

ESTUDIO, ANÁLISIS Y COMPARATIVA DE LOS MOTORES DIÉSEL MARINOS DE DOS TIEMPOS CON COMMON RAIL E INYECCIÓN ELECTRÓNICA



Alumno: Víctor De Vicente Ramos
Profesor: Manuel Rodríguez Castillo
Facultad de Náutica de Barcelona
Grado en Tecnologías Marinas
Curso 2015/16



Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a mi director de proyecto, el Sr. Manuel Rodríguez, por todas las horas invertidas en mí, por su interés, por todo lo que me ha ayudado en el progreso de este trabajo y por su paciencia. También quiero agradecer a toda mi familia la implicación, no tan solo reflejada en el trabajo sino en el apoyo y confianza que han depositado sobre mí en la duración de éste. A la vez, me gustaría agradecer a la compañía Peter Dohele por la oportunidad que me ha dado para formarme a bordo de sus excelentes barcos, junto a toda la tripulación con la que coincidí durante mi formación a bordo del MV Hammonia Venetia tanto capitanes, como jefes de máquinas, oficiales y marineros. Por último agradecer a BMT - repairs por la excelente formación que me están proporcionando en cuanto a reparación de buques mercantes a gran escala.



Abstract

El objetivo del estudio de la inyección electrónica y la comparativa entre los dos grandes fabricante de estos motores, es el de entender el funcionamiento a fondo de cómo se produce esta inyección electrónica y qué sistemas la provocan. Se realiza una pequeña introducción de la historia de la inyección electrónica de combustible desde sus inicios hasta su situación actual, una introducción al funcionamiento de la inyección electrónica, un estudio de los motores diseñados para esta inyección electrónica de ambos fabricantes, el estudio y funcionamiento de la inyección electrónica y actuación de las válvulas de escape a fondo, con un caso práctico aplicando la teoría sobre motores existentes y una comparativa entre ambos.

Se ha llegado a la conclusión que son motores mas eficientes que los clásicos, con un mayor ahorro de combustible, una menor emisión de gases contaminantes a la atmósfera, un ahorro económico en recambios debido a una mayor periodicidad entre reparaciones y una mayor implantación de ellos en los barcos mercantes gracias a sus elevadas prestaciones.

Pero debido a esta modernización, requiere una nueva formación del personal de máquinas debido al desconocimiento del funcionamiento del sistema.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona





Índice

1. Introducción	1
2. Historia del common rail e inyección electrónica.....	3
2.1 Ventajas del nuevo sistema de inyección respecto al clásico.....	4
3. Evolución del common rail	6
3.1 Aplicación de los nuevos sistemas electrónicos en los grandes fabricantes	7
3.2 Introducción a la inyección electrónica de combustible.....	7
3.3 Introducción al sistema eléctrico de bombeo de combustible	10
3.4 Introducción al sistema de accionamiento electrónico de la válvula de escape.....	11
3.5 Introducción al sistema del aire de arranque inteligente	12
4. Wartisla RT – FLEX Motores controlados electrónicamente.	14
4.1 Los RT-Flex en servicio	14
4.2 Evolución y comparativa de los RT-Flex con los RTA.	15
4.3 Componentes mecánicos y sistemas hidráulicos.....	22
4.3.1 Filtro automático para las bombas de control.....	23
4.3.2 Filtro automático para las bombas del servo	23
4.3.4 Unidades de Rail.....	26
5. MAN B&W – ME Motores controlados electrónicamente.....	30
5.1 Motores ME controlados electrónicamente.....	30
5.2 Evolución y comparativa de los motores MAN ME con los motores MAN MC	33
5.3 Funcionamiento de los sistemas de los motores ME	38
5.4 Sistema de inyección de combustible	38
5.5 Sistema de actuación de las válvulas de escape.	40
5.6 Sistema de control.....	41
5.6.1 Sistema de control de las unidades.....	41
5.6.2 Unidad de control del cilindro.....	42
5.7 Sistema de medida de presión en el cilindro.	43
5.8 Sistema de aire de arranque	44
5.9 Motores ME en servicio.....	45
6. Inyección electrónica de combustible y actuación de las válvulas de escape	47



6.1 Descripción del funcionamiento de la ICU para los motores Wartsila Sulzer RT-Flex	47
6.2 Descripción de la inyección de combustible para los MAN B&W ME	51
6.3 Descripción del funcionamiento del sistema VCU para los Wartsila Sulzer	53
RT-Flex.....	53
6.4 Descripción del funcionamiento del sistema de accionamiento de la válvula de escape para los motores MAN B&W ME.....	58
7. Estudio de un caso práctico.....	60
7.1 Descripción del motor principal Warstila Sulzer 7RT-FLEX 96C.....	60
7.1.1 Tabla de Especificaciones del motor.....	63
7.1.2 Descripción de las partes principales del motor.	64
7.1.3 Sistema de Control WECS-9520	67
7.1.4 Componentes del sistema WECS-9520.....	68
7.1.5 Funciones de control relacionadas con el motor.....	69
7.1.6 Control de la presión del combustible	70
7.1.7 Ajuste de la presión de aceite del servo	72
7.1.8 Suministro del aceite de control	73
7.1.9 Control de la inyección.....	74
7.1.10 Control de la válvula de escape.....	76
7.2 Descripción general del motor MAN B&W S90ME-C9.....	78
7.2.1 Sistema de control del motor principal ME.....	79
7.2.2 Control de la presión del combustible	80
7.2.3 Control de la presión del aceite del servo.	80
7.2.4 Sistema de arranque del motor principal.....	82
8. Comparativa entre los motores MAN B&W y los WARSTILA Sulzer	84
8.1 Diferencias de componentes entre ellos.	86
8.1.1 Principales diferencias en el sistema hidráulico	87
8.1.2 Principales diferencias en la inyección de combustible	87
9. Conclusiones.....	89
10. Bibliografía	91
10.1 Libros utilizados.....	91
10.2 Links utilizados.....	91
11. Anexos.....	93
Anexo A. Circuito de lubricación del motor Wartsila 7RT-Flex 96C.....	93



Anexo B. Circuito de combustible del motor Wartsila 7RT-Flex 96C.....	93
Anexo C. Circuito de aire de arranque del motor Wartsila 7RT-Flex 96C	94
Anexo D. Circuito de refrigeración del motor Wartsila 7RT-Flex 96C.....	94



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona



1. Introducció

Tras la realización de mis estudios náuticos y después de acabar mis practicas curriculares a bordo, la inyección electrónica de combustible junto con el common rail y como se accionaban las grandes válvulas de escape fue el que mas me impacto. Siempre ha de haber una evolución continua de estos motores adaptándose cada vez mas a las exigentes reglas que esta imponiendo la IMO en cuanto a la emisión de gases.

Este trabajo se centra en el estudio, análisis y comparativa entre los dos grandes fabricantes que son MAN y Wartsila, de los motores diésel de dos tiempos con inyección electrónica y con common rail. Me he centrado en una explicación exhaustiva de la evolución de cada uno de ellos con los clásicos y modelos anteriores y una profunda explicación del funcionamiento del sistema de inyección electrónica y del sistema de actuación de las válvulas de escape. He finalizado mi trabajo final de carrera con un estudio práctico con dos modelos de motor para cada fabricante y una comparación final.

Mi idea al realizar el caso práctico es la de aplicar y cumplimentar los conocimientos adquiridos a bordo trabajando con uno de estos motores, y con el fin de compararlo con otro muy similar. El objetivo es demostrar que estos motores son totalmente viables y encontrados en el mercado, con un gran numero de ventajas comparados con los clásicos.



2. Historia del common rail e inyección electrónica.

Los méritos de la arquitectura a la inyección common rail (rail común) de combustible, ha sido reconocida desde el principio de los desarrollos del motor diésel.

Los principales investigadores, incluyendo al fundador del motor diésel Rudolf Diesel, han trabajado con sistemas de combustible que contenían pequeñas esencias de lo que actualmente se conoce como la inyección con common rail de combustible, pero en este caso con actuadores mecánicos para el accionamiento de los inyectores, y no inyección electrónica.

No obstante y durante la misma época, en la década de los años 20, Thomas Gaff fue el primero que usó la inyección electrónica a través de válvulas con solenoides controladas por un flujo de corriente eléctrica. El combustible era dosificado controlando el tiempo que pasaba la válvula abierta.

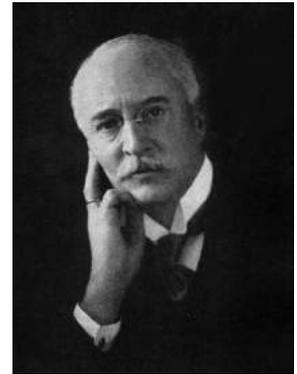


Fig.1 Rudolf Diesel

La idea de usar la inyección eléctrica en un motor diésel con common rail fue desarrollada por *Books Walker* y *Harry Kennedy* a final de los años 20, y aplicada en los motores por *Atlas-Imperial Diesel Engine Company of California* a principio de los años 30.

Refiriéndonos a lo que se conoce como la inyección eléctrica moderna, fue pionera en los años 60 gracias a *Societe des Procedes Modernes D'Injection (SOPROMI)*, aunque aún le llevara de 2 a 3 décadas para que la presión regulatoria pudiera estimular un mayor desarrollo junto con la tecnología que la haría hacer viable comercialmente en un futuro próximo.

La tecnología SOPROMI fue evaluada por CAV Ltd. (que era una de los principales fabricantes en inyectores para motores diésel y sistemas eléctricos para industria comercial y militar) a principios de los 70 y descubrió ciertos beneficios sobre los ya existentes sistemas de inyección de fuel clásicos. Pero aun así, faltaba trabajo por delante para mejorar la precisión y capacidad de los actuadores con solenoide.

Futuros desarrollos para los sistemas de rail común ocurrieron a lo largo de los años 80s. En el año 1985, *Idustrieverband Fahrzeugbau (IFA)* situada en el este de Alemania, desarrolló un sistema de inyección eléctrica con common rail en uno de sus camiones, pero el prototipo nunca llegó a producirse y fue abandonado pocos años después.

Durante los mismos años, General Motors también desarrolló un sistema de common rail aplicado en sus motores de ligera-carga IDI. El proyecto fue cancelado a mediados de los 80 debido al rechazo de este tipo de motores en el mercado internacional.

Unos años después, a principio de los 90, numerosos proyectos de investigación fueron desarrollados por los motores OEMs para posteriormente, ser adoptados en fabricantes de motores como los que siguen:

- Nippondenso desarrolló un sistema de common rail de combustible para vehículos comerciales, que posteriormente se aplicó en motores de camiones.
- En el 1993, Bosch presionado por Daimler – Benz, adquirió la tecnología de UNIJET para colaborar con diferentes marcas de vehículos y camiones comerciales.

Gracias a la introducción de estos sistemas en los pequeños motores diésel de cuatro tiempos, se descubrieron ciertas ventajas respecto a la inyección clásica, que posteriormente se fueron aplicando a los grandes motores diésel de dos tiempos.

De hecho la inyección electrónica ya existía para motores de dos tiempos, pero eran motores Otto de muy poca cilindrada (motocicletas) con carburador.

2.1 Ventajas del nuevo sistema de inyección respecto al clásico.

Las principales ventajas que se descubrieron respecto a la inyección clásica fueron:

- Presión de inyección de combustible totalmente independiente de la velocidad de giro del motor y sus condiciones de carga. Esto permite un mayor control y flexibilidad de la inyección y del tiempo de inyección que provoca un mejor rociado y mezclado con el motor a bajas rpm y cargas. Esto lo diferencia del sistema común de inyección (mecánica) del cual la presión de inyección depende de las rpm del motor.

Esta característica también permite al motor producir un mayor par de empuje a poca velocidad.

En general, motores con rail común de combustible e inyección electrónica pueden dar una presión máxima de inyección con un mayor rango de velocidades y cargas, que comparado a los motores clásicos no sucede.

De todas maneras, esta presión de inyección puede ser controlada con el fin de optimizar el rendimiento y las emisiones sin afectar a sus prestaciones.

- Un menor esfuerzo de la bomba para obtener un par de torsión máximo.
Solo los sistemas con inyección electrónica de alta presión de fuel son capaces de dar la máxima energía con una buena mezcla del comburente. Para ello, en el sistema convencional de inyección de combustible, el eje que acciona la bomba de combustible requiere de un gran esfuerzo de torsión, el cual podría llegar a dañarnos el eje con el que actúa sobre la bomba.
Por eso una de las razones detrás de la tendencia hacia los sistemas de rail común, era reducir al mínimo el requisito del esfuerzo de torsión máxima de la bomba. Mientras que los requisitos de par máximo eran parecidos, se encuentra un acumulador que permite el suministro de combustible a alta presión manteniendo el par en la bomba, que gracias a ello conseguimos una tasa de flujo máximo que no tenía por qué coincidir con el evento de inyección, como es el caso de la bomba de distribución. El flujo de la bomba se puede transmitir sobre una porción más larga del ciclo del motor para mantener la demanda de par de la bomba.
- Reducción del ruido. Los motores diésel son caracterizados por su pico de presión de combustión, provocando un mayor ruido que un motor otto.
Se comprobó que la mejora en la reducción del ruido provocado por la ignición del motor diésel junto con menores emisiones de NOx fue gracias a la inyección electrónica. Este ruido se redujo con el rail común de combustible pudiendo controlar la cantidad de combustible a inyectar, que hizo posible reducir la cantidad de combustible a inyectar a lo largo de sus RPM y carga.

3. Evolución del common rail

No es generalmente conocido que el primer sistema de inyección que no usaba aire comprimido para atomizar el combustible fuera un sistema de common rail. La implantación de este sistema para motores de dos tiempos fue inventado y patentado por Vickers of Barrow en Furness.

En los primeros sistemas de common rail, el motor movía mecánicamente las bombas de combustible presurizando el rail hasta 400 bar del cual derivaban tuberías de combustible a alta presión hacia los inyectores, operados por un eje de levas y sus correspondientes actuadores.

Sistemas posteriores usaron la presión hidráulica para el accionamiento de los inyectores con una entrada de combustible controlada a través de una válvula operada por una leva. A la vez, la cantidad de combustible a inyectar era regulado por levas excéntricas.

La poca evolución de estos sistemas supuso su estancamiento con una consecuente “desaparición” ante los sistemas clásicos de inyección con bomba por cilindro y sin common rail.

Aunque a finales de los años 90, con la introducción de la electrónica industrial en los sistemas marinos y junto a los pasos de gigante que dio la tecnología informática, supuso la posibilidad de re-introducir la inyección de combustible a través del common rail usando la tecnología moderna para distribuir la inyección sin medios mecánicos.

A todos estos avances, apareció la posibilidad de distribuir la inyección de combustible a través de los inyectores sin un eje de levas. A la vez también se implementó un sistema de inyección del aire de arranque inteligente según el ángulo de posición del cigüeñal para cada cilindro, con el fin de conseguir un arranque más eficaz y económico.

3.1 Aplicación de los nuevos sistemas electrónicos en los grandes fabricantes

Actualmente, los dos mayores y principales fabricantes de motores de dos tiempos con cruceta que son MAN B&W y Sulzer Wartsila ya han introducido los motores sin ejes de levas. Para el caso de Sulzer Wartsila, estos motores son llamados RT-Flex, en cambio, para MAN B&W se les conoce como intelligent ME (motores principales inteligentes).

En común tienen un sistema parecido para el accionamiento de las válvulas de escape; los dos usan bombas de pistón movidas por el mismo motor o incluso eléctricamente para presurizar el common rail de aceite del servo que acciona las válvulas de escape y las de inyección de combustible a 200 bar.

En los motores MAN B&W el aceite del servo también se usa para accionar los inyectores de lubricación situados en las cánulas de la camisa (Alpha systems).

Aunque ambos funcionan sin eje de levas, se usa la electrónica para controlar los siguientes sistemas:

- Válvulas de inyección de combustible
- Válvulas de escape
- Válvulas de aire de arranque

3.2 Introducción a la inyección electrónica de combustible

Para tener una primera idea en lo que consiste la inyección electrónica con common rail de combustible en términos generales, procederé a hacer una breve explicación de ella, dándole más énfasis en posteriores puntos.

La inyección electrónica de combustible consiste en la inyección del mismo a través de válvulas controladas electrónicamente por las llamadas unidades electrónicas de control. Estas válvulas electrónicas de control están compuestas básicamente por solenoides alimentadas por una corriente eléctrica provocando la apertura/cierre de la misma válvula.

En el caso del inyector, es el mismo que si fuera un motor con inyección mecánica pero la única diferencia es que antes de este, se encuentran las unidades electrónicas de control que son las que abren el paso del combustible entre la bomba (situada a parte del rail común) y el inyector. Suele haber una UEC (unidad electrónica de control) para cada inyector.

La cantidad de combustible a inyectar es calculada por la unidad de control basándose en la información recibida en relación con las condiciones de funcionamiento del motor. Esta información incluye la presión múltiple, enriquecimiento del acelerador, para el arranque en frío, condiciones de funcionamiento en vacío, temperatura ambiente y presión manométrica. Los sistemas trabajan a presión constante e inyección variable sincronizada o de flujo continuo.

Wartsila Sulzer usa un rail de combustible presurizado a través de bombas accionadas por tres levas girando solidariamente con el cigüeñal.

Las válvulas del rail reciben corriente para la inyección a través del Valve Driver Module, proveniente del Control de Rail, que abre las válvulas controladoras de la inyección.

Las bombas son de caudal variable y a la vez regulable, basadas en el tipo ZA40 y controladas por un eje movido eléctricamente, el cual es controlado por el ordenador del motor.

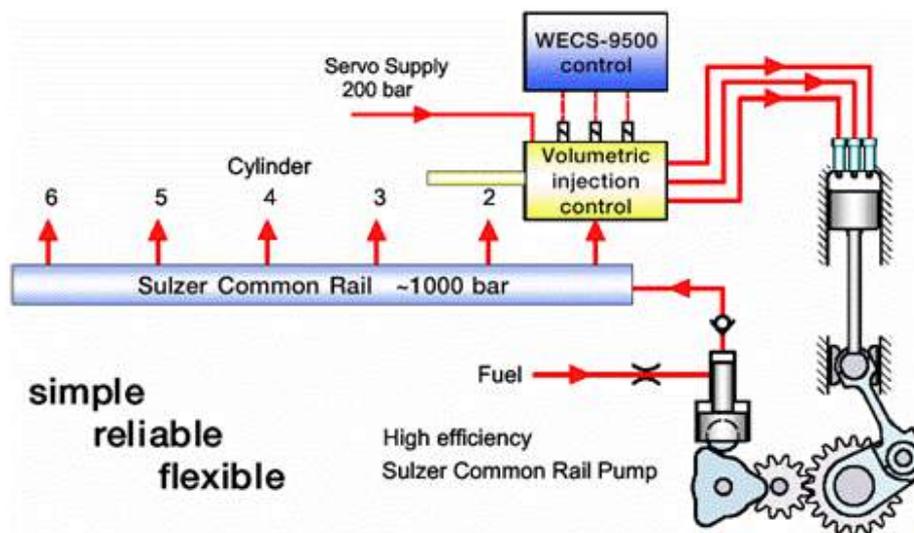


Fig.2 Esquema de producción de la presión de combustible e unidades de control

A este ordenador se le conoce como WECS (Wartsila Engine Control System) que controla la entrada de combustible del common rail a través del sistema de control de flujo volumétrico para una correcta distribución e inyección del combustible a través de las tuberías de alta presión hacia los inyectores, que son accionados por aceite a presión procedente del aceite del servo a unos 200 bar.

A poca carga/revoluciones del motor, el sistema anula uno de los tres inyectores que dispone cada cilindro.

Pero además, a muy poca carga / revoluciones del motor, se anulan hasta dos de los tres inyectores. Esto se produce como medida preventiva a la emisión de gases de escape visibles (gran humo negro debido a la mala combustión por la gran cantidad de combustible inyectada) y a la vez para reducir el consumo de combustible. También, es posible alcanzar una carga del motor de hasta el 10% donde se pueden llegar a revoluciones tan bajas como 7 RPM con el motor en marcha.

