

EL MOTOR DIESEL EN LA INDUSTRIA NAVAL

Introducción

La propulsión de buques mediante motores diesel (ya sean de dos o cuatro tiempos) es, hoy por hoy, una solución generalizada en la mayoría de los barcos. Tan sólo algunas aplicaciones militares o determinados tipos de buques (por ejemplo, buques gaseros) utilizan otras tecnologías.

No es intención de este artículo analizar el desarrollo histórico de los motores diesel ni plantear detalladas fórmulas termodinámicas que definan su funcionamiento sino realizar una somera descripción de cómo son los motores diesel actuales y, por lo tanto, cuál es el resultado de la evolución vivida durante las últimas décadas.

En principio, nos centraremos en los motores diesel de cuatro tiempos, aunque gran parte de las ideas generales que describiremos también pueden ser aplicadas a motores de dos tiempos.

La solución diesel

Desde siempre, lo que se ha perseguido en una instalación propulso-

J. Alberto de Juan Pérez,
Ingeniero Industrial
Juan José Isasi,
Ingeniero Naval
Wärtsilä Ibérica, S.A.

proporcionando siempre la potencia necesaria que se ajuste al perfil operativo del buque y que redunde en una obtención de beneficio para la empresa armadora.

Tan sólo en los últimos años se ha unido a las consideraciones anteriores el control de las emisiones de gases nocivos.

Las características que definiremos son las que han hecho que los diesel se impongan con rotundidad en la mayoría de los buques que se encuentran navegando en la actualidad:

- Las modernas tecnologías de la combustión junto a turbocompresores con alto rendimiento, tanto en cargas parciales como a plena carga, han dado como resultado que podamos hablar hoy en día de rendimientos mecánicos de los motores diesel en torno al 50%.

En la figura 1 podemos ver la

evolución del rendimiento mecánico durante los últimos 40 años en los motores Wärtsilä. En los años 60 se partía de cifras próximas al 40%, llegando en la actualidad a rozar la citada cifra del 50%, modelo Wärtsilä 64, el mayor motor de cuatro tiempos construido hasta el momento (Figura 2).

Estas cifras de rendimiento mecánico combinadas con el aprovechamiento del calor principalmente, nos permiten hablar en ciertas generados por el motor en los diferentes sistemas, escape y agua de refrigeración instalaciones muy bien estudiadas, de rendimientos totales situados entre el 80 y el 90%.

Una consecuencia inmediata de lo anterior es el reducido consumo de combustible, que en los modernos motores de cuatro tiempos ronda los 125-130 g/BHP, comparado con los 200 g/BHP que se manejaban hace tres cuartos de siglo.

Junto a la optimización de los componentes que intervienen en la inyección de combustible y de la posibilidad de ajustar el avance de la inyección en función de la velocidad y carga del motor así como de las condiciones ambientales, un factor decisivo para la obtención de las actuales cifras de rendimiento es la elección de un sistema de sobrealimentación de alto rendimiento.

La sobrealimentación merece comentario aparte. En un principio, hace 75 años, se aplicó a los grandes motores diesel de dos tiempos. En la actualidad, el éxito del motor diesel esta estrechamente unido al desarrollo de la sobrealimentación, que ha permitido aumentar la potencia de un motor hasta cuatro veces su valor inicial.

En motores de cuatro tiempos los sistemas de sobrealimentación no sólo tienen que cubrir las necesidades

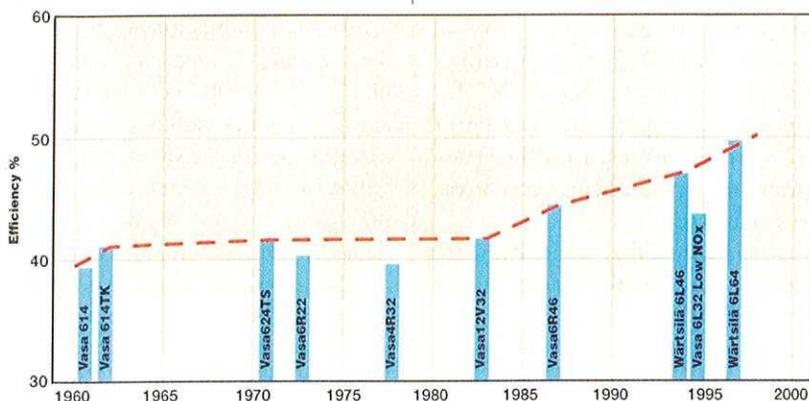


Fig. 1

ra ha sido economía de funcionamiento y fiabilidad, por supuesto,

evolución del rendimiento mecánico durante los últimos 40 años en los

del motor en términos de carga térmica, consumo de combustible o emisiones, sino que tienen que satisfacer las exigencias de unas cada vez mayores presiones medias efectivas y mejores distribuciones de par.

Las disposiciones de escapes actuales, conductos de presión constante, convertidores de pulsos, sistemas multipulsos o sistemas de escapes de conducto único, que combinan un buen aprovechamiento de la energía presente en los gases de escape en cargas parciales con un funcionamiento a pleno rendimiento del turbocompresor en cargas nominales, se encuentran próximas a su límite máximo de aprovechamiento.

Estos sistemas se combinan con válvulas de *by pass*, tanto de escape como de aire, con sistemas de escape variables e incluso con turbocompresores de geometría variable.

La realidad es que el compromiso de funcionamiento entre cargas parciales y plena carga es más difícil de conseguir según van aumentando las presiones medias efectivas de los motores.

En la actualidad, los motores de cuatro tiempos necesitan altas presiones de compresión del aire, alcanzándose cifras de relaciones de compresión en el turbocompresor de hasta 5:1. La tendencia en los motores diesel de dos y cuatro tiempos es incrementar todavía más las presiones medias efectivas y los rendimientos, lo cual requerirá presiones de aire todavía mayores en la cámara de alimentación de aire.

Este incremento de las presiones medias efectivas también tiene que ir

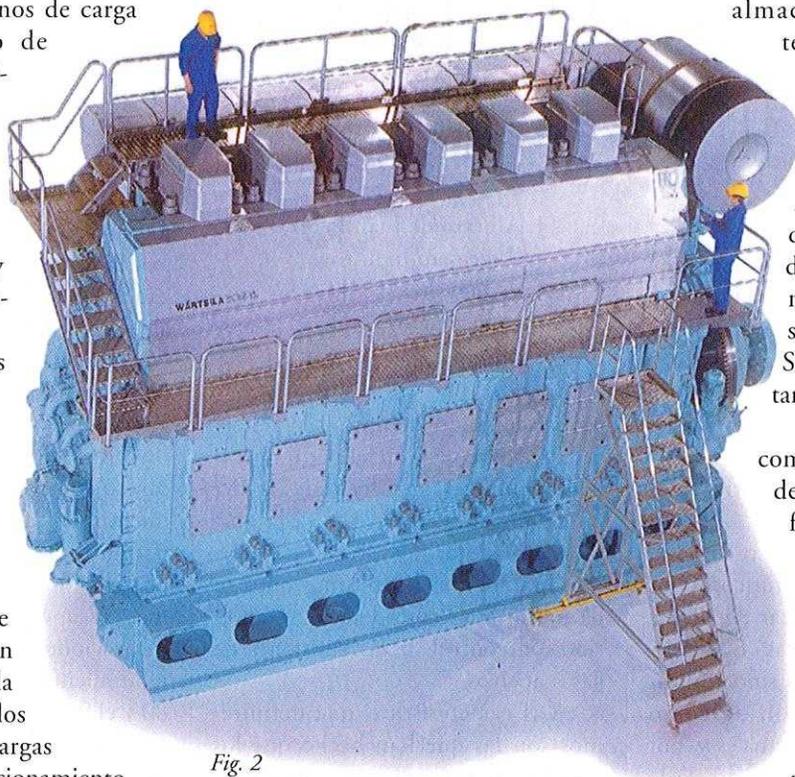


Fig. 2

acompañado por la utilización de las más modernas tecnologías de materiales y soluciones técnicas que ayuden a soportar las elevadas presiones que se generan dentro de la cámara de combustión.

La figura 3 muestra la evolución de las presiones máximas de combustión en los últimos cuarenta años y algunas tecnologías que han ayudado a alcanzar las cifras límite que se manejan en la actualidad, situándolas en torno a los 250 bar.

Las sucesivas crisis del petróleo han ocasionado que una de las demandas más importantes por parte de los armadores hacia los diesel sea su capacidad para quemar combustibles residuales.

En la actualidad, prácticamente todos los motores diesel de un cierto tamaño funcionan con combustible pesado, que requiere un tratamiento previo para ser quemado en el motor.

En primer lugar, sus características hacen necesario que el combustible sea calentado para poder manejarlo. Normalmente en el tanque

almacén se mantiene una temperatura de 40 °C, lo que permite que el combustible sea bombeado al resto del sistema. Del tanque almacén pasa al tanque de sedimentación donde se persigue la eliminación más efectiva posible de lodos y agua. Su temperatura suele estar entre los 50-70 °C.

Antes de introducir el combustible en el tanque de diario, debe ser perfectamente purificado en una separadora. Del tanque de diario, el combustible pasa a través de una planta de alimentación de combustible, donde se le dan los valores precisos de presión, temperatura y filtrado para ser introducido en el motor.

El combustible pesado ha sido el más barato y, por lo tanto, el más popular durante las últimas décadas. Esta preponderancia está siendo puesta en entredicho en la actualidad por cuestiones medioambientales, preocupación que ha obligado a desarrollar métodos de reducción de emisiones o a buscar combustibles alternativos. En el futuro, la lista de combustibles será más variada, incluyendo bio combustibles o combustibles gaseosos. Todos estos combustibles requieren especiales tratamientos antes de ser inyectados y las soluciones que permiten su utilización ya han sido o están siendo desarrollados por los departamentos de tecnología de las diferentes Compañías.

Sin embargo, las reservas actuales de petróleo han hecho que la investigación se centre principalmente en métodos de reducción de emisiones de gases nocivos (especialmente los óxidos de nitrógeno) manteniendo la utilización de combustibles residuales o destilados del petróleo. Los NOx

contribuyen a la lluvia ácida, destruyen la capa de ozono y favorecen la formación de nieblas fotoquímicas.

Llegamos en este punto a una de las principales características que definen a los motores diesel utilizados en la actualidad para aplicaciones marinas. Son, o deben ser, motores "ecológicos", motores en los que su nivel de emisiones se adapte a las más exigentes legislaciones medioambientales existentes a escala mundial.

Los motores diesel actuales deben combinar altos rendimientos con bajas emisiones. A este respecto, un objetivo fundamental de los fabricantes es que sus motores estándar cumplan con lo establecido por la regulación internacional IMO 2000. En la figura 4 aparece la propuesta de niveles de emisiones establecidos por el IMO en función de la velocidad del motor.

La solución pasa por una serie de medidas encaminadas a llegar a estos niveles de emisiones sin que el rendimiento y, por lo tanto el consumo de combustible, se vean afectados.

Para ello, se ha desarrollado una cámara de combustión optimizada desde el punto de vista geométrico, actuando sobre la parte inferior de la

Maximum cylinder pressure limit due to technology

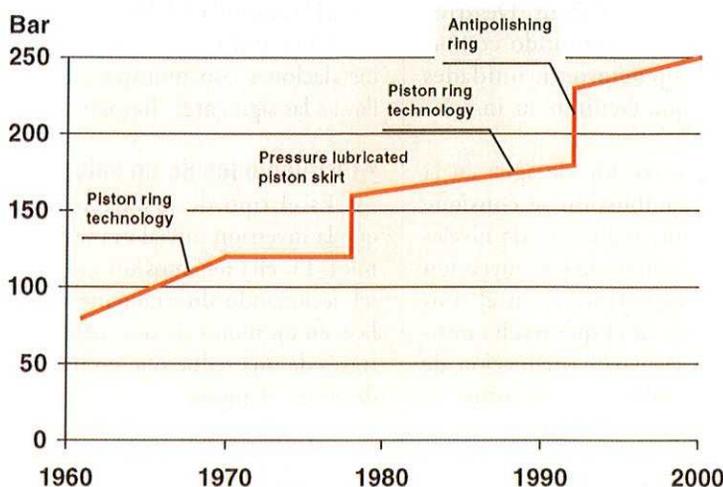


Fig. 3

culata, la corona del pistón, la geometría de las toberas,...

También se ha retrasado el avance de la inyección, lo que reduce el nivel de emisiones de NOx, pero este retraso ha obligado a aumentar la relación de compresión para restablecer el rendimiento deseado. En la figura 5 se compara esta relación con la máxima presión de combustión en un diseño convencional y en un diseño encaminado a obtener bajas emisiones de NOx.

La solución pasa también por sistemas de inyección que reduzcan el retardo de la inyección a un tiempo

despreciable y permitan ajustes temporales del avance de inyección en función de la carga del motor. Un ejemplo de sistema que se está aplicando en la actualidad (y que la industria del automóvil ha popularizado en los últimos años) es el sistema de inyección por *common rail*.

Hasta ahora, hemos descrito los denominados métodos primarios de reducción de emisiones, pero, si queremos reducir todavía más las cifras definidas, deberemos acudir a métodos secundarios.

Los más utilizados son inyección directa de agua en la cámara de combustión y reactores catalíticos (SCR). No vamos a entrar en este artículo en una descripción detallada sino tan sólo decir que los SCR (*Selective Catalytic Reduction*) son la forma más efectiva de reducir las emisiones de NOx. En ellos se realiza un lavado de los gases de escape con una solución acuosa de urea. La urea en los gases de escape deriva en amoníaco que es procesado en un proceso catalítico cuyo resultado final es nitrógeno y agua. Con este método se reducen las emisiones alrededor de un 90-95%. El problema que

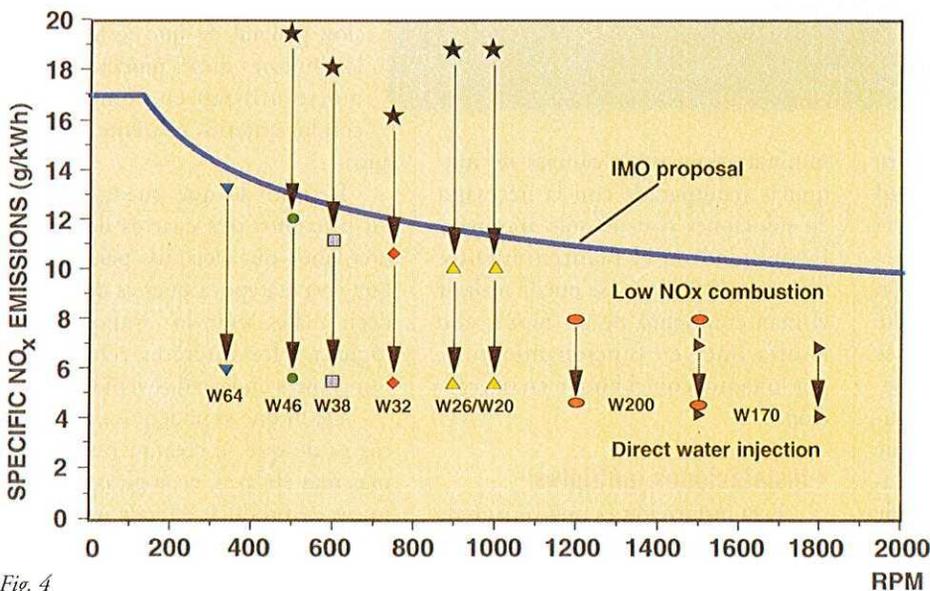


Fig. 4

este sistema ha tenido hasta el momento es el gran espacio necesario a bordo para su instalación. Desarrollos recientes han permitido combinar SCR y silencioso en unidades compactas que facilitan su instalación.

Con la inyección de agua en la cámara de combustión se consigue una importante reducción de niveles de NOx. La ventaja de esta inyección es que se puede realizar en el momento preciso en el que resulta posible obtener la máxima reducción de emisiones de NOx. De esta forma, se puede reducir el nivel de emisiones en un 50%.

La flexibilidad del motor diesel

No queremos terminar sin comentar una de las características que

mas que permita mantener su operatividad en todo momento y garantizar así la seguridad del buque.

Un rápido repaso a las típicas instalaciones con motores diesel nos lleva a las siguientes alternativas:

• **Instalaciones de un solo motor**

Es el tipo de instalación en el que la inversión inicial es más económica. En ella tenemos un motor diesel accionando directamente una hélice, en un motor de dos tiempos, o a través de una reductora, en un motor de cuatro tiempos.

• **Instalaciones con dos motores a dos líneas**

Este tipo de instalación puede proporcionar cierta redundancia de la planta propulsora. Las ventajas son

accionando dos líneas de ejes. Permite gran flexibilidad operacional del buque bajo diversas condiciones de velocidad y carga. También proporciona gran redundancia ya que la avería de un motor afecta muy poco a la operatividad de la instalación.

• **Instalación diesel eléctrica**

En este tipo de instalación varios motores diesel accionan alternadores para producir la energía eléctrica utilizada en todos los consumidores de abordo y para la propulsión. Las hélices son accionadas por motores eléctricos.

Una instalación diesel eléctrica proporciona el 100% de redundancia de la planta propulsora. Por ofrecer la máxima flexibilidad en términos de localización de la planta propulsora, resulta ser la alternativa más eficaz en cuanto a disposición de espacio.

Permite además eliminar la necesidad de grupos generadores adicionales y todos los motores a bordo son del mismo tipo con un sistema único de combustible.

Este sistema es muy eficaz en buques con alto consumo eléctrico tales como cruceros, buques quimiqueros o petroleros *shuttle*.

Epílogo

Hemos pretendido dar una visión general de qué se les pide a los motores diesel modernos y cómo se utilizan en comparación con los criterios existentes hace 75 años.

Resumir lo que pueda pasar en los próximos tres cuartos de siglo es una labor que dejamos para alguien que viva esa época pues es difícil predecir cuáles serán los avances tecnológicos y los intereses económicos imperantes en los años venideros.

De lo que sí podemos estar seguros es de que se crearán nuevas formas más eficaces, ecológicas y económicas de producir energía que tal vez entierren definitivamente al motor diesel. ■

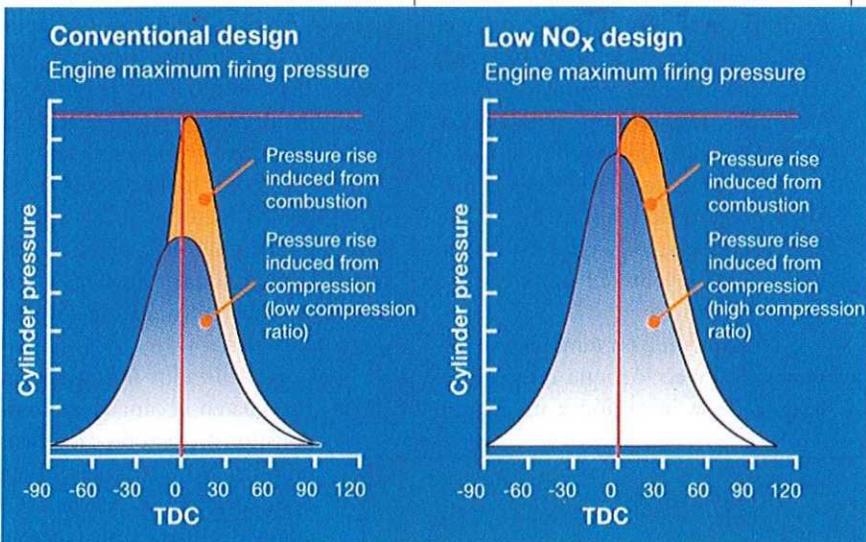


Fig. 5

ha llevado a que el diesel de cuatro tiempos se imponga en la actualidad como solución generalizada en la propulsión de buques. Esta característica es la flexibilidad en la elección de la planta propulsora, que permite pensar en diversas alternativas que se adapten al perfil operativo del buque.

Desde el punto de vista de seguridad del barco, hay un concepto que se maneja con frecuencia en la actualidad. Esta idea es la redundancia de la planta propulsora de forma que se disponga de una duplicidad de siste-

mínima eslora de la cámara de máquinas (comparada con la necesaria en soluciones con un sólo motor) y flexibilidad en el mantenimiento. Con esta disposición se puede realizar el mantenimiento de un motor con la otra línea en funcionamiento y, por lo tanto, con el buque en navegación.

• **Instalaciones múltiples**

Esta instalación es una versión de la disposición anterior sólo que, por lo general, se tienen cuatro motores