he visto con mis propios ojos en Dinamarca, en Augsburg, y en la misma Fábrica de Manises los planos de fabricación de muchos elementos, y la fabricación de los mismos, para los que las tolerancias y el grado de terminación

son equivalentes, y a veces, más exigentes que los correspondientes de los motores de 4 Tiempos.

Siguiendo con los mitos existentes sobre los motores, existe otro que es usado, entre motores del mismo tipo de ciclo, para proceder a comparaciones. Me refiero al rendimiento. Pero, ¿A qué rendimiento nos referimos?

Si es al rendimiento mecánico del motor, tanto los motores de 2 Tiempos como los de 4 Tiempos tienen un rendimiento muy similar, sin diferencias apreciables.

Si nos referimos al rendimiento como máquina térmica de combustión interna, el hecho de desarrollar una potencia y presentar un consumo ligeramente inferior no es un indicativo fiable del rendimiento de una máquina.

Es preciso tener en cuenta los calores a disipar en los gases de escape, en el aire de sobrealimentación, en el agua dulce, en el aceite lubricante, y, ¡como no! el calor radiado, tan importante para calcular las ventilaciones de las cámaras de máquinas.

Si tomamos estos valores, observamos que los motores de 2 y de 4 Tiempos presentan cifras tan aproximadas que es verdaderamente difícil, por no decir imposible, afirmar que un tipo de motor presenta mejor rendimiento que otro.

Y finalmente, no debemos pasar por alto el tema del ruido estructural. En este aspecto los motores de 4 Tiempos han tomado una ventaja muy importante sobre los motores de 2 Tiempos.

Estos últimos, presentan unos momentos de 2º orden no equilibrados, que por muchas soluciones que se apliquen, transmiten a la estructura del buque determinados esfuerzos.

Prueba de lo que decimos lo constituye el hecho de que ningún gran buque de cruceros lleva instalados motores de 2 Tiempos, pese a que el espacio y el ahorro de combustible podrían aconsejar su uso. Pero en estos buques prima el confort, y, desde hace ya algunos años, los motores de 4 Tiempos tienen ventaja en este campo, donde son aplicados de forma casi única.

Resumiendo: Cada tipo de motor tiene su aplicación, y viendo la información de los fabricantes, esta está muy clara. El motor de 2 Tiempos está especialmente indicado en grandes petroleros, bulkcarriers, portacontenedores, y, por ahora, en buques gaseros. El resto de buques suele llevar, salvo raras excepciones, motores de 4 Tiempos.

En lo relativo a innovaciones, deberíamos recordar algo más la historia reciente de los motores. Cuando se afirma que "En la actualidad, los últimos motores de dos tiempos fabricados en IZAR Manises, de los llamados "electrónicos" incorporan avances todavía inéditos en motores de cuatro tiempos, como la ausencia de eje de levas" parece que nos estamos olvidando de varios factores, que tienen su importancia. Las aplicaciones de que se habla se han aplicado con bastante anterioridad en los motores de 4 Tiempos.

Por ejemplo, en el caso de motores sin ejes de levas, basta recordar a finales de los años 80 la aparición del motor Sulzer ZA50, que fue el primero a nivel mundial en presentar esta innovación.

La electrónica también tiene su parte positiva para los motores de 4 Tiempos; la inyección electrónica se aplicó primero en motores de 4 Tiempos, así como el sistema common rail, ello por no hablar de los reguladores de velocidad electrónicos, y la sobrealimentación secuencial.

No hay tanta diferencia en cuanto a tecnología aplicada entre los motores de 2 y de 4 Tiempos, y la última prueba la constituyen los sistemas de vigilancia aplicados en ambos tipos de motor, que permiten la detección previa de anomalías, así como efectuar mantenimientos basados en la condición del motor.

Y retomando la comparación de estos dos tipos de motor, pasemos al tema de emisiones; en este campo nadie puede negar que el motor de 4 Tiempos sea menos contaminante que el de 2 Tiempos en lo relativo a la concentración de NOx en los gases de escape. Basta ver la curva límite de emisiones contaminantes aprobada por IMO para comprobar que el nivel de formación de NOx en los motores de 2 Tiempos es muy superior al de los motores de 4 Tiempos.

Según la normativa ISO 8176, los niveles máximos de NOx son:

Para velocidades inferiores a 130 rpm 17 g/kWh

Para $130 < n_{\text{motor}} < 2000$ rpm $45 \times n^{-0,2}$ g/kWh

Para $n > 2000$ rpm 9,8 g/kWh

Como puede apreciarse es implícito al ciclo de 2 Tiempos que haya una mayor formación de NO y de NO₂, y esto, que se ha solventado de forma provisional desde al entrada en vigor de la normativa IMO, tendrá mayores consecuencias cuando entré en vigor la próxima edición de esta normativa, prevista para los años 2013- 2015.

Resumiendo podemos decir que los motores de 2 y de 4 Tiempos tienen campos de aplicación muy definidos en la propulsión naval, y que son mejorados día a día. El futuro parece apuntar a que ambos motores van a aumentar significativamente sus potencias, y, consecuentemente, sus campos de aplicación, coincidiendo en el mercado. ¿Por cuánto tiempo?

Esa es la pregunta que nos hacemos todos. No podemos olvidar que los grandes fabricantes y proyectistas de motores de 2 Tiempos son a la vez los líderes mundiales en proyecto y fabricación de motores de 4 Tiempos; que desde mediados de los años 80 existe una fuerte concentración de fabricación y proyecto de motores diesel en muy pocas firmas, y que estas, se quiera o no se quiera, se rigen por criterios económicos. Será el mercado, y los valores de cash-flow de cada firma los que dicten el futuro.