Si comparamos los sistemas de inyección mecánica, con los de inyección electrónica tienen un gran número de ventajas, pero las más importantes son las siguientes:

- Menores partes móviles.
- No requiere de estándares precisos de maquinado.
- Menor pérdida de potencia debido a una menor pérdida de carga.
- No requiere de una gran intensidad eléctrica para la apertura de las válvulas de solenoide.
- No tiene requerimientos críticos de filtración de combustible.
- Tiene un bajo coste.

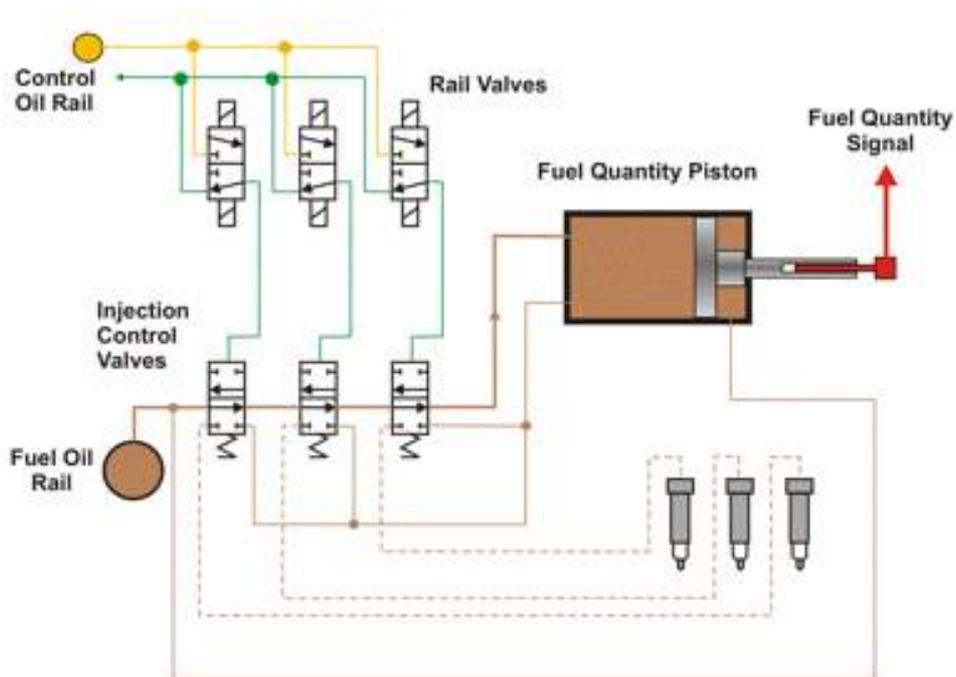


Fig.3 Circuito de inyección eléctrica para los motores Wartsila Sulzer

3.3 Introducción al sistema eléctrico de bombeo de combustible

A diferencia de los Wartsila Sulzer, los MAN B&W no están diseñados con un sistema de common rail de combustible, sino que usan una válvula de accionamiento electrónico llamada FIVA (Fuel Injection Valve Activation) que permite que el aceite presurizado del servo mueva un pistón hidráulico, habilitando el paso del aceite a la bomba de combustible y moviendo el pistón de la bomba verticalmente incrementando la presión del combustible hasta llegar a la presión de apertura de los inyectores.

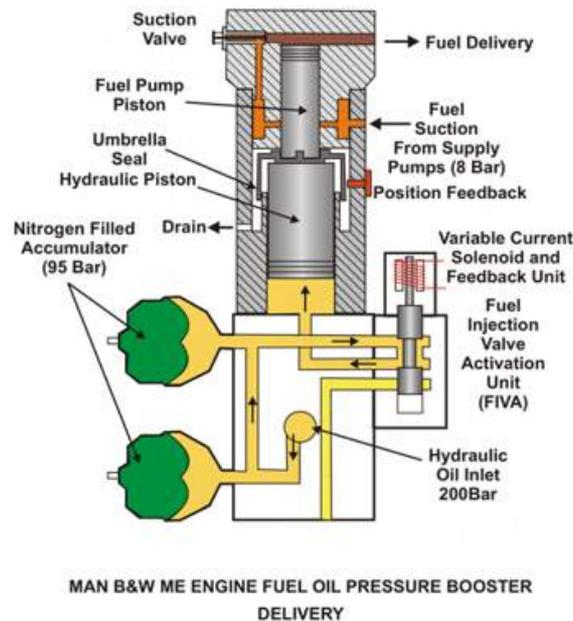


Fig.4 Bomba de alta presión de combustible de los MAN B&W

Un acumulador de nitrógeno a presión mantiene la presión hidráulica del aceite del servo durante el accionamiento del filtro, impidiendo que este retroceda y se pierda tanto como la presión y el aceite.

Para conseguir el preciso y correcto punto de inyección, el Sistema de Control ha de saber el ángulo del cigüeñal en cada unidad individualmente. Para conseguir esto, se colocan dos sensores de posición del cigüeñal en cada unidad. Estos sensores tienen un margen de error no superior a 0.1°. Las presiones y potencias desarrolladas en cada unidad son continuamente monitorizadas usando medidores instalados dentro de cada culata. El Sistema de Control ofrece una gran flexibilidad en cuanto al tiempo y ángulo en el que se produce la inyección teniendo en cuenta la cantidad de combustible a inyectar, el tiempo muerto (tiempo entre que se produce la señal de inyección hasta que se produce la misma).

Esta flexibilidad se mide en un ángulo, que es la diferencia entre la posición en la que se debería inyectar y en la que realmente se inyecta, llamado VIT (Variable Injection Timing).

3.4 Introducción al sistema de accionamiento electrónico de la válvula de escape

El actuador de la válvula de escape sustituye al eje de levas que operaba la bomba hidráulica que levantaba la presión del aceite del servo para la apertura de la válvula.

En este caso, los dos fabricantes han usado el mismo principio de funcionamiento que es el siguiente:

El aceite del servo a unos 200 bar pasa a través de la válvula NC (Normalmente Cerrada), controlada por la Unidad de Control del Cilindro, que a través de una señal eléctrica abre el paso del aceite a presión para mover un pistón hidráulico que levanta presión haciendo abrir la válvula de escape. La presión hidráulica que levanta el actuador proviene del aceite del motor (aspirado del cárter), siendo otro tipo de aceite diferente al usado para presurizar el common rail del servo.

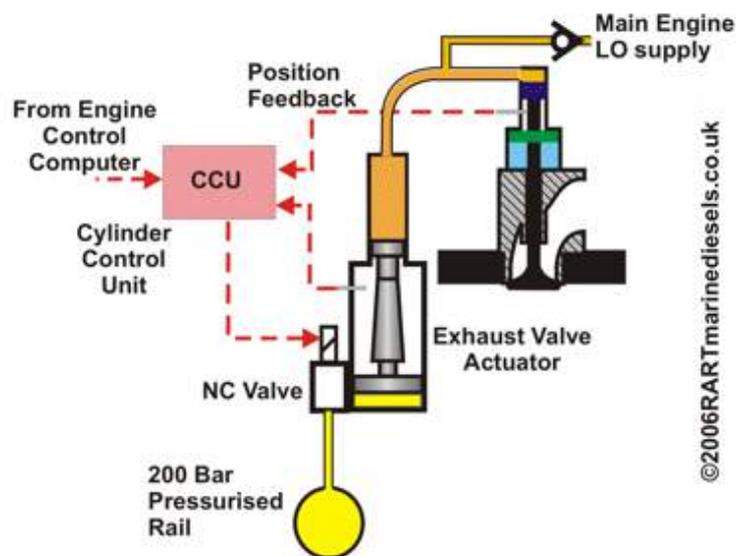


Fig.5 Sistema de apertura de la válvula de escape.

3.5 Introducción al sistema del aire de arranque inteligente

El sistema de aire de arranque es similar al sistema que se usa en los motores convencionales, excepcionando que no se necesita de un distribuidor movido mecánicamente por el motor para abrir las válvulas del aire de arranque en el ángulo adecuado.

En vez de usar este distribuidor que acciona las levas para abrir la válvula del aire de arranque, cada válvula es abierta en el tiempo exacto, recibiendo información del ordenador central del motor, que envía una señal eléctrica a la válvula solenoide NC.

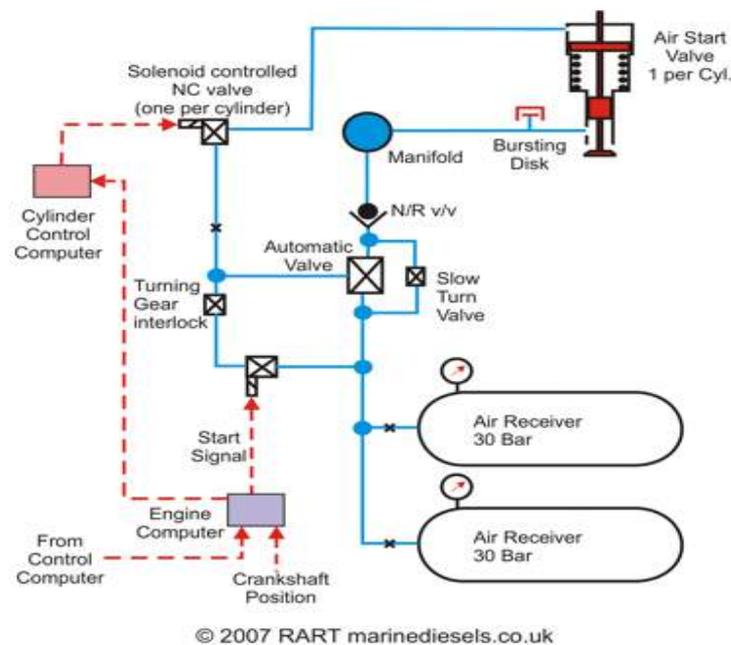


Fig.6 Esquema de distribución y control del aire de arranque

El tiempo de apertura de las válvulas de aire de arranque depende del número de cilindros, pero han de estar abiertas el suficiente tiempo para permitir la sobre posición, queriendo decir que cada válvula se ha de abrir antes de que la anterior se cierre para poder arrancar el motor desde cualquier ángulo de reposo.

La apertura nominal de la válvula de aire de arranque se puede considerar desde 0º PMI (Punto Muerto Inferior) y cerrándose a 110º del mismo.

El ordenador central conoce el momento en el que se ha de enviar esa señal, ya que continuamente está recibiendo información del ángulo de posición del cigüeñal y sus RPM.



Cuando el motor ha llegado a la velocidad de arranque, una señal eléctrica cierra las válvulas de solenoide del aire de arranque para la posterior introducción de combustible en el cilindro.

4. Wartsila RT – FLEX Motores controlados electrónicamente.

4.1 Los RT-Flex en servicio

El primer motor RT-Flex creado fue en Junio del año 1998 en los talleres de Warstila en Suiza representando una de sus primeras generaciones de motores controlados electrónicamente por Sulzer. El primer motor RT-Flex creado fue el RT-Flex 58T-B, probado en Enero de 2001 y posteriormente instalado en una planta de propulsión de un granelero de 47.950 toneladas de peso muerto. En Septiembre fue botado con el RT-Flex 58T-B con gran éxito, ya que era capaz de mantenerse estable a 12 rpm.

Ordenes subsecuentes dieron a conocer el modelo de siete cilindros RT-Flex 60C, el primer motor Wartsila controlado electrónicamente con common rail.

La opción de los RT-Flex fue extendida a todo tipo de calibres que existía en los RTA. El primer contrato para un 12 cilindros RT-Flex 96C desarrollando 68.640 kW a 102 rpm fue en un portacontenedores a principios del año 2003.

Probado en Mayo/junio de 2004. El debut del 12RT-Flex96C demostró la habilidad de mantener velocidades de hasta 7 rpm, impulsado por la mejora de la combustión que a la vez provocaba una emisión de gases inferior a lo largo del rango de velocidades que disponía el motor.

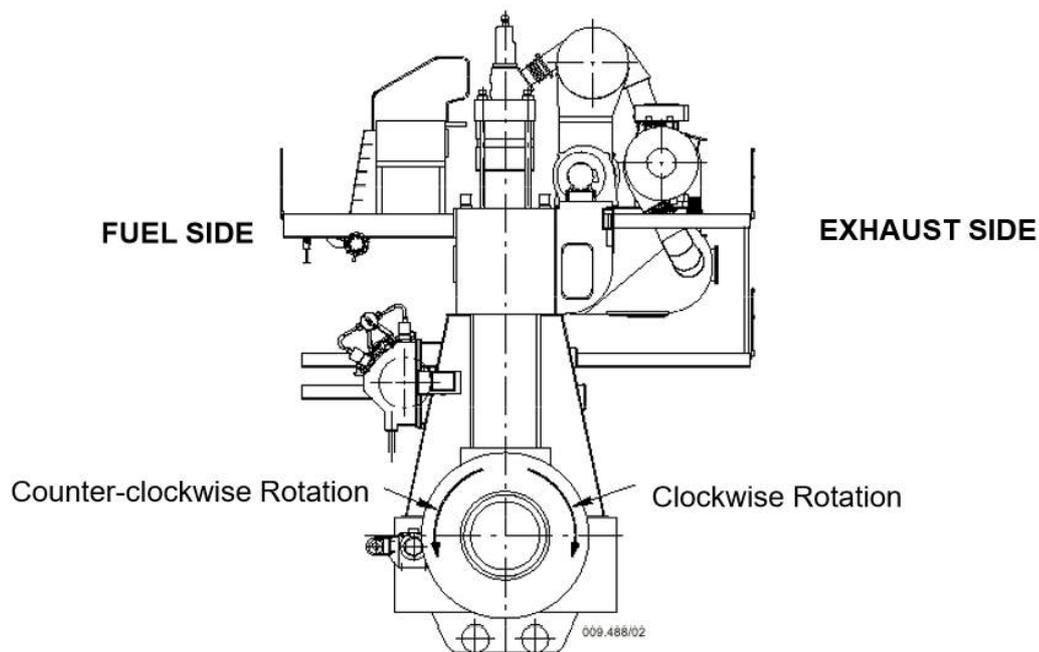


Fig.7 Distribución general de los motores Wartsila Sulzer RT-Flex

4.2 Evolución y comparativa de los RT-Flex con los RTA.

El sistema Wartsila RT-Flex, ofreció como opción para la mayoría de los modelos RTA, el resultado de un proyecto creado por Sulzer durante los años 80 para crear un motor que sea capaz de ser controlado electrónicamente sin restricciones impuestas por los sistemas mecánicos a la hora de la inyección de combustible y el control de las válvulas de escape. Las bombas impulsivas de combustible tradicionales combinan la generación de presión en el fluido, sincronización y medida en la bomba con la única limitación en la flexibilidad de la influencia de las variables anteriormente mencionadas.

En cambio, el sistema de common rail de Warstila separa las funciones y da una mayor flexibilidad para optimizar el proceso de combustión en la inyección y la sincronización de las válvulas.

Los motores RT-Flex son en esencia iguales que los RTA nominales, pero carecen de:

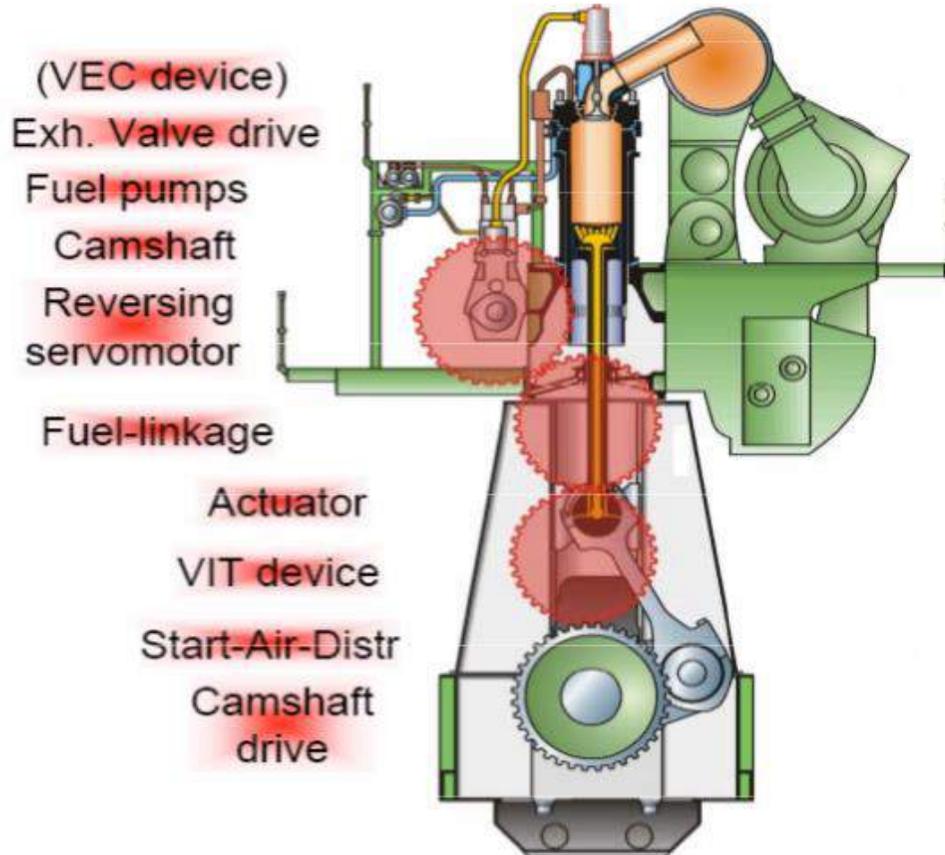
- eje de levas y su transmisión de engranajes
- bombas impulsivas de combustible
- actuadores para las válvulas de escape
- servomotores reversibles.

Carecen de lo mencionado anteriormente debido a que son motores equipados con sistemas common rail para la inyección de combustible y para el accionamiento de las válvulas de escape, los cuales son completamente controlados electrónicamente.

En la imagen insertada a continuación se podrán observar de manera más esquemática y sencilla los elementos substituidos en los antiguos RTA por los nuevos sistemas de los motores de última generación controlados electrónicamente.

En el dibujo izquierdo se puede observar los motores Wartsila Sulzer RTA convencionales con los elementos mas significantes para la inyección electrónica en rojo, substituidos por los verdes en el esquema de la derecha de la nueva generación de motores Wartsila Sulzer RT-Flex.

Sulzer RTA



Sulzer RT-flex

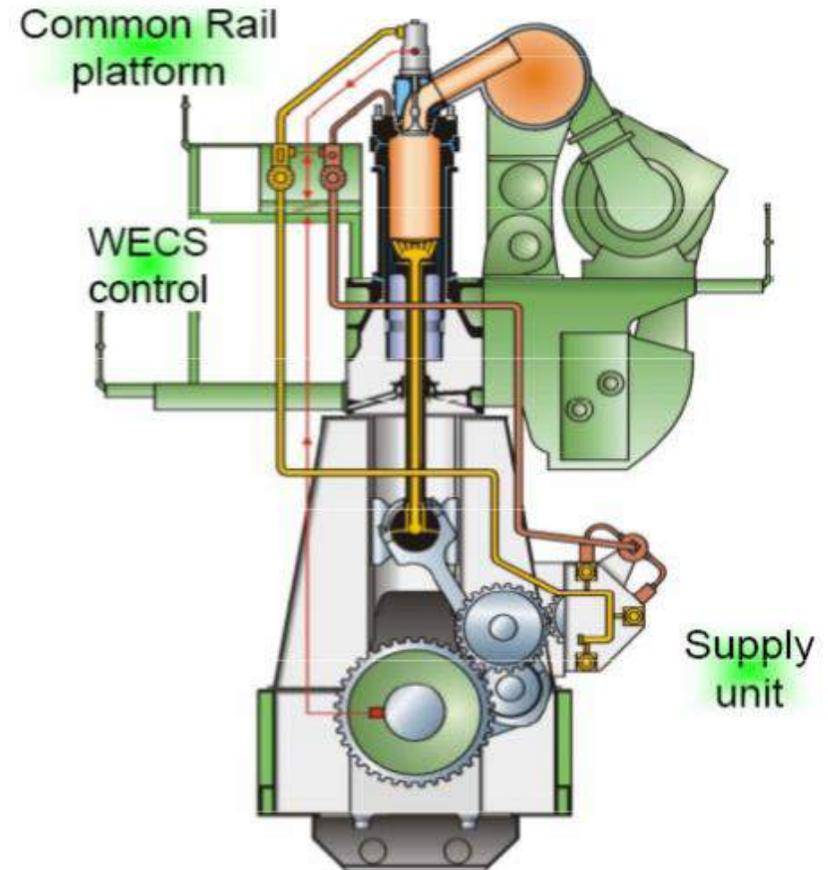


Fig.8 Comparativa entre los motores Wartsila Sulzer RTA y RT-Flex.

Principales características del motor comparadas entre los convencionales y los de última generación:

Características	Motores convencionales RTA	Motores de nueva generación RT-Flex
Desarrollo de la presión de combustible	Una bomba por cilindro	No depende directamente de los cilindros
Almacenamiento de la presión del combustible	N/A	Fuel rail
Tiempo de inyección	Depende de la leva	WECS-9520 / ICU
Incremento de presión para la apertura de la válvula de escape	Una bomba por cilindro	Servo bombas situadas en la unidad de suministro
Almacenamiento de la presión de aceite del servo	N/A	Servo rail
Tiempo de apertura de la válvula de escape	Depende de la leva del árbol de levas	WECS-9520 / ICU
Actuador de las bombas de combustible	Regulado según la potencia/rpm	Se mantiene una presión constante en el rail.
Gobernador electrónico	La liberación de la posición de la bomba de combustible al actuador	La liberación del comando a WECS
Control de la potencia/rpm	Bomba de combustible	"Fuel quantity piston"
Tiempo de apertura de la válvula del aire de arranque	Distribuidor del aire de arranque	WECS-9520
Marcha atrás	Árbol de levas específico para la marcha atrás	WECS-9520
Control en caso de emergencia	A través de un eje mecánico con levas actuando sobre válvulas neumáticas de control del motor	Se envían señales de maniobra a los paneles de control WECS con los comandos de combustible
VIT,VEC	Funciones incluidas en el control remoto	Funciones incluidas en WECS
Cableado del motor	Cables individuales	Sistema de distribución BUS

Tabla A

Los beneficios que presentan estos Warstila RT-Flex respecto a los RTA son los siguientes:

- Menor producción de gases de escape a cualquier velocidad del motor.
- Capacidad de trabajar a muy bajas revoluciones con pocas emisiones gracias al sistema de anulación de inyectores para llegar a mantener una velocidad mínima con el motor en marcha de 7 rpm.
- Reducción de los costes debido al menor consumo de combustible y al mayor plazo entre “overhaulings”
- Reducción del mantenimiento requerido, gracias a la simple opción que nos proporciona el sistema de control, ya que la configuración inicial de funcionamiento del motor es mantenida.
- Mantenimiento reducido gracias al ahorro de los costes de las piezas nuevas para los “overhaulings” gracias a la inyección de combustible volumétrico. El sistema de combustible common rail y su volumétrico control de inyección hace posible un gran balance entre la potencia desarrollada entre cilindros y ciclos, con la precisión de la inyección y la igualación de las cargas térmicas.
- Seguridad bajo escritura de los test a larga duración del hardware de los sistemas common rail.
- El motor puede funcionar a su máxima potencia con una bomba de fuel y una de aceite del servo fuera de servicio.
- La reducción del peso por cilindro: aproximadamente 2 toneladas por cilindro en el caso de un motor RT-Flex en comparación con un convencional RTA con los mismos 580mm de diámetro de pistón.

El common rail para la inyección de combustible es un colector que recorre toda la longitud del motor por debajo de la plataforma superior y por debajo de la culata. El rail se sitúa en la plataforma más elevada del motor con fácil accesibilidad tanto por la parte superior del mismo que por la parte inferior.

El common rail es alimentado con combustible, como puede ser fuel oil a alta temperatura o gasoil marino, y elevada presión nominal de 1000 bar preparado para su futura inyección en los cilindros.

Las bombas de combustible disponen de un eje de multi-levas, movidos por el eje del motor a través de engranaje y suministrando el combustible a presión en el rail.

Por ejemplo, el conjunto de cuatro bombas son suficientes para elevar la presión a 1000 bar en el common rail de un RT-flex 58T-B compuesto por seis cilindros. El diseño de las

bombas, basadas en el principio de funcionamiento de las bombas de inyección de combustible usadas en los motores Sulzer de cuatro tiempos, tiene un control de aspiración para regular el volumen de combustible dependiendo de los requerimientos del motor.

El combustible es entregado desde el common rail y distribuido a cada válvula de inyección, pero previamente pasando por la unidad de control de cada cilindro.

Las válvulas de inyección son abiertas hidráulicamente por el aceite de control, dejando pasar el combustible a través de ellas y pulverizándolo.

Las unidades de control mandan la señal eléctrica para accionar las válvulas de solenoide de acción rápida, regulando el tiempo de inyección, controlando el volumen de combustible inyectado, y estableciendo el patrón de inyección continuamente. Las tres válvulas de inyección en cada culata son controladas por separado pero trabajando al unísono pudiendo ser operadas por separado si fuera necesario.

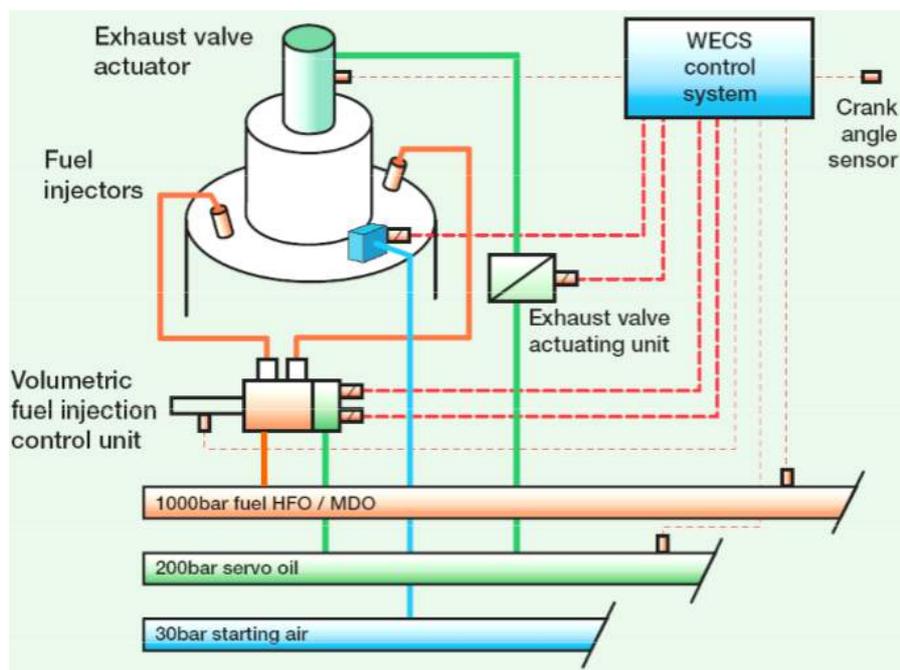


Fig.9 Distribución de railes con sus sistemas de control.

Las características clave del sistema common rail son las siguientes:

- Un preciso control volumétrico de inyección, integrado con un sistema en caso de seguridad de fugas.
- Organización variable de la inyección, con un rango de selección para las presiones de inyección.

- Presión estable, tanto en el common rail como en las tuberías de alta presión derivadas a los inyectores.
- La posibilidad del control independiente y la anulación individual de las válvulas de inyección.
- Diseñado idealmente para el “Heavy Fuel Oil” (hasta 730 cSt a 50°C).
- Equipados con válvulas de inyección de combustible estándares.
- Equipados con bombas de combustible de alta eficiencia.

La presión de inyección del combustible puede ser libremente seleccionada a más de 1000 bar independientemente de las rpm del motor. Gracias a la combinación de los diferentes patrones de inyección, conseguimos una mayor optimización del motor en diferentes ámbitos: por ejemplo, unos bajos niveles de emisiones o un consumo de combustible eficiente a rpm no óptimas.

El sistema de inyección puede ser adaptado a diferentes patrones:

- Pre-inyección: una pequeña parte del combustible es inyectado antes de la inyección principal.
- Triple inyección: la carga de fuel es distribuida en tres cortos y separados rociados en sucesión
- Inyección secuencial: una actuación individual de los diferentes tres inyectores, por lo tanto el momento de la inyección es diferente para cada uno de las tres boquillas de los inyectores.

Diferentes presiones en los cilindros puede ser creada durante el ciclo del motor, gracias a la libre selección de rangos de presión del rail, permitiendo obtener el parámetro óptimo para ser seleccionado en cada caso y para las diferentes cargas del motor, con una optimización del rendimiento.

La posible selección de la anulación de inyectores es válida para bajas rpm, consiguiendo una mejor inyección y atomización de las pequeñas cantidades de combustible requeridas. En casos como estos, el common rail es controlado para usar las tres válvulas de inyección en secuencia. Regulado con un gobernador electrónico, los motores RT-Flex han demostrado una buena y estable baja velocidad de hasta 7 rpm.

Las válvulas de escape son operadas de una manera parecida a los convencionales motores RTA con actuador hidráulico, pero con la presión hidráulica que se ejerce sobre el

actuador proveniente del servo rail a unos 200 bar. El aceite del servo rail es presurizado por bombas hidráulicas movidas mecánicamente por el mismo eje que mueven las bombas de combustible. Un actuador controlado electrónicamente para cada cilindro da una gran flexibilidad del tiempo de apertura y cierre de la válvula, gracias a la intensidad de las señales eléctricas para las aperturas de las solenoides a una mayor o menor velocidad. Dos sensores informan al sistema de control WECS-9500 de la posición momentánea de la válvula de escape.

El aceite del motor es usado como aceite para el servo para mantener el sistema simple y compatible. Antes de entrar en el circuito del servo, el aceite es direccionado a través de un filtro de 6 μm con sistema de lavado automático para asegurar la seguridad y la larga vida de los actuadores y válvulas de solenoide.

Todas las funciones del sistema RT-Flex son controladas y monitorizadas a través de la ya integrada unidad de control Wartsila WECS-9500. Este sistema de control modular consiste en un conjunto de microprocesadores separados por cilindros con una supervisión y control total de microprocesadores derivados, que proporcionan la interfaz para el control electrónico del gobernador, el control remoto y el sistema de alarmas.

La eficiencia de los RT-Flex a máximo régimen de potencia es la misma que la de los convencionales RTA, pero ha habido mejoras en el consumo de combustible con el motor a medias-bajas potencias. Este es el resultado de la gran libertad de selección del optimo tiempo y presión de inyección, y tiempo de apertura de la válvula de escape a todo tipo de cargas/rpm del motor, consiguiendo mantener una combustión eficiente en cualquier de las situaciones, incluyendo a muy bajas rpm. Una similar libertad en el tiempo de apertura de la válvula de escape, permite a los motores RT-Flex mantener una combustión con un exceso de aire alto gracias a un pronto cierre cuando la velocidad/carga del motor se reduce. Una baja eficiencia del turbocompresor a bajas cargas normalmente resultan en un bajo exceso de aire en la combustión fijado por el tiempo de apertura de la válvula.

Otra contribución de los sistemas RT-Flex, es la de ahorro de combustible citado por Wartsila, que es capaz de adaptarse fácilmente, variando el tiempo de inyección para casos de combustibles con unos bajos índices de combustión. La sobre carga del VIT (Variable Injection Time) ha sido una característica tradicional de Sulzer durante muchos años, usando un mecanismo con el objetivo de mantener la presión del cilindro alto a altas

cargas y velocidades. Esto es mucho más fácil de gestionar con un motor controlado electrónicamente.

4.3 Componentes mecánicos y sistemas hidráulicos

Los principales componentes mecánicos y eléctricos instalados en los motores RT-Flex y que a diferencia de los RTA no se encuentran, son los siguientes:

- WECS-9520 E90: es el sistema de control que recibe todos los datos y señales provenientes de los paneles individuales de control de cada cilindro.
- WECS-9520 E95: es el sistema de control individual que recibe los datos y señales de los sensores instalados en cada cilindro.
- Unidades de Rail: Compuesto por dos railes, en general, uno para el combustible y otro para el aceite del servo.
- Filtro automático: se encarga de filtrar el aceite del servo antes de pasar a trabajar al accionamiento de las válvulas, disponiendo de un sistema de auto-lavado.
- Bombas de control de aceite: son bombas movidas eléctricamente para el accionamiento de los inyectores, pistones hidráulicos, presurización del rail...
- Unidad de suministro: es donde se encuentran las bombas de alta presión del combustible junto con las bombas de aceite del servo que levantan presión a sus correspondientes railes.

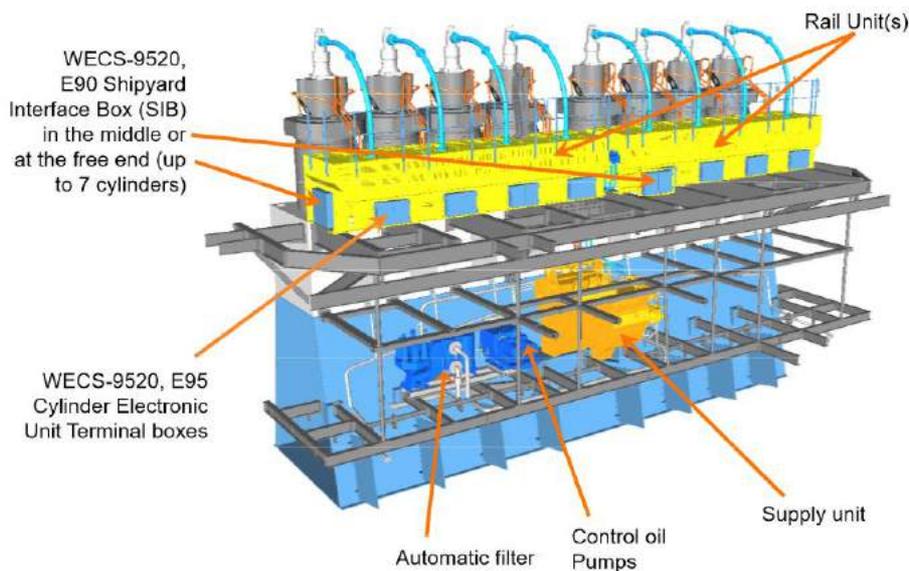


Fig.10 Distribución general del sistema hidráulico y de control del Warstila RT-Flex

4.3.1 Filtro automático para las bombas de control

El filtro automático de aceite, normalmente situado, al lado de las bombas de control de aceite usa el mismo aceite que se encarga de lubricar los rodamientos y cualquier parte metálica en contacto situada en el cárter del motor para una fácil operación y mantenimiento del mismo. Una rama de tubería es conectada desde la tubería principal de aceite a la entrada del filtro.

Dispone de unos cartuchos nominales de $6\ \mu\text{m}$ con un filtro en el by-pass de $36\ \mu\text{m}$.

El “residuo” generado por el filtro es devuelto al cárter del motor.



Fig.11 Filtro automático de las bombas de control

4.3.2 Filtro automático para las bombas del servo

Para el caso del filtro automático para las bombas de aceite del servo, en vez de usar un aceite hidráulico especial, se usa el mismo aceite situado en el cárter (el mismo que se usa para las bombas de control). La única diferencia es que este filtro tiene cartuchos nominales de $25\ \mu\text{m}$ con un filtro en el by-pass de $36\ \mu\text{m}$.

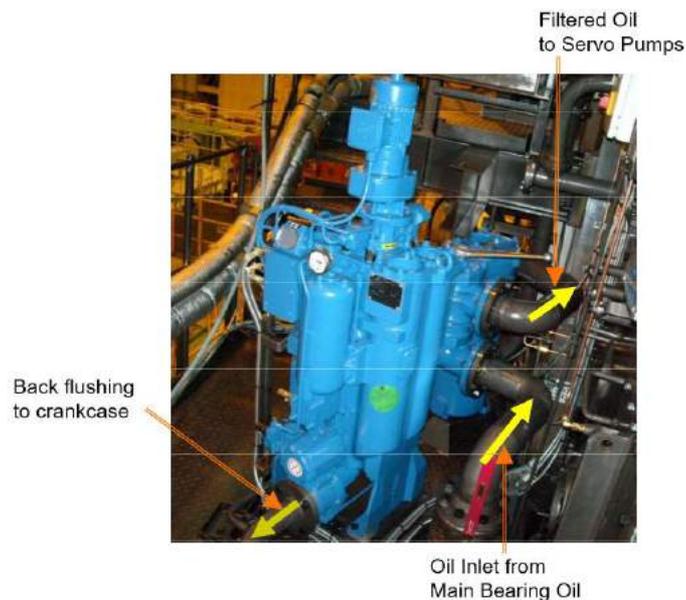


Fig.12 Filtro automático para el aceite del servo

El lavado o “flushing” del filtro es automáticamente iniciado por el panel de control situado en las proximidades del filtro, y se activa de las siguientes formas:

- Standard: Se acciona el lavado a tiempo controlado (cada hora)
- Suciedad: Si la diferencia de presión en el filtro es superior a 0.35 bar, se produce un lavado.

El aceite “residual” que proviene después de este lavado deriva al cárter del motor ya que es un aceite filtrado a un máximo de 25 μm . Este aceite podrá pasar a realizar su función normal.

Cada ciclo de lavado del filtro es contado y registrado en los informes diarios que se realizan de los diferentes datos de la sala de máquinas. En caso de fallo del sistema de filtrado, se hará saber mediante el sistema de alarmas.



Fig.13 Panel de control del lavado del filtro.

4.3.3 Unidad de suministro.

La unidad de suministro en los RT-Flex suele situarse en uno de los laterales del motor, totalmente apartado de la plataforma superior del motor, y con un eje que mueve y acciona a través de levas las bombas de combustible y las bombas de aceite del servo. Este eje es movido mecánicamente y a través de ruedas dentadas engranadas al eje del motor.

Las bombas de aceite del servo son movidas por piñones individuales con un “fusible mecánico” (un piñón de diámetro reducido) para que en caso de agarrotamiento de la bomba, no se dañe todo el eje.

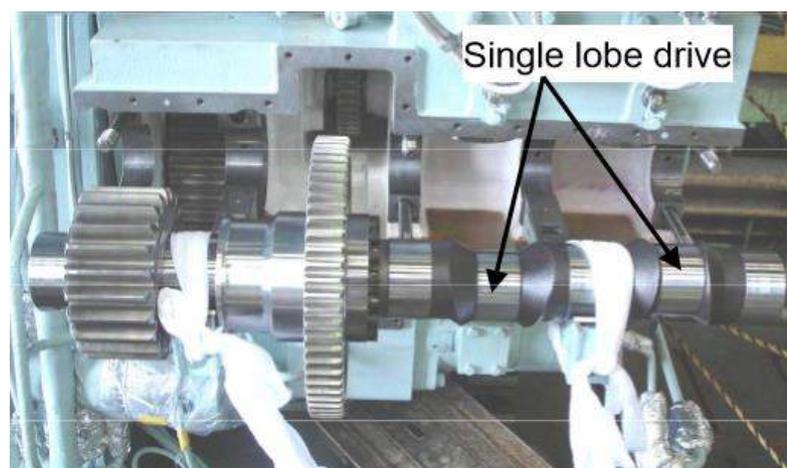


Fig.14 Eje de levas de las bombas de combustible

Como la unidad de suministro, tanto para las bombas de combustible como las del aceite del servo, no necesitan de un tiempo determinado de sincronización, el eje de levas de las bombas no ha de estar situado a un ángulo determinado respecto el eje del motor.

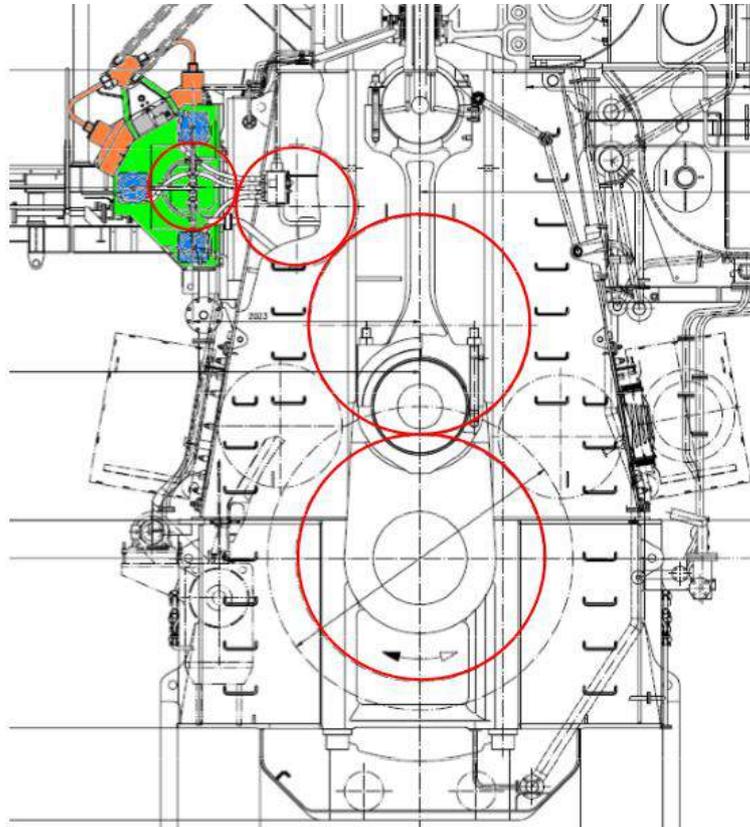


Fig. 15 Distribución del movimiento a través de ruedas dentadas hasta el eje de las bombas

La unidad de suministro está compuesta por dos tipos de bombas diferentes que son las siguientes:

- Unidad de Combustible: las bombas de tipo embolo se encargan de levantar presión en el combustible y presurizar el rail entre 600 y 900 bar. El caudal de la bomba es regulado vía actuadores electrónicos.
- Unidad de aceite del servo: Las bombas Dynex de aceite del servo presurizan el rail entre 100 y 200 bar. El número de bombas, tanto de combustible como de aceite del servo, dependen del número de cilindros que tenga el motor.

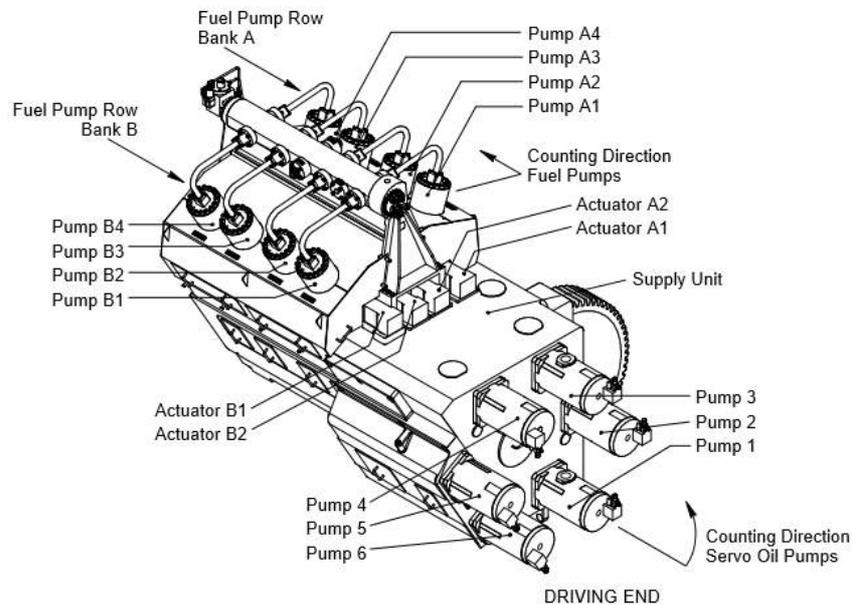


Fig.16 Unidad de suministro de combustible y aceite

3.3.4 Unidades de Rail.

Bajo la plataforma superior del motor (donde se puede acceder a las culatas), se encuentran situados los raíles de combustible, aceite del servo y el del aceite de control.

- Rail de combustible: contiene combustible presurizado por las bombas de alta presión de combustible. La presión es regulada dependiendo de las rpm del motor. Para cada cilindro hay una Unidad de Control de la Inyección (ICU) instalada en el rail. Estas ICU son accionadas mediante la presión generada por el aceite del servo. Posteriormente, WECS-9520 activa las ICUs para que el combustible pase a través de ellas y lleguen a los inyectores. El rail es calentado para mantener la temperatura alta del fuel oil a través de un sistema de tuberías de vapor envolvente a él.
- Rail de aceite del servo: al igual que en el de combustible, esta presurizado por las bombas de aceite del servo. Disponen de Unidades de Control de la Válvula de escape (VCU) instaladas en él. El sistema WECS activa la apertura de estas para el accionamiento de las válvulas.

- Rail del aceite de control: no es exactamente un rail, pero recibe presión por una bomba movida eléctricamente y su función consiste en asegurar un rápido arranque del motor, sin tener que esperar a que el rail del servo se presurice. La función principal es la del accionamiento y correcto tiempo de inyección de las ICU y las VCU para el paso de combustible y aceite respectivamente.

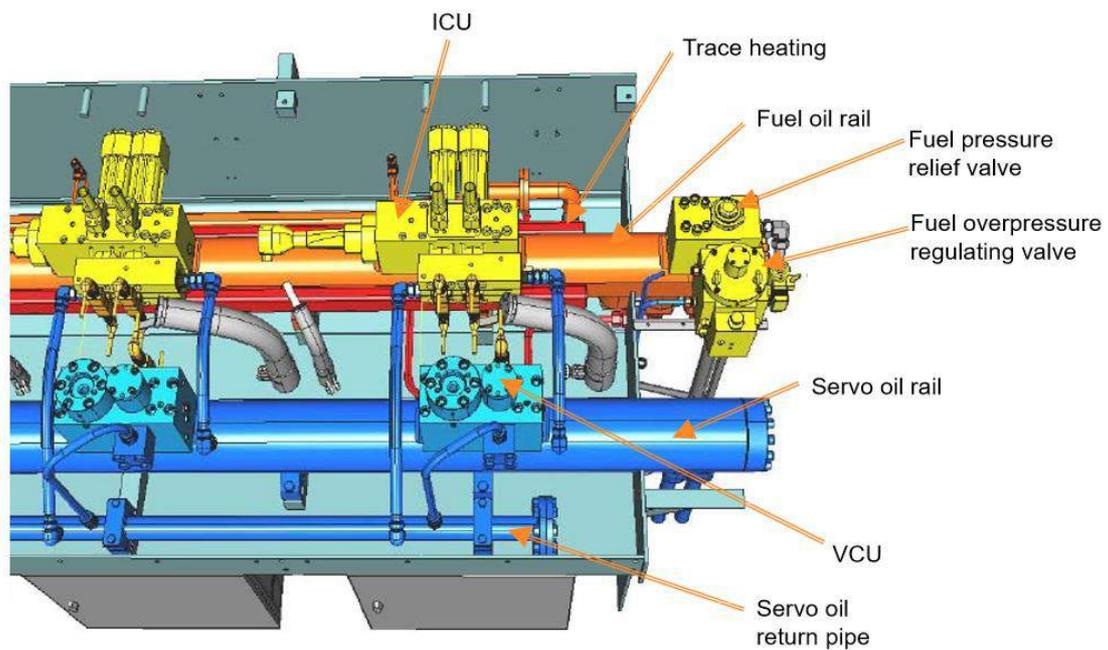


Fig.17 Diagrama de los diferentes railes en un RT-Flex.

4.4 Rendimiento ambiental.

Una gran flexibilidad en la optimización de la inyección de combustible y de la válvula de escape, permiten que los motores RT-Flex entren dentro de los límites que impone la IMO para las emisiones de NOx. El beneficio más visible es la baja emisión de gases a cualquier velocidad del motor.

El sistema de common rail permite una presión de inyección de combustible estable a un nivel óptimo, independientemente de la velocidad/carga del motor. En adición, a muy bajas velocidades, algunos inyectores son anulados y el tiempo de apertura de la válvula ajustado, con el fin de mantener una emisión de gases visibles por debajo del límite.

En cambio, los motores tradicionales sin common rail e inyección electrónica han incrementado el nivel de emisiones una vez se va reduciendo la velocidad del motor. Esto es debido a que la presión de inyección de combustible y el volumen a inyectar es reducida a proporción de la velocidad y potencia. La gran diferencia entre ellos es que los tradicionales no pueden anular ningún inyector ni modificar el tiempo de apertura de la válvula de escape.

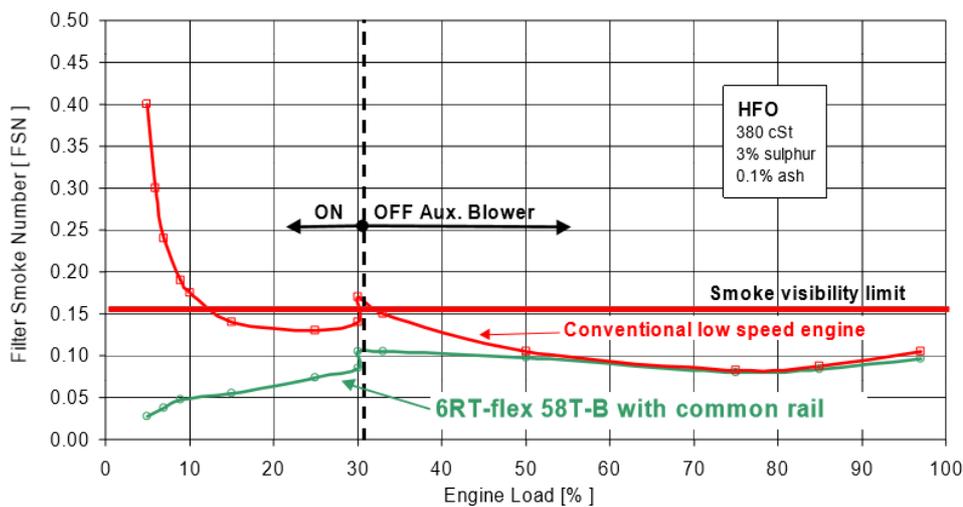


Fig. 18 Momento en el que se produce el arranque del ventilador del motor

Gracias a que todos los parámetros y ajustes, tanto en la combustión como en los procesos de barrido son controlados electrónicamente, futuras adaptaciones son posibles simplemente con modificaciones de software.

Una posibilidad de modificación en el software podría ser ofrecer diferentes parámetros para diferentes regímenes de emisiones.

De un modo, el motor podrá ser optimizado para un mínimo consumo de fuel a la vez que cumple con las normativas tan exigentes de NOx y SOx. Para ello, y con tal de satisfacer las regulaciones de emisiones de algunas áreas del planeta, el motor podría ser adaptado a un modo alternativo para unas bajas emisiones de NOx y SOx a la vez que el consumo de fuel es disminuido.



Fig.19 El motor marino más potente fabricado por Wartsila, modelo 14RT-flex 96C (common rail e inyección electrónica) con 84 420 kW

5. MAN B&W – ME Motores controlados electrónicamente

5.1 Motores ME controlados electrónicamente

En un motor MC (motor convencional) el eje de levas controla mecánicamente tanto la inyección de combustible como la apertura y cierre de la válvula de escape, un vínculo que limita bastante el tiempo de apertura/inyección y su sincronización.

Para los motores MAN B&W controlados electrónicamente, se crearon las series ME. El primer proyecto que inicio estas series fue en el año 1991. Posteriormente en los años 93, 97 y 2000 se fueron implementando pequeñas características del que se conoce ahora como las series ME.

Finalmente, fueron introducidos en el mercado en el año 2003, dispensando del eje de levas y aprovechando los sistemas hidráulico-mecánicos ayudados por un hardware y software electrónico para activar la inyección de combustible y las válvulas de escape.

Los motores ME se encontraban disponibles desde 500mm hasta 1080 mm de calibre ofreciendo las mismas potencias de salida que los motores MC.

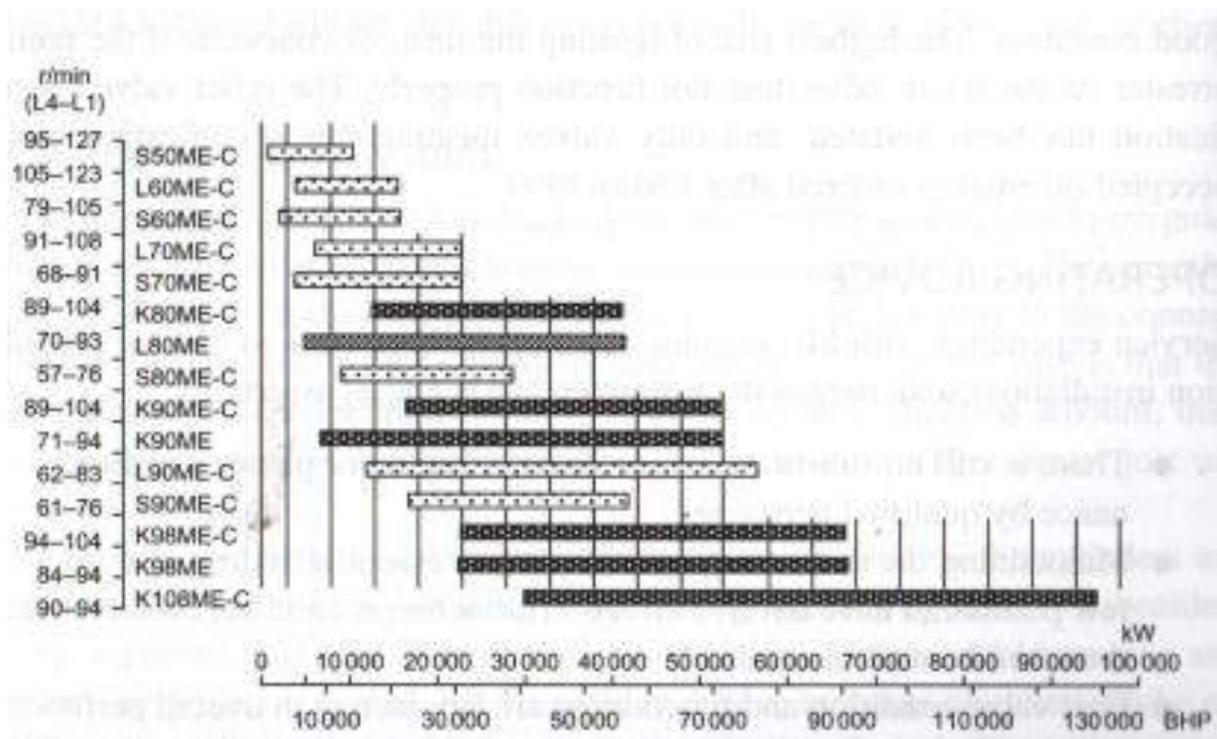


Fig.20 El programa de los motores ME controlados electrónicamente.

Con una inyección de combustible y una apertura/cierre de las válvulas de escape electrónicas permite una individual y continuo ajuste del tiempo en el que se ejecutan estas acciones, asegurando los siguientes beneficios clave.

Reducción del consumo de combustible

- Las características de la inyección de combustible pueden ser optimizadas a las diferentes cargas/rpm del motor, mientras que un motor convencional es optimizado cuando sus rpm están entre el 90-100%.
- Una constante presión en el margen superior de carga puede ser conseguido gracias a la combinación del tiempo de inyección y la variación del ratio de compresión (variando el momento de cierre de la válvula de escape). Como resultado, la máxima presión puede ser constante en un gran rango de cargas sin ser sobrecargado el motor.
- Una monitorización de los procesos sucedidos en el cilindro nos asegura que una correcta distribución de la potencia de salida y una correcta presión de inyección a lo largo de todos los cilindros puede ser mantenida “como nueva” a lo largo de la vida útil del motor.

Una segura y flexible operación del motor.

- La parada brusca y la marcha atrás del motor es mejorada y menos dañina al motor gracias al tiempo de inyección y de apertura/cierre de la válvula de escape, que puede ser optimizada durante estas maniobras.
- El parado del motor puede ser menos brusco reduciendo la distancia de frenado del barco.
- Aceleraciones del motor pueden ser más ligeras desde que la presión de aire de barrido puede ser aumentada más rápido de lo normal abriendo la válvula de escape antes durante esta aceleración.
- La velocidad mínima del motor es mejorada considerablemente. Las mínimas revoluciones por minuto son substancialmente menores que las de los motores convencionales. Dicha velocidad es mucho más regular y la combustión es mejorada gracias al control electrónico de la inyección de combustible.
- El monitorizado electrónico del motor, basado en el sistema MAN Diesel's CoCoSEDS, identifica las condiciones de funcionamiento del motor que pueden evitar problemas de rendimiento. Una mala ignición puede ser prevenida por el sistema de control de la inyección (pre-inyección).
- El sistema de control del motor incorpora un sistema de protección contra la sobre carga, asegurando que el motor cumple con el diagrama de carga y no es sobrecargado (la sobrecarga suele suceder cuando el barco navega por aguas poco profundas con una gran hélice).

- Los costes de mantenimiento son menores, siendo a la vez más sencilla como resultado de la protección contra cualquier sobrecarga, tanto del motor en general como de algún cilindro en particular. Las condiciones de funcionamiento del motor “como nuevo” también ayudan a este mantenimiento, siendo la mejor manera del mismo la parte de prevención, que es dada, gracias a la posibilidad del sistema de diagnosis al advertirnos en caso de función anómala de cualquier parámetro.

Flexibilidad de la emisión de gases

- El motor puede ser adaptado a diferentes modos de “bajas emisiones”, pudiendo reducir las emisiones de NOx por debajo de los requerimientos locales de la IMO.
- Con la selección apropiada de los modos de operación, el buque puede navegar con bajas emisiones de gases en áreas especiales, donde puede ser requerido (o más económico debido a los diferentes cánones del puerto) sin tener efectos negativos en esas áreas.

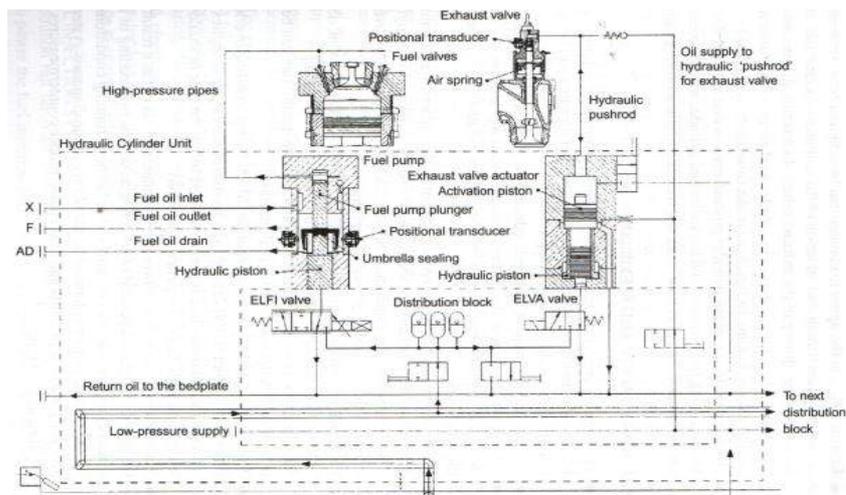


Fig.21 Sistema hidráulico-mecánico para activar el sistema de bombeado de combustible a alta presión y apertura de la válvula de escape

Los siguientes componentes de los motores MC convencionales no se encuentran en los motores ME:

1. Transmisión por cadena al árbol de levas.
2. Árbol de levas sin levas para las bombas de fuel.
3. Árbol de levas sin levas para las válvulas de combustible.
4. Engranaje de accionamiento de la bomba de combustible, incluyendo guías de rodillos y el mecanismo de marcha atrás.
5. Bombas de combustible convencionales.
6. Engranaje de distribución de aire de arranque.
7. Gobernador electrónico con actuador.
8. Regulador del eje.
9. Lubricadores del cilindro movidos mecánicamente.
10. Consola de control del motor.

Estos elementos han sido remplazados en los motores ME por una plataforma electro-hidráulica compuesta por:

1. Fuente de alimentación hidráulica.
2. Unidad hidráulica por cilindro con inyección electrónica.
3. Actuador electrónico de la válvula de escape.
4. Lubricación del cilindro Alpha.
5. Control electrónico de la válvula de aire de arranque.
6. Panel de control local.
7. Sistema de control con gobernador y sistema de monitorización.

5.2 Evolución y comparativa de los motores MAN ME con los motores MAN MC

El diseño de los motores MAN ME está basado en las mismas partes estructurales y los diseños específicos que los motores MAN MC (los clásicos), pero a diferencia que no disponen de eje de levas ni de guías de rodillo para las bombas de combustible y las válvulas de escape.

Estos motores han sido derivados de los MC y provienen después de más de 100 años de evolución de estos, gracias a una continua revisión del diseño y de la gran multitud de motores distribuidos a lo largo del mundo.

En el año 1993 se introdujo el primer motor con un sistema de control electrónico del motor.

Posteriormente en el año 1997 se produjo la segunda generación de motores con un sistema de control electrónico y, a la vez, se instalaron los primeros componentes mecánico-hidráulicos con sus consecuentes test.

La primera creación del que se conoce actualmente como motores inteligentes ME fue en el año 2003.

Esta nueva generación de motores cambia los sistemas mecánicos de los motores MC por los siguientes componentes para la futura creación de los motores ME.

Componentes generales de los motores MC:

- Movido por cadenas
- Eje de levas con sus excéntricas
- Guías de rodillo para las bombas de combustible y las válvulas de escape
- Bombas de combustible
- Válvulas de escape
- Actuador de las válvulas de escape
- Distribuidor del aire de arranque
- Gobernador
- Lubricadores de aceite del cilindro (H.J. / Alpha)
- Control local

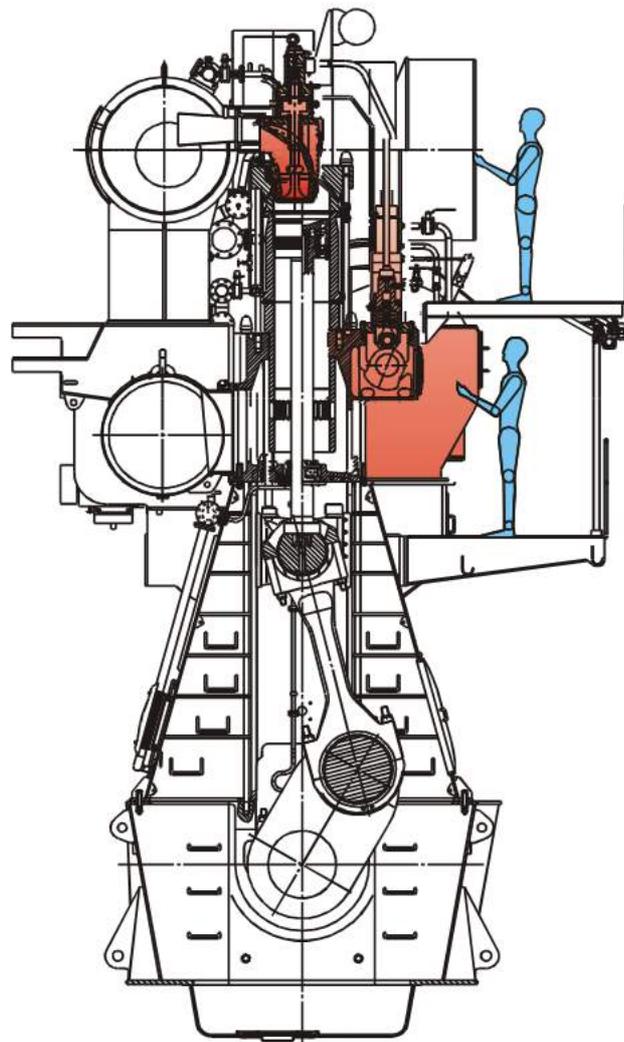


Fig. 22 Distribución de los componentes en los motores MAN M&W ME

Para los motores ME se mantienen los mismos elementos mecánicos/hidráulicos, pero siendo suprimidos el eje de levas con sus excéntricas y las guías de rodillo para las bombas de combustible y la válvula de escape.

Para el caso del ME serian los nuevos sistemas implementados encontrados a continuación:

- Unidad de suministro de potencia hidráulica
- Unidad de control hidráulica de cilindro
- Aumentador de la presión de combustible
- Sistema de aire de arranque
- Sistema taco
- Actuador de la válvula de arranque (FIVA, ELFI)
- Panel local de operación del motor
- Sistema de control del motor
 - ✓ Secuencia de arranque y marcha atrás
 - ✓ Funciones del gobernador
 - ✓ Ventiladores auxiliares
 - ✓ Inyección eléctrica perfilada
 - ✓ Actuación de la válvula de escape
 - ✓ Lubricación del cilindro

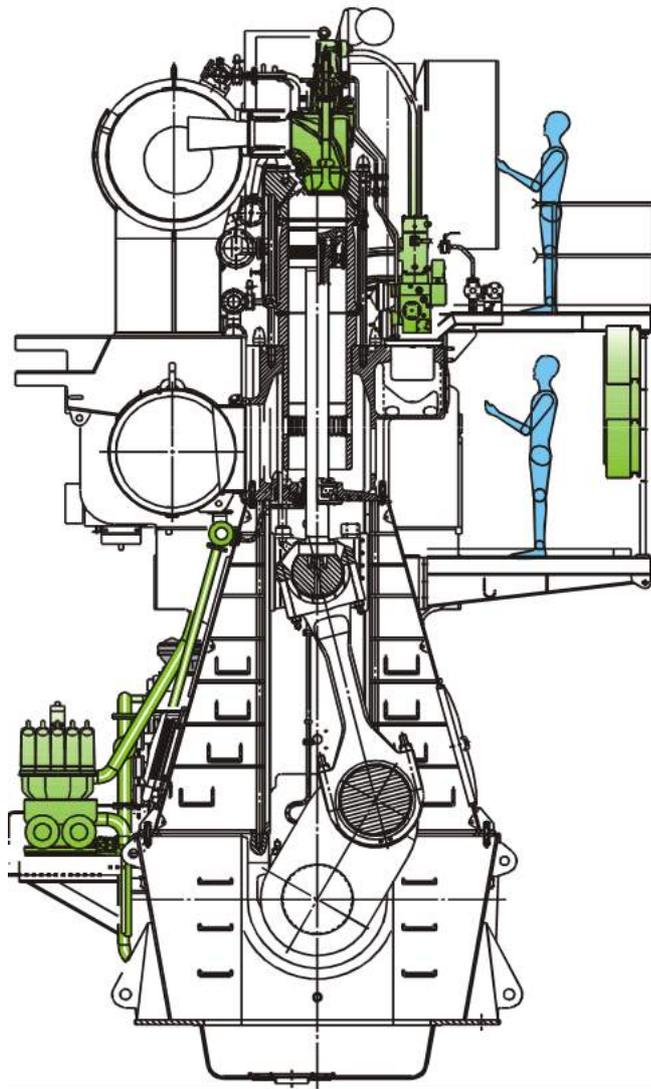


Fig. 23 Distribución de los componentes en los motores MAN M&W Mc

A continuación mostrare a través de una tabla de contenidos, las diferencias más resaltantes entre los motores MC y ME.

Características de diseño	MAN B&W MC	MAN B&W ME
Control de la inyección de combustible	Eje de levas	Electrónicamente
Medio y presión	Fuel Oil, 8 bar	Aceite, 300 bar
Conductor	Cadena	Cadena / Bombas hidráulicas
Control de la válvula de escape	Eje de levas	Electrónicamente
Medio / presión	Aceite / 3.5 bar	Aceite / 300 bar
Conductor	Cadena	Cadena
Distribuidor de aire de arranque	Mecánico / Neumático	Electrónico / Neumático
Sistema de control	Ajustes mecánicos	Ajustes mediante el software instalado en la unidad de control del motor

Tabla B

Añadiendo a todas las características mecánicas, existen ciertas ventajas para cada tipo de motor, por ello se encuentran los dos por igual en el mercado.

Las ventajas que ofrecen son los siguientes:

Motores MC

Son los favoritos por los armadores, diques secos y los constructores de motores.

- Tienen un menor coste de producción y de instalación de los componentes.
- Tienen una alta confiabilidad.
- Mejores condiciones de cilindro (menos complejos).
- Optimización del aceite lubricante de cilindros.
- Mas de 15000 motores fabricados y distribuidos por el mundo.
- Flexibilidad en el programa seleccionado para el motor.

Motores ME

Añaden unos nuevos valores que los MC no pueden ofrecer.

- Una continua adaptación a la demanda ambiental y de futuro mercado.
- Bajas emisiones de óxido sulfúrico.
- Una monitorización y operatividad mejorada.
- Guías de problemas mejorada.
- Modelado de velocidad y regulación de la inyección de combustible para una menor emisión de óxido nítrico.
- Lubricadores Alpha integrados.
- Optimización del comportamiento a bajas cargas del motor.
- Control electrónico integrado de los sistemas de inyección y actuación de las válvulas de escape con mayor adaptabilidad a las condiciones del motor.

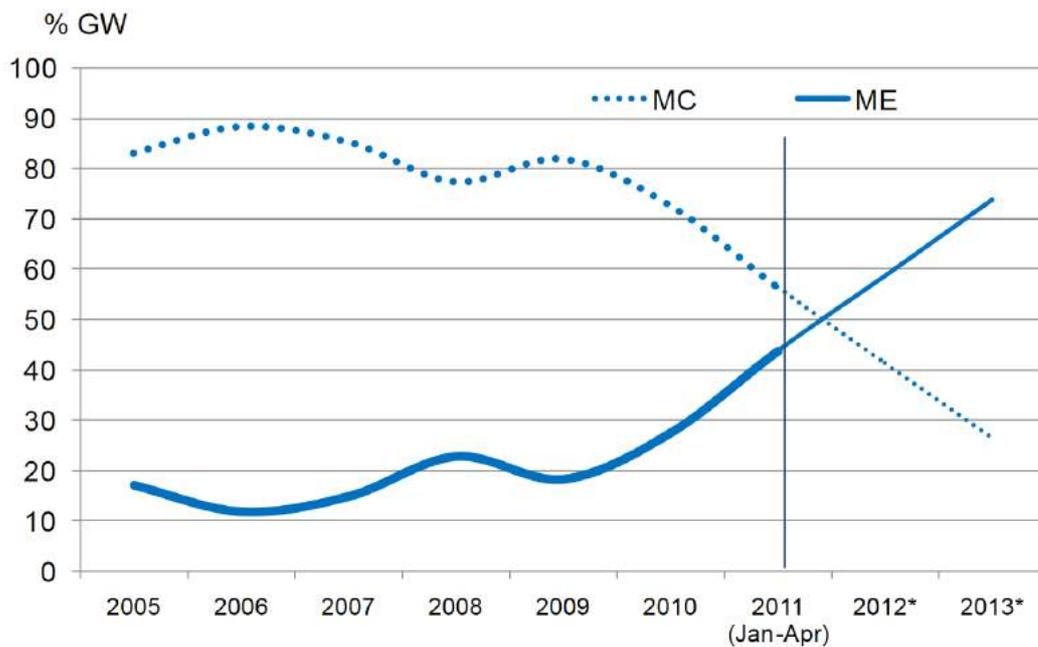


Fig.24 Evolución de la fabricación de motores ME respecto a los MC

5.3 Funcionamiento de los sistemas de los motores ME

MAN Diesel ganó valiosa experiencia en la investigación a la primera generación de los llamados “motores inteligentes” gracias al 4T50MX, en funcionamiento desde el año 1993 hasta el año 1997. Una segunda generación de motores inteligentes fue implementada en el año 1997 para la producción e instalación de la inyección de combustible controlada y del sistema de actuación sobre la válvula de escape.

Subsecuentemente R&D (research & design) se centró en transformar los elementos electrónicos en un sistema modular, donde algunos de los módulos podían ser aplicados a los motores convencionales. Esto llamo al desarrollo de una nueva unidad de control para grandes paquetes software que tienen que cumplir con los requerimientos implantados por las sociedades de clasificación marinas.

La segunda generación de motores inteligentes estaba basada en unas bombas hidráulicas de alta presión movidas por el cigüeñal levantando la suficiente presión para el accionamiento de las válvulas de inyección y las de escape para cada cilindro.

Antes de que el motor se pusiera en marcha, el sistema hidráulico o sistema del aceite del servo presurizaba el circuito gracias a una pequeña bomba movida eléctricamente que se encargaba de levantar la suficiente presión para el accionamiento de estos.

Un sistema de filtrado fino es usado para el aceite del servo, donde posteriormente pasan por unas bombas multi-pistón y es presurizado hasta unos 200 bar.

5.4 Sistema de inyección de combustible

Un sistema de common rail del caliente, limpio y presurizado aceite del servo, se encarga de dar la suficiente fuerza para conseguir accionar las bombas de alta presión de combustible para cada cilindro. Cada unidad de cilindro está compuesto por un acumulador de aceite del servo para asegurar la suficiente entrada de aceite de acuerdo con los requerimientos del sistema de inyección, y a la vez, para evitar grandes oscilaciones de presión en el asociado circuito de aceite del servo. El movimiento del embolo de la bomba es controlado por una válvula de control proporcional de rápida actuación (conocida como válvula NC), que es controlada por un motor eléctrico linear recibiendo la señal por parte de la unidad de control del cilindro. En cambio, las válvulas de salida y entrada de combustible para la bomba de alta presión de combustible son estándares.

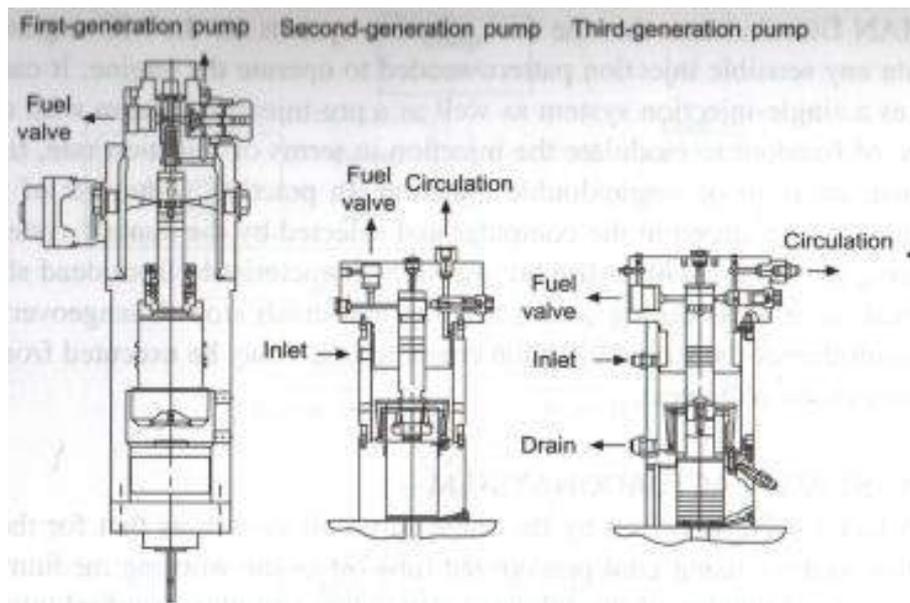


Fig.25 Desarrollo de las bombas de combustible de alta presión para los motores ME

La segunda y tercera generación de bombas de combustible de alta presión son mucho más simples que las de primera generación, y sus componentes son más pequeños y sencillos. Una de las grandes características que tiene la tercera generación de bombas es la habilidad de operar en fuel oil pesado; el actuador de la bomba está equipado con una modificada “sombrija” para prevenir que el fuel oil se cuele al circuito de aceite. El movido pistón y actuador son simples y mantienen la separación entre el aceite que mueve al pistón y el fuel oil que actúa sobre el actuador. Ambos, desde el principio hasta el final del movimiento del actuador, están controlado electrónicamente por la válvula de solenoide NC.

Una combustión y eficiencia térmica óptima llama a unos patrones de inyección de combustible establecidos por las unidades de control a la vez óptimos, que comparados con los motores convencionales es generado a través del movimiento que proporciona el eje de levas. Los grandes motores de dos tiempos están diseñados para una máxima presión de explosión y el tiempo de inyección es controlado por las levas, bombas y válvulas de inyección, para alcanzar la presión necesaria.

Para los motores modernos, la óptima duración de la inyección es entre los 18-20º de ángulo del cigüeñal con el motor a máximo régimen de carga.

Para asegurar la mejor eficiencia térmica, una vez el combustible inyectado es quemado después de la máxima presión de combustión, se consigue un máximo ratio de expansión para esa parte de calor restante, se alarga un pequeño instante la inyección, consiguiendo un máximo rendimiento térmico.

A partir de aquí, se puede deducir que la óptima inyección de combustible es en la que se incrementa el ratio de inyección. El eje de levas de los motores convencionales es diseñado acordemente, igual que en este caso lo está para los motores ME. En contraste al eje de levas basado en el sistema de inyección “alargada” se aplica para todo tipo de cargas del motor, en cambio, para los motores ME se aplica a cualquier condición de carga.

MAN Diesel reclama que el sistema de inyección para los motores ME puede ejecutar cualquier tipo de patrón sensible de inyección necesitado para operar adecuadamente el motor y asegurar su continuo funcionamiento.

Pueden realizarse desde una inyección simple hasta una pre-inyección con un gran ángulo de libertad para modular la inyección en términos de duración e incluso como doble inyección.

En la práctica, un completo número de patrones de inyección están guardados en los ordenadores de control y seleccionados por el sistema de control para operar el motor con las óptimas características de inyección, desde las mínimas rpm hasta la marcha atrás o la parada de emergencia.

5.5 Sistema de actuación de las válvulas de escape.

El sistema de apertura de las válvulas de escape es accionado por el aceite del servo (el mismo usado para el sistema de inyección), usando aceite presurizado como medio de trabajo. El sistema funcional de la válvula de escape es menos complejo que el de inyección, con solo una única complejidad, la de controlar el tiempo de apertura/cierre de la válvula.

Esto se da gracias a la actuación de la válvula de control on/off de rápida actuación.

El actuador para la válvula de escape es un sistema diseñado de dos etapas. El actuador de pistón para la primera etapa está equipado con un collar para la amortiguación de los dos impactos en las diferentes direcciones del movimiento. El segundo actuador trata de un pistón que no tiene muelle y está en contacto directo con el aceite del servo, el cual es empujado y transforma la potencia hidráulica del sistema en presión de aceite para mover el eje de la válvula.

5.6 Sistema de control

Ordenadores redundantes conectados en red que controlan y operan, sustituyen al eje de levas.

El sistema de control del motor, sistema integrado como elemento de los motores inteligentes, comprende de dos unidades de control; la unidad de control de cada cilindro y el sistema de control de las unidades. Ambos sistemas de control son optimizados para conseguir las necesidades específicas de los motores inteligentes.

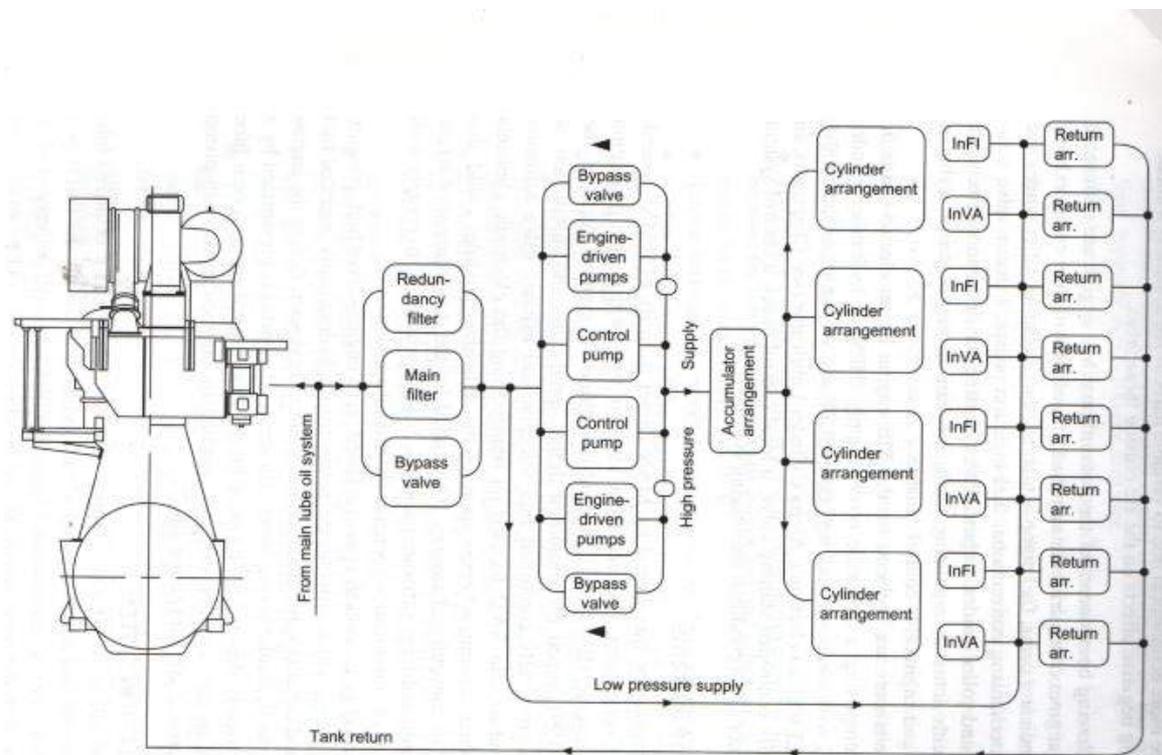


Fig.26 Diagrama del aceite del servo para los motores ME.

5.6.1 Sistema de control de las unidades

El sistema de control de las unidades se encarga de las condiciones generales del motor. Está conectado al control de la planta, al sistema de seguridad, y al sistema de supervisión y control de alarmas que es directamente conectado a los sensores y los actuadores.

Las funciones de este sistema es controlar la acción de los siguientes componentes y sistemas:

- La velocidad del motor de acuerdo con el valor de referencia de la aplicación del sistema de control (control del gobernador integrado).
- Protección del motor (protección contra la sobrecarga y los fallos)
- Optimización de la combustión para las condiciones de funcionamiento.
- Secuencia de arranque, parada y marcha atrás del motor.
- Llegada de aceite hidráulico (aceite del servo).
- Aceite de lubricación.
- Ventiladores auxiliares y turbo-alimentación.

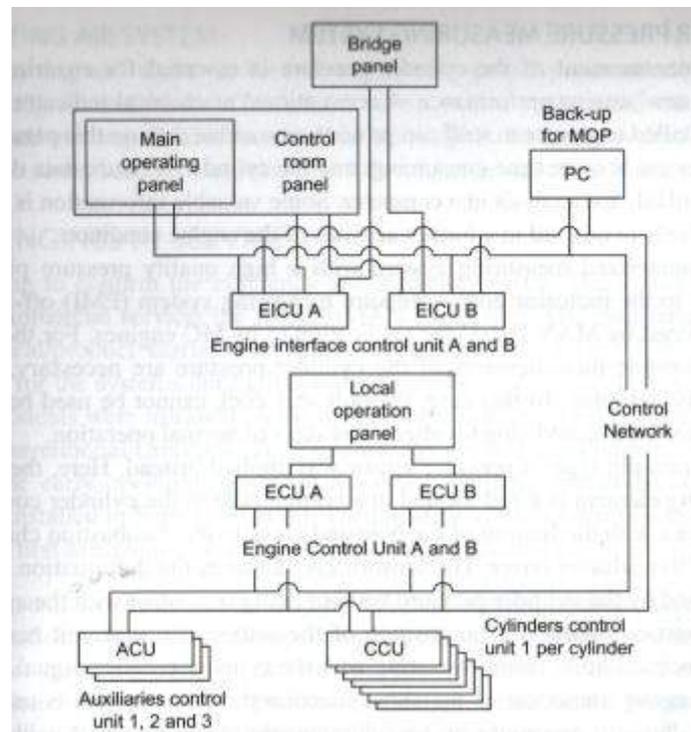


Fig.27 Configuración del sistema de control de los motores ME

5.6.2 Unidad de control del cilindro

La unidad de control del cilindro es conectada a todos los componentes funcionales de cada cilindro, con objetivo principal de controlar la activación de la inyección de combustible, la válvula de escape, la válvula de aire de arranque y la lubricación específica para cada cilindro. Desde que cada cilindro es equipado con su controlador, la peor consecuencia de un fallo en este sistema de control, es una pérdida temporal de potencia por parte de ese específico cilindro.

El sistema de control de las unidades tiene una segunda unidad de control en “stand by”, que en caso de fallo de la principal, inmediatamente entra en acción, siguiendo el funcionamiento del motor sin ningún cambio en el rendimiento.

En el caso de que ocurra un fallo en el controlador, el sistema identificará la unidad que falla, que simplemente puede ser reemplazada por una que se tenga de recambio. Una vez la nueva unidad sea reemplazada, será configurada automáticamente a las funciones de la que se ha reemplazado, y seguirá en operación al instante.

Ambas unidades de control están implementadas con el mismo tipo de hardware. En el caso de fallo de los sistemas conectados a éste (sensores, actuadores, cables), el sistema detectará el área en el que se ha producido este error ayudando al operario a identificar fácilmente el equipamiento a revisar.

5.7 Sistema de medida de presión en el cilindro.

Una fiable medida de presión en el interior del cilindro es esencial para asegurar la configuración de motor “como nuevo” para su rendimiento. Un indicador mecánico convencional en manos del personal de la sala de máquinas puede conseguir parámetros clave, pero el proceso es un poco costoso en cuanto a tiempo, y los datos de presión derivada del cilindro no están disponibles para el análisis en un ordenador. Parte de la información importante es menor a la usada para un análisis más exhaustivo de las condiciones del motor.

Un sistema de medición computarizado con una gran calidad y precisión de medida de la presión es conectado en la culata (sistema de medición de presión) fue desarrollado por MAN B&W en aplicación para sus motores MC. Para los ME, son necesarias las mediciones on-line de la presión en el cilindro. En este caso, la válvula indicadora de presión no puede ser usada porque el indicador de calibre se ensuciará pocos días después de su normal funcionamiento.

5.8 Sistema de aire de arranque

Las válvulas de aire de arranque en los motores ME son abiertas neumáticamente por una solenoide controlada electrónicamente, reemplazando el sistema mecánico que utilizan los motores MC para la distribución del aire de arranque. Una mayor libertad y un control más preciso se ha conseguido gracias a este avance, siendo más acentuado en el “slow turning” del motor.

Este sistema es controlado por las válvulas NC, que tal y como su nombre indica, se encuentran normalmente cerradas. Estas válvulas NC se encargan de abrir o cerrar el paso de aire entre el sistema y la válvula del aire de arranque. Por lo tanto, cuando la válvula se encuentra cerrada el aire es recirculado al sistema. Pero cuando la válvula NC se abre, el aire comprimido acciona a las válvulas del aire de arranque (comprimiendo un muelle tarado a una presión) y permite inyectar el aire en el interior del cilindro.

El instante y tiempo de inyección es controlado y monitorizado continuamente por las unidades de control del motor, que a diferencia con el sistema usado en los motores MAN MC, el sistema encargado de distribuir el aire entre las diferentes válvulas del aire de arranque era un sistema mecánico.

Gracias a este avance tecnológico, un arranque de aire mas eficiente con menor consumo de aire de arranque ha sido posible.

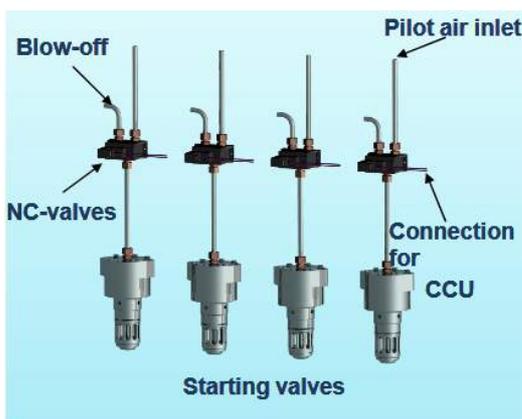


Fig. 28 Distribución del aire de arranque en los Motores MAN ME

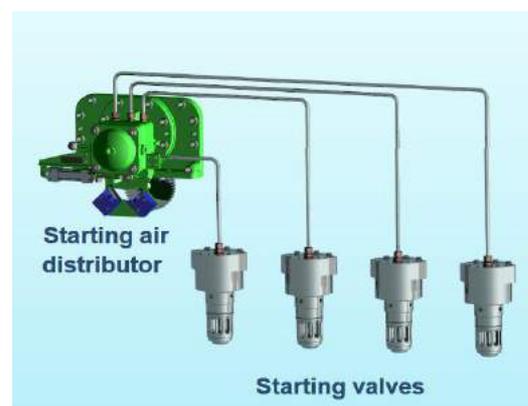


Fig.29 Distribución del aire de arranque en los motores MAN MC.

5.9 Motores ME en servicio

La búsqueda para confirmar la eficiencia y confianza de los sistemas ME en los servicios comerciales, fue iniciada con la implantación el motor principal Hitachi-MAN B&W 6L60MC, entregado en el año 1998 para propulsar un quimiquero. Los sistemas hidráulico-mecánicos estaban instalados en la plataforma superior del motor en paralelo con el árbol de levas.

El eje de levas fue usado durante las pruebas de mar y durante los primeros movimientos del buque, instalándose los componentes eléctricos en Septiembre del año 2000. El motor fue subsecuente comisionado como el primer motor ME que entro, definitivamente en servicio en Noviembre del 2000.

La flexibilidad del sistema es accesible gracias a los diferentes tipos de funcionamiento que tiene programados. Son seleccionados automáticamente adaptándose a las condiciones de carga del motor, o incluso manualmente por el operario para conseguir llegar a records de bajo consumo o bajas emisiones de gases. El modo de selección que se encuentra en el ordenador situado en la sala de control de la cámara de máquinas, permite al operador seleccionar los controles de emisión, tener el control del gobernador (con constante velocidad y par motor) y un control de la inyección.

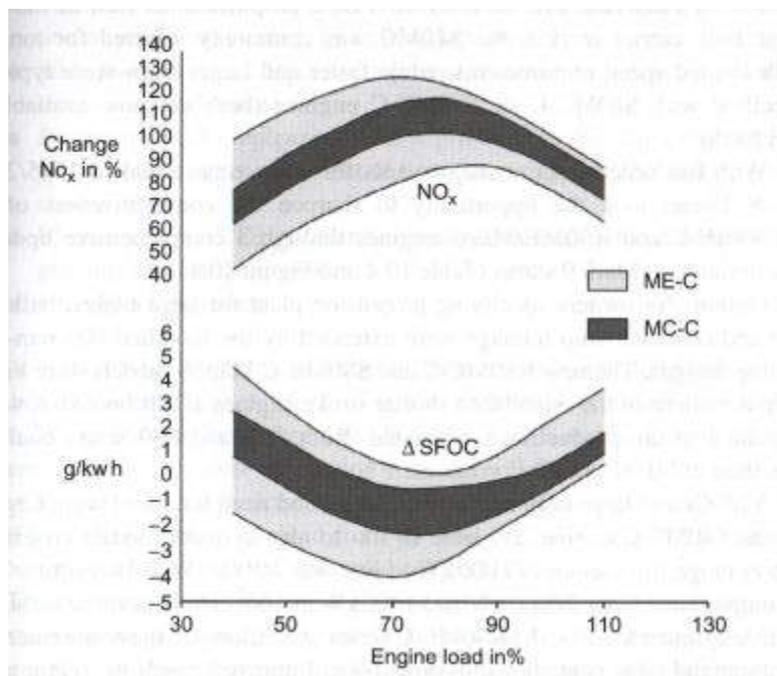


Fig.30 Flexibilidad de los motores controlados electrónicamente, comparados con los motores clásicos de árbol de levas MC en términos de emisiones de NO_x y SFOC.

El primer motor construido electrónicamente desde principio a fin y con diseño ME fue el 7S50ME-C, completado por MAN B&W Alpha Diesel en Dinamarca a principios del 2003 y entrando en servicio a finales del mismo año. Subsecuentes fabricaciones del mismo modelo se encontraron de calibres entre 500mm hasta los 980mm.

El motor con calibre 650mm con ratio de carrera-diámetro 4/2 fue añadido al programa ME en 2004 para cubrir las necesidades de los petroleros/graneleros “Cape-size”, “Suezmax” y los portacontenedores de 2000 a 3000 TEU. Eran motores de entre cinco hasta ocho cilindros que cubrían necesidades de entre 14 350 kW a 22 960 kW de potencia a 95 rpm.

6. Inyección electrónica de combustible y actuación de las válvulas de escape

6.1 Descripción del funcionamiento de la ICU para los motores Wartsila Sulzer RT-Flex

A continuación, explicare de una forma mas dinamica y facil de entender de como se realiza la inyeccion electronica de combustible en el cilindro para los motores Wartsila, ya que para los MAN es un sistema muy diferente a este, pero a la vez sigue siendo un sistema de inyeccion electronica.

Este sistema funciona con dos tipos de fluidos principales que son el aceite del servo y el otro es el combustible que se haya de inyectar en el cilindro. Funcionan paralelamente pero a la vez nunca se mezclan, ya que si lo hicieran podrian producirse averias importantes en el sistema.

Los siguientes esquemas estan compuestos por los siguientes componentes:

- Rail del aceite del servo: contiene el aceite del servo a presion, que posteriormente entrara a trabajar sobre el sistema .
- Válvulas electrónicas del rail: son valvulas compuestas de solenoides y accionadas a traves de corrientes electricas.
- Válvulas de control de la inyección: son las valvulas que permiten el paso del combustible desde el rail de combustible hacia el piston hidraulico, y a la vez tambien abren el paso del combustible hacia los inyectores.
- Rail de combustible: rail comun en el que se encuentra el combustible a presiones muy altas.
- Pistón regulador de la cantidad de inyección de combutible: es el piston que se encarga de regular la cantidad de combustible que se ha de enviar a los inyectores en funcion de las rpm y la carga del motor. Todo esto va regulado a traves del sistema WECS.
- Sensor de la inyección de combustible a inyectar: es el sensor que recoge los datos de la cantidad de combustible que se ha inyectado y se ha de inyectar.
- Válvulas de inyección: valvula que se encarga de pulverizar el combustible a alta presion para su posterior combustion en el interior del cilindro.

Fig 31. No hay corriente eléctrica que haga que las válvulas del rail se accionen, con lo cual en esta situación el sistema se encuentra en reposo. El combustible pasa a través de las válvulas de control de la inyección directamente al pistón que controla la cantidad de combustible a inyectar. El pistón se mantiene fijo debido a que por ambos lados le llega la misma presión.

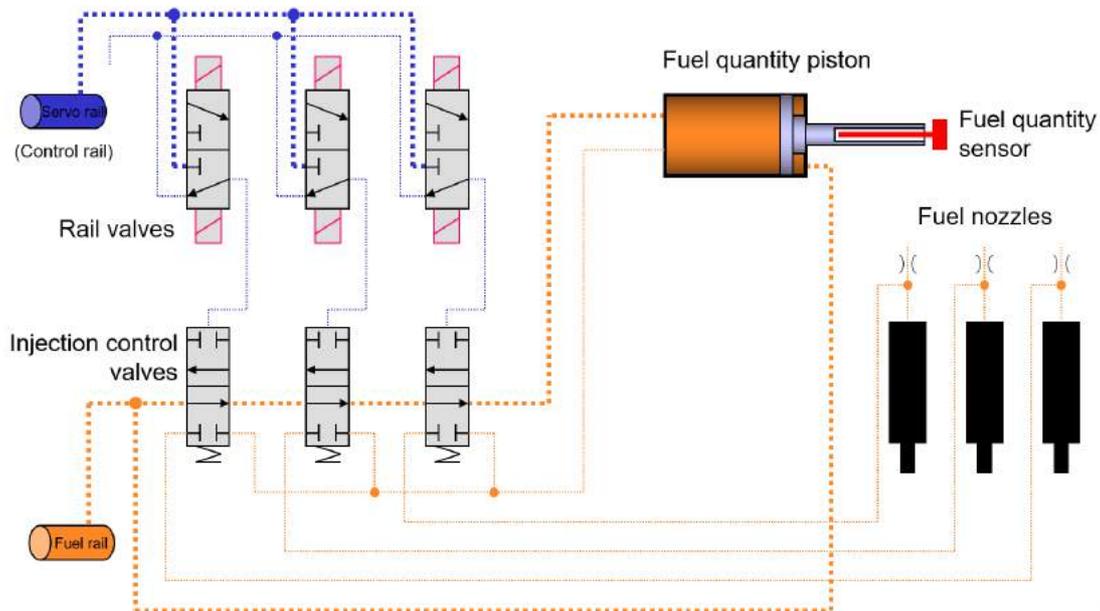


Fig.31 Inyección electrónica de combustible para los motores Wartsila RT-flex

Fig 32. El primer paso que se produce para iniciar la inyección es la generación de la señal eléctrica que acciona las válvulas del rail (solenoides), abriendo el paso del aceite a través de ellas y actúa sobre las válvulas de control de la inyección.

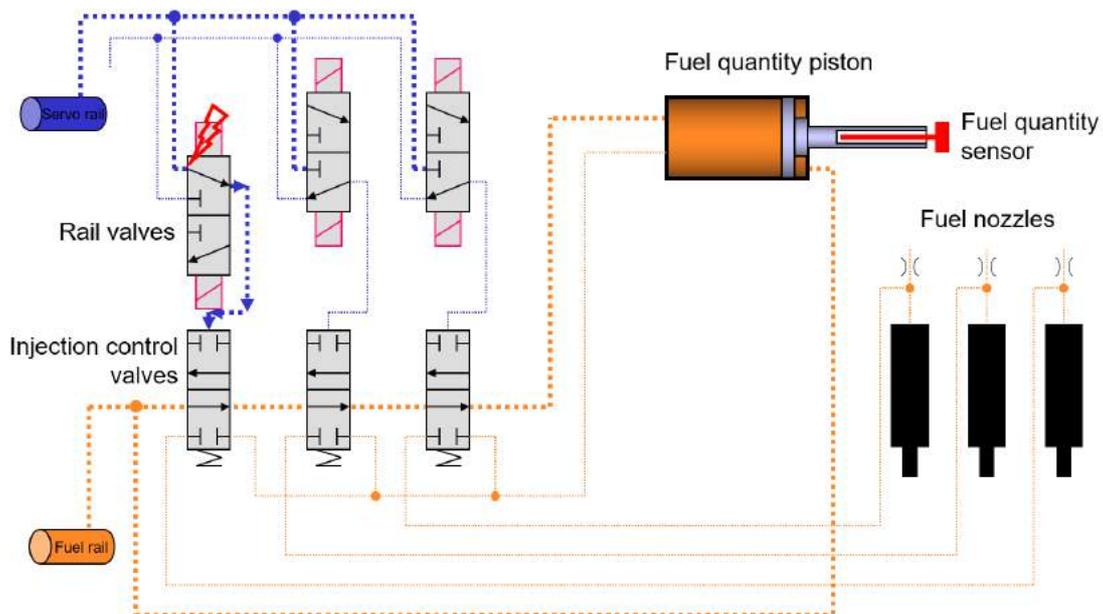


Fig.32 Inyección electrónica de combustible para los motores Wartsila RT-flex

Fig 33. Una vez el aceite ha ejercido la suficiente presión sobre la válvula de control de la inyección, esta válvula ha cerrado el paso de combustible que llegaba sobre la cara anterior al pistón (color naranja en el esquema) y ha abierto el paso del combustible del mismo hacia los inyectores (color verde), pero al no haber cierre del paso de combustible en la parte posterior del pistón, se creara una mayor presión haciendo empujar el émbolo con el combustible en el interior hacia los inyectores.

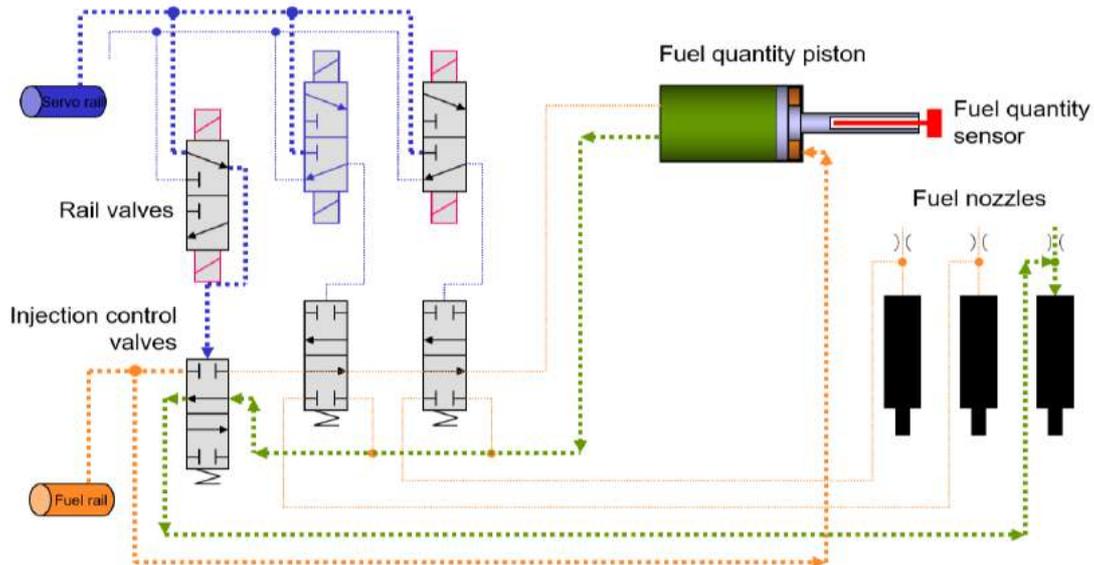


Fig.33 Inyección electrónica de combustible para los motores Wartsila RT-flex

Fig 34. Una vez se ha superado la presión de apertura regulada para los inyectores, el combustible procede a ser inyectado en el interior del cilindro para su futura explosión y transmisión del movimiento.

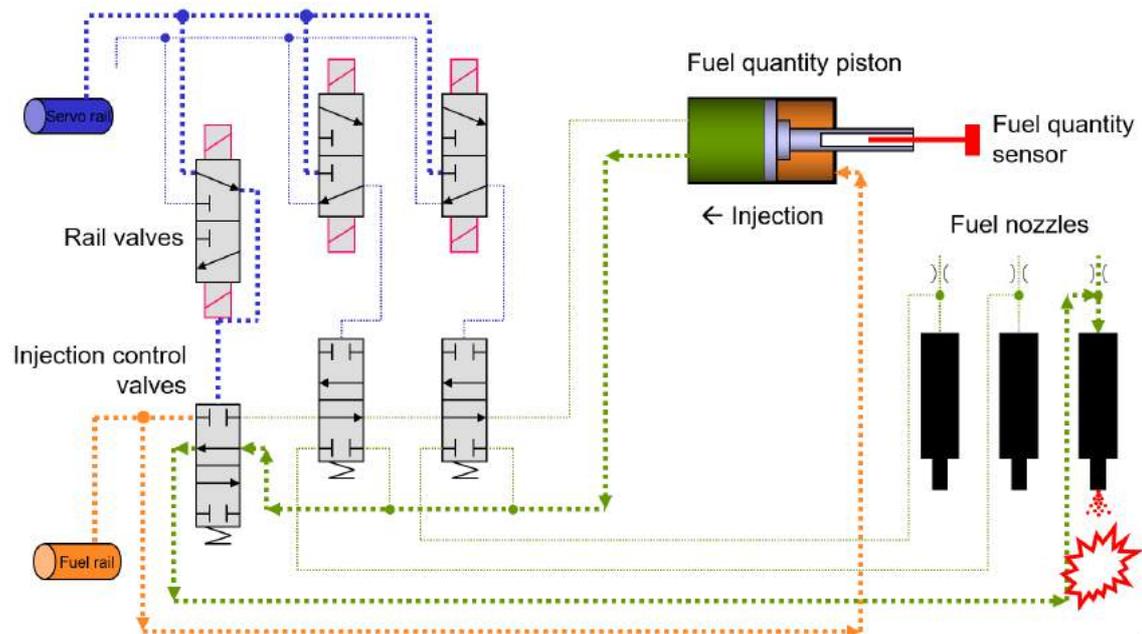


Fig.34 Inyección electrónica de combustible para los motores Wartsila RT-flex

Fig 35. Una vez el sistema de control del motor detecta que se ha de finalizar la inyección, se le deja de proporcionar esa señal eléctrica a la válvula del rail, haciendo que retorne a su posición de reposo. De esta manera se corta el paso de aceite del servo a las válvulas de control de la inyección dejando de hacer presión sobre ellas y cerrando el paso de combustible a los inyectores.

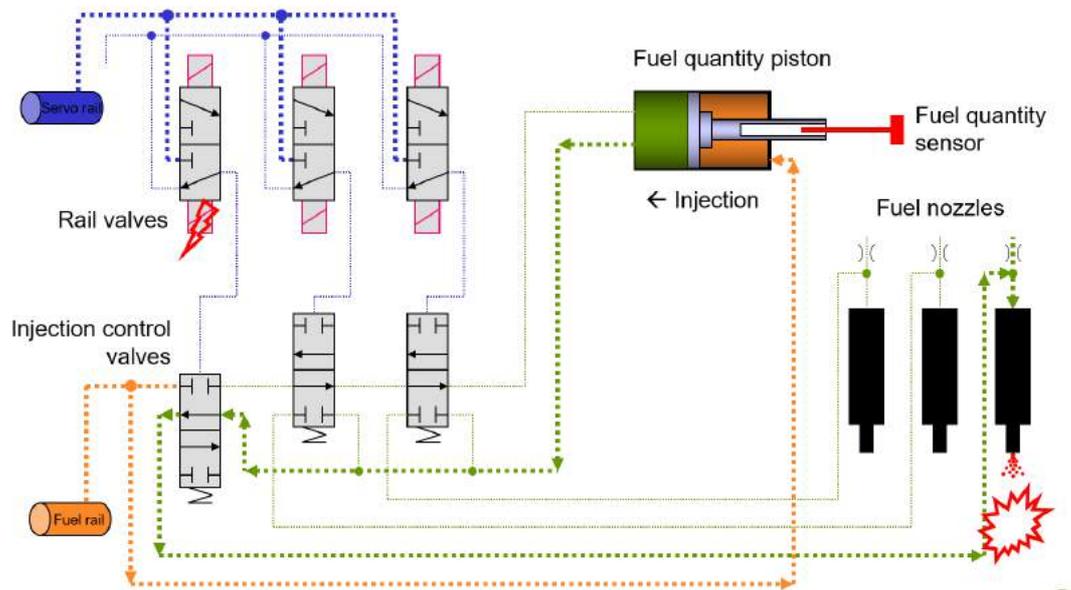


Fig.35 Inyección electrónica de combustible para los motores Wartsila RT-flex

Fig 36. La válvula de control de la inyección vuelve a su posición de reposo por la acción del muelle situado en la parte inferior, que al no recibir la presión de aceite por la parte superior, es retornada a la posición de reposo. Esto provoca que se abra de nuevo el paso del combustible hacia la cara anterior al pistón, venciendo la presión que le llega por la cara posterior, y retornando el combustible que se encontraba en su interior al drenaje del rail.

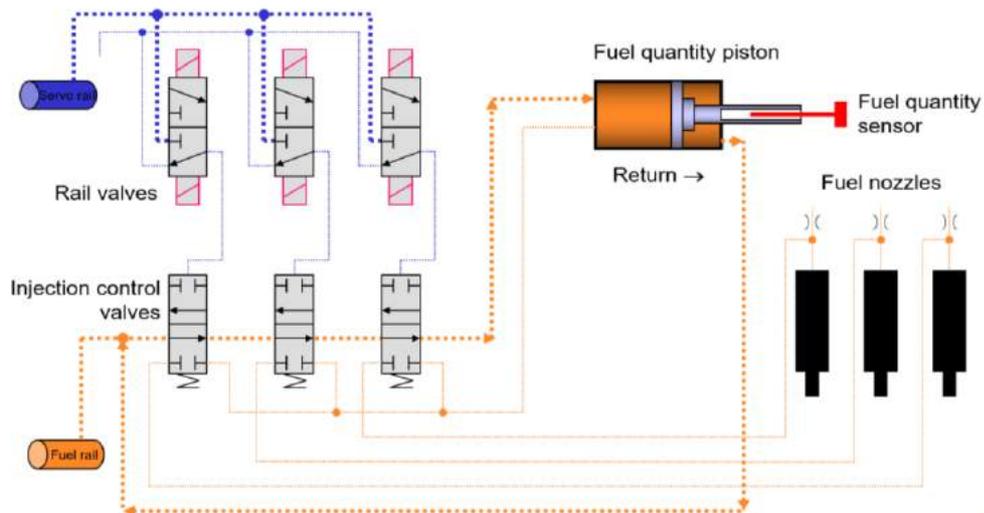


Fig.36 Inyección electrónica de combustible para los motores Wartsila RT-flex

6.2 Descripción de la inyección de combustible para los MAN B&W ME

A continuación, procederé a explicar el sistema de bombeo de combustible a alta presión para la futura derivación a las tuberías de alta presión y los inyectores.

Este sistema no dispone de rail común de combustible, eso quiere decir que para cada bomba de combustible de alta presión tenemos una entrada derivada de las bombas de baja presión de combustible (entre 8 y 12 bar de presión) hacia las bombas de alta presión.

En cambio, si que se dispone de un rail común de aceite del servo o aceite hidráulico a presión.

Sin un rail común de combustible a alta presión, este sistema nos obliga a tener una bomba de alta presión de combustible para cada cilindro.

A partir del esquema presentado a continuación, procederé a explicar el funcionamiento de cómo este sistema consigue levantar altas presiones.

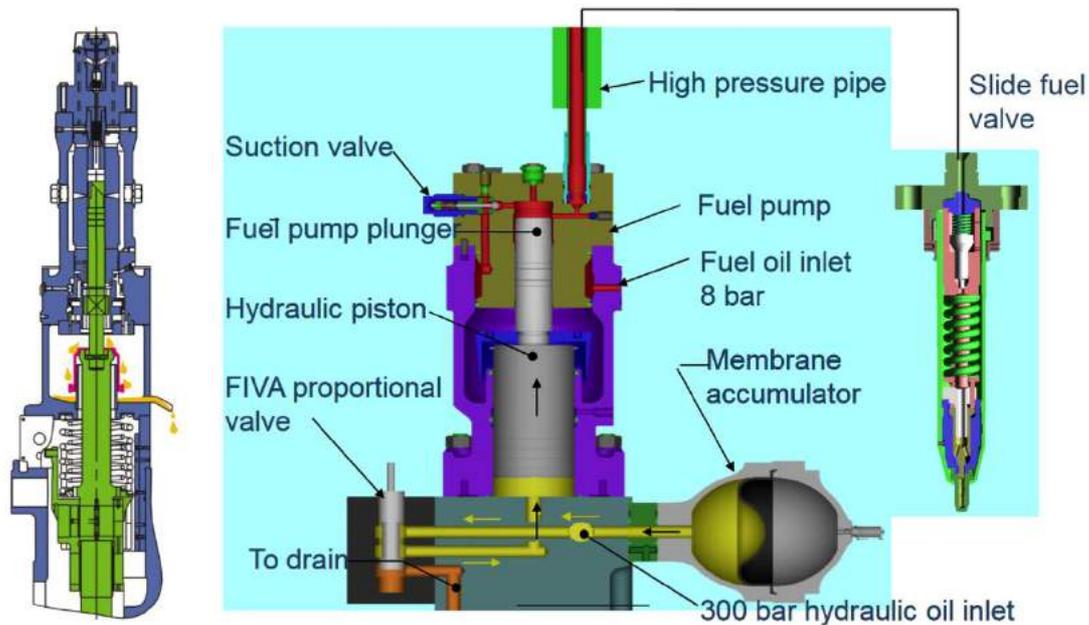


Fig.37 Inyección electrónica de combustible para los MAN B&W ME

El sistema está compuesto por los siguientes elementos principales:

- Válvula de inyección de combustible
- Conducto de alta presión
- Válvula de aspiración
- Émbolo de la bomba de combustible
- Pistón hidráulico
- Entrada de combustible
- Válvula proporcional FIVA
- Acumulador de Membrana
- Entrada de aceite hidráulico

Toda la generación del émbolo y el pistón hidráulico del cilindro son movidos gracias a la válvula proporcional FIVA que es controlada electrónicamente a través de la unidad central de control del motor.

Para iniciar la creación de alta de presión de combustible, la válvula FIVA se abre cerrando el drenaje del sistema hidráulico y permitiendo que el aceite hidráulico que acciona el pistón y a la vez el émbolo comprimiendo el combustible en el interior del cilindro. Este combustible presurizado, presuriza el sistema junto con los conductos de alta presión,

hasta la apertura de la válvula de la inyección para la consiguiente inyección de combustible pulverizado en el cilindro.

Una vez la unidad de control considera que la inyección ha de finalizarse, la válvula FIVA es cerrada y la entrada de aceite hidráulico es drenado al cárter del motor.

De esta manera el pistón retorna a su posición de reposo, produciéndose una depresión en el interior del cilindro donde se encuentra el émbolo, con lo cual la válvula de aspiración se abre permitiendo el paso de combustible al interior del cilindro para su próxima carrera.

El papel que juega aquí el acumulador de membrana, es el de mantener el aceite estanco a posibles fugas, recibiendo presión de Nitrógeno por el lado contrario de la membrana. Este sistema asegura la correcta presión en el interior del cilindro de la bomba para el empuje del pistón.

6.3 Descripción del funcionamiento del sistema VCU para los Wartsila Sulzer RT-Flex.

A continuación, procederé a la explicación del sistema de accionamiento de las válvulas de escape a través del aceite del servo circulando a través de su rail común.

Este sistema está compuesto por dos aceites diferentes; uno sería el del servo que circula por el rail y pasa a través de las válvulas hasta llegar al pistón hidráulico accionándolo por la parte inferior. El otro aceite sería el que se encarga de empujar el vástago de la válvula para su apertura. Este último aceite es el que se encuentra en el cárter del motor.

A parte de estos dos tipos de aceite que dispone el sistema, también encontramos una entrada de aire comprimido por la parte inferior del vástago de la válvula de escape, el cual se encarga de cerrar la válvula haciendo salir el aceite que acciona la misma y enviarlo de vuelta al cárter.

Los siguientes esquemas están compuestos por los siguientes elementos:

- Rail del aceite del servo: se encuentra el aceite del servo a presión, que se encargará de accionar el sistema.
- Válvulas electrónicas del rail: se trata de válvulas dispuestas de solenoide y accionadas a través de corriente eléctrica.

- Válvula corredera: válvula dispuesta de muelle con función de hacerle llegar el aceite del servo al pistón hidráulico.
- Pistón hidráulico: es el que recibe la presión de aceite del servo por la parte inferior (aprox. 200 bar) y se encarga de presionar el aceite que acciona el vástago de la válvula de escape.
- Entrada de aceite: entrada del aceite del motor en el caso de que sea necesario debido a fugas o sobre-presiones.
- Válvula de escape: válvula que se encarga de liberar los gases del interior del cilindro a la atmósfera.
- Sensor de posición: sensor que se encarga de medir la posición de la válvula.
- Aire de servicio: es el aire que llega por la parte inferior del vástago de la válvula y su función es cerrar la válvula y fijarla en la posición de cierre.

Fig 38. El sistema se encuentra en “stand by”. La válvula electrónica del rail cierra el paso del aceite hacia la válvula corredera sin que le llegue presión hidráulica al pistón. El vástago de la válvula no recibe presión hidráulica suficiente para superar la ejercida por el aire en la parte inferior del vástago provocando el cierre y sellaje de la válvula de escape.

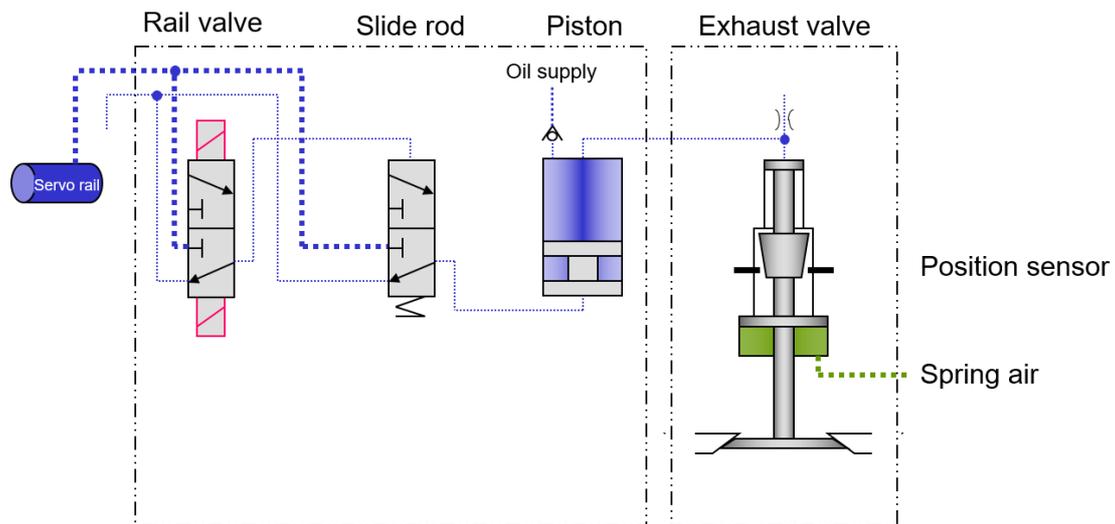


Fig.38 Sistema de accionamiento de la válvula de escape para los motores Wartsila RT-flex

Fig 39. El sistema WECS a unos determinados grados de posición del cigüeñal, envía la señal eléctrica a las válvulas del rail, produciéndose el paso del aceite a través de la misma hasta la válvula corredera. El pistón sigue sin recibir ningún tipo de presión hidráulica, por lo tanto la válvula se mantendrá cerrada.

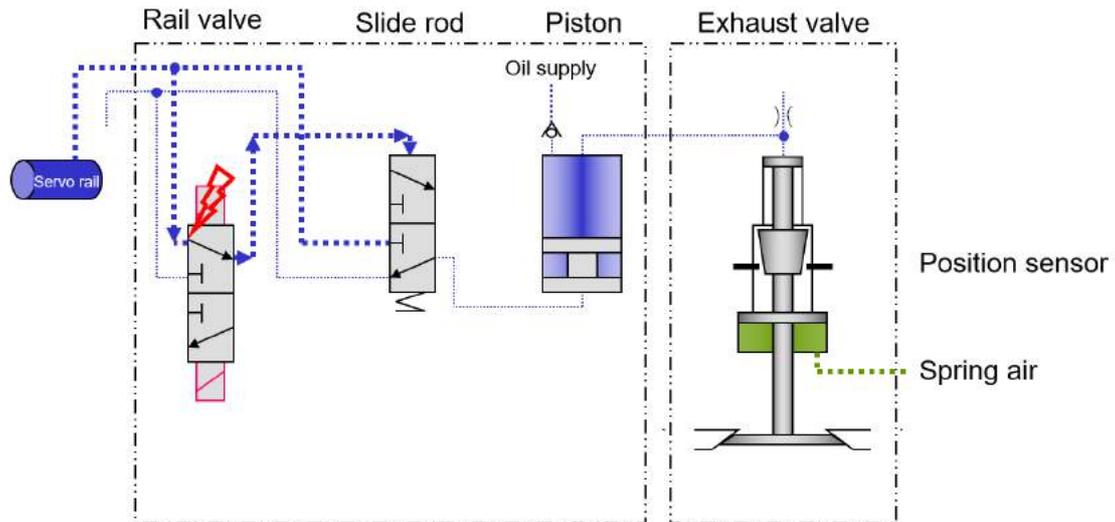


Fig.39 Sistema de accionamiento de la válvula de escape para los motores Wartsila RT-flex

Fig 40. Una vez el aceite del servo ejerce la suficiente presión hidráulica sobre el muelle que dispone la válvula corredera, esta abre el paso del aceite del servo el cual empieza a empujar el pistón hidráulico hasta llegar al punto en el que se supera la presión neumática en la parte inferior del vástago y la válvula de escape empieza a abrirse.

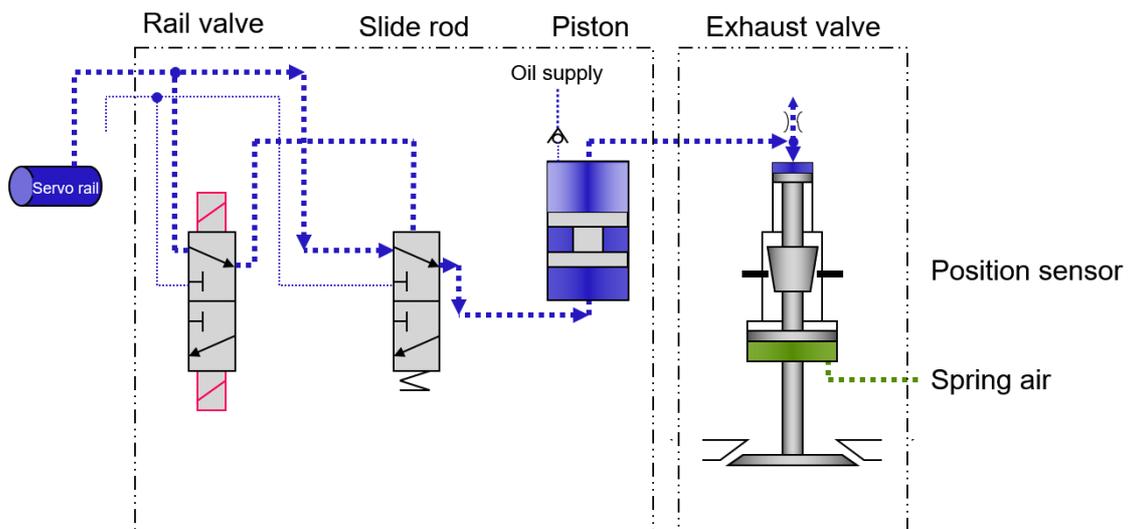


Fig.40 Sistema de accionamiento de la válvula de escape para los motores Wartsila RT-flex

Fig 41. La presión del aceite es máxima sobre el vástago de la válvula de escape y consecuentemente se llega al punto máximo de apertura de la válvula. En el caso de que se produzca una sobre presión, el sistema esta dotado de una válvula de sobre-presiones que se abrirá si se supera, devolviendo el aceite al cárter del motor.

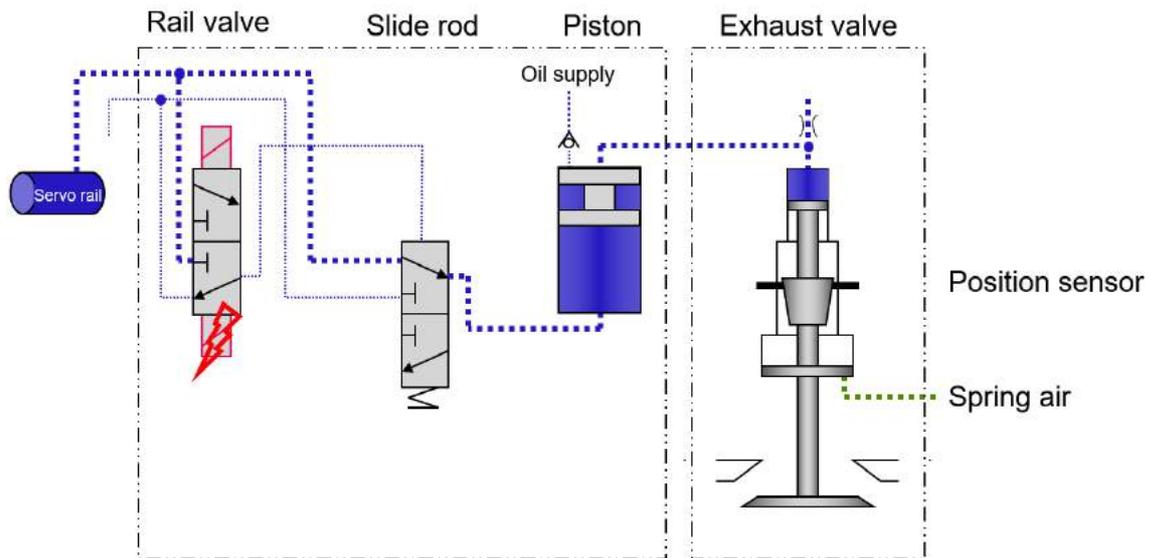


Fig.41 Sistema de accionamiento de la válvula de escape para los motores Wartsila RT-flex

Fig 42. El sistema WECS detecta que la válvula de escape ha de cerrarse y lo primero que hace es mandar una señal eléctrica a la válvula del rail para que cierre el paso de aceite hacia la válvula corredera y pueda cerrar el paso del aceite al pistón hidráulico gracias al muelle.

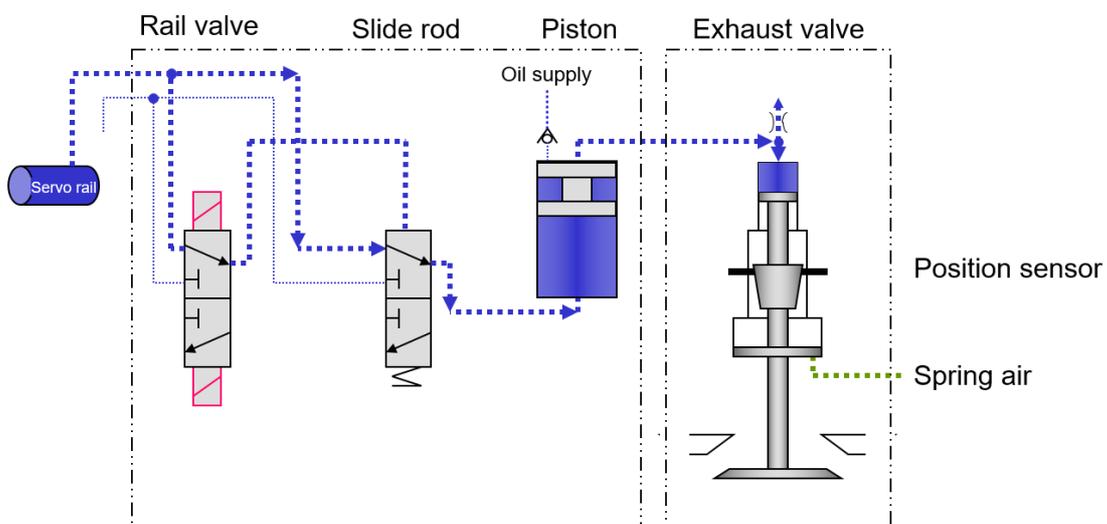


Fig.42 Sistema de accionamiento de la válvula de escape para los motores Wartsila RT-flex

Fig 43. La válvula corredera volver a su posición original cerrando la entrada de aceite del servo al pistón, pero abriendo el retorno del mismo hacia el rail. Este retorno será posible gracias a la presión neumática ejercida sobre el vástago del pistón conduciéndola hacia su posición de cierre. En el caso de que haya fugas o haya habido una sobre-presión en el sistema, la válvula anti-retorno abrirá el paso del aceite al cilindro del pistón hidráulico llenándolo por completo.

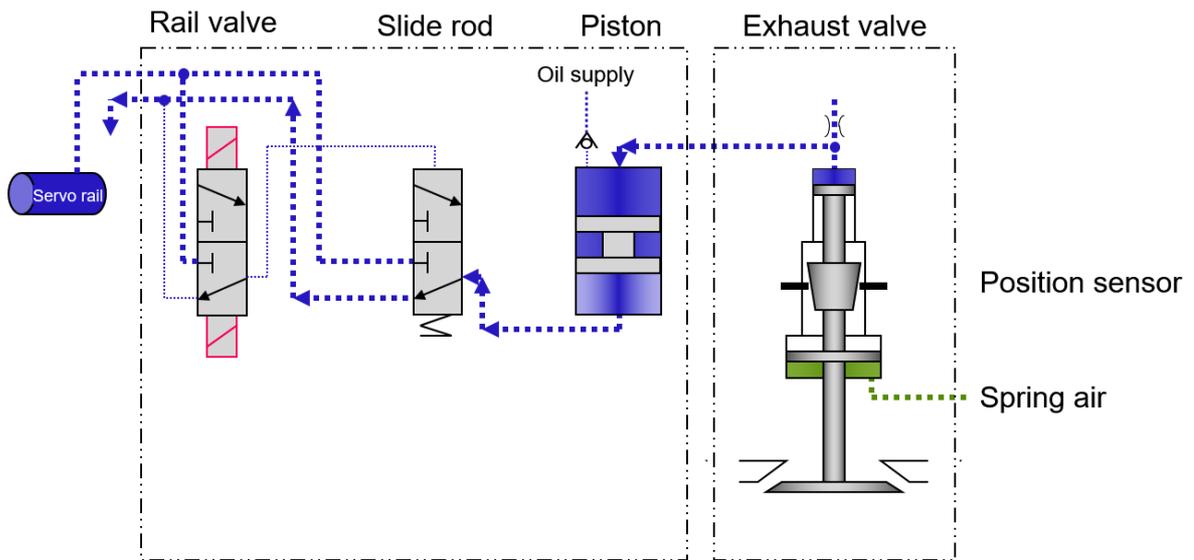


Fig.43 Sistema de accionamiento de la válvula de escape para los motores Wartsila RT-flex

6.4 Descripción del funcionamiento del sistema de accionamiento de la válvula de escape para los motores MAN B&W ME

Finalizare cerrando este apartado con la explicación de cómo funciona el sistema de accionamiento de la válvula de escape para los motores MAN B&W ME.

Este sistema usa el mismo principio de funcionamiento que para la inyección de combustible, pero este solo funciona con un solo tipo de fluido, que es el aceite hidráulico.

A partir del esquema presentado a continuación, procederé a explicar el funcionamiento de cómo este sistema consigue mover el eje de la válvula de escape.

En el esquema se puede ver el sistema clásico usado en los motores MC comparado con el nuevo sistema usado en los motores ME.

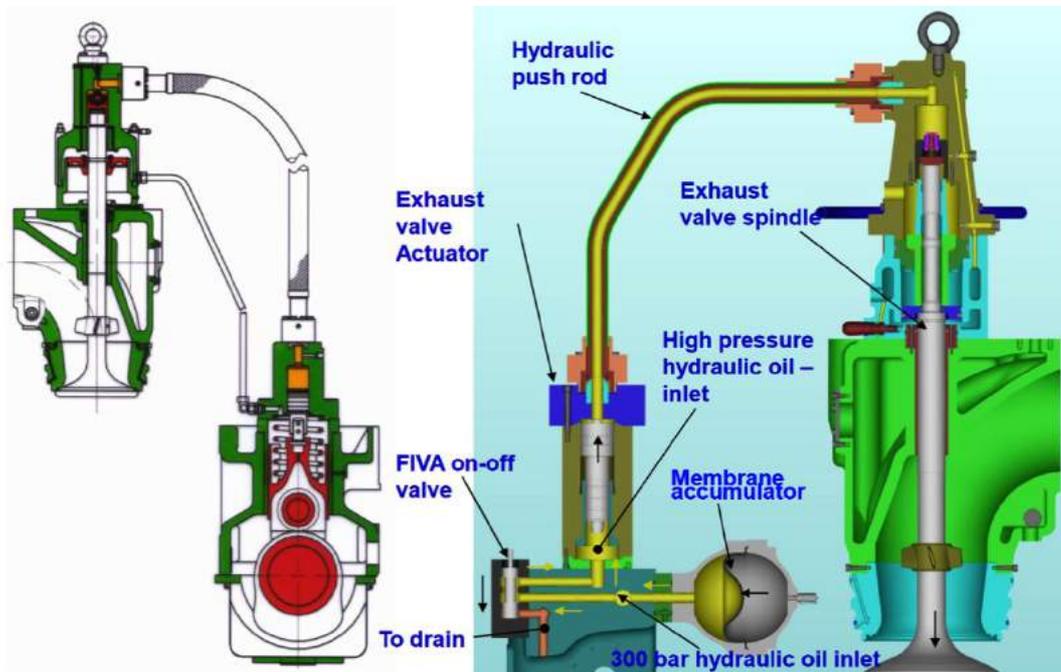


Fig.44 Sistema de accionamiento de la válvula de escape para los motores MAN B&W ME

El sistema esta compuesto por los siguientes elementos principales:

- Eje del cuerpo de la válvula
- Aceite hidráulico de empuje al eje de la válvula
- Actuador de la válvula de escape
- Entrada de aceite hidráulico a alta presión
- Drenaje de aceite hidráulico
- Acumulador de membrana
- Válvula On-Off FIVA

- Entrada de aceite hidráulico presurizado

Al igual que en la inyección de combustible, la válvula FIVA juega un papel fundamental para el posterior accionamiento de la válvula de escape.

Para este accionamiento de la válvula de escape, la unidad de control detecta el ángulo del cigüeñal en el que la válvula de escape ha de abrirse. Consecuentemente una señal eléctrica es mandada a la válvula para su posterior apertura cerrando el conducto de drenaje al cárter del motor, con el fin de presurizar el sistema y conseguir que el pistón hidráulico se mueva verticalmente presurizando el aceite que acciona la válvula de escape, hasta que esta supera la presión de apertura y la válvula procede a abrirse.

Una vez el sistema de control detecta que la válvula debe cerrarse, la válvula FIVA es movida electrónicamente para abrir el conducto de drenaje al cárter del motor y toda la presión hidráulica sea perdida para que el aire de control cierre la válvula de escape.

Este sistema también dispone de un acumulador de membrana que juega exactamente el mismo papel que el localizado en las bombas de alta presión de combustible.

7. Estudio de un caso práctico.

Una vez finalizado el apartado teórico en el que se expone toda la explicación sobre el funcionamiento de los motores con rail común e inyección electrónica, me gustaría aplicar toda esta teoría y demostrarla con un caso práctico, comparando el motor Warstila Sulzer 7RT-FLEX 96C con el MAN B&W S90ME-C9.

La elección de estos dos motores es su semejanza, ya que son de dimensiones y potencias muy parecidas.

Hare una breve descripción del motor con sus características principales y explicare la inyección electrónica en cada uno de ellos, basándome en los manuales del motor.

EL motor Warstila Sulzer 7RT-FLEX 96C, es un motor que tengo más por la mano, ya que me pase 6 meses trabajando en él a bordo del Hammonia Venetia, un barco propietario de uno de los mayores armadores alemanes que es Peter Dohle.

El barco era un portacontenedores, y durante mi estancia a bordo fue la ruta de Panama-Ecuador y viceversa. En función del programa de trabajo del barco en las terminales podíamos navegar de entre 12 nudos (que era la velocidad mínima y de seguridad a la que podíamos navegar) hasta los 24-25 nudos en caso de que estuviéramos fuera del horario previsto de llegada.

7.1 Descripción del motor principal Warstila Sulzer 7RT-FLEX 96C

El barco MV Hammonia Venetia estaba dispuesto de un motor diésel Warstila Sulzer 7RT-FLEX 96C de cruceta, dos tiempos, siete cilindros y desarrollaba una potencia de 40.400 kW a 102 rpm.

Este SULZER 7RT-FLEX96C está basado en el sistema de common rail Sulzer, con un control electrónico total sobre la inyección y la actuación de la válvula de escape.

Estos elementos son controlados, junto con el control de la lubricación del cilindro, por el sistema WECS.

El sistema de lubricación, refrigeración y alimentación de combustible está compuesto por varias bombas y válvulas dispuestas a lo largo de la sala de máquinas al igual que los compresores de aire para el arranque del motor.

Las válvulas de escape son abiertas hidráulicamente por el sistema de aceite del servo y cerradas neumáticamente.

Los pistones son refrigerados con el mismo aceite que se usa para lubricar los cojinetes y las camisas.

Las bombas de combustible suministran el mismo al common rail para que posteriormente pasen a través de las ICU y las tuberías de alta presión para su posterior pulverizado en el cilindro.

El motor disponía de dos turbocompresores que funcionan a unas ciertas rpm en función de la carga del motor (gases de escape).

El aire de barrido es comprimido por los turbocompresores y fluye hacia los enfriadores de aire, pero pasando previamente por el separador de agua. Entran a trabajar en el cilindro a través de unas aletas entre el colector de aire de barrido y los enfriadores de aire.



Fig.45 Vista del interior de las tapas del cigüeñal

Para el enfriado de aire de aspiración se dispone de un enfriador de aire de dos etapas, una etapa con circulación de agua dulce a baja presión y la segunda a alta presión para un enfriado más eficiente.

A bajas revoluciones del motor y con tal de asegurar que entra una mínima presión de aire de barrido en el cilindro se ponen en marcha dos grandes ventiladores con capacidad suficiente para producir esa presión mínima de aire.

El motor es arrancado a través de aire comprimido e introducido en el interior de los cilindros a través de las válvulas del aire de arranque, controladas y distribuido por el sistema WECS.

El motor tiene acoplado directamente (sin reductora ni embrague) el eje con la hélice de 8 metros de diámetro.



Fig.46 Vista desde la sala de máquinas de la plataforma superior del motor principal.

7.1.1 Tabla de Especificaciones del motor.

En la siguiente tabla se encontraran las características más específicas del motor, exportadas de su manual.

MAIN ENGINE		
NO. OF SET PER SHIP	1 SET	
TYPE	TWO STROKE, SINGLE ACTING, AIRLESS, INJECTION, REVERSIBLE, TURBOCHARGER WITH CONSTANT PRESSURE, CROSSHEAD MARINE DIESEL ENGINE.	
MODEL NO.	DOOSANWARISILA 7RT-FLEX 96C	
OUTPUT	MCR	54460 PS AND SHAFT SPEED 102 RPM
	NCR	49014 PS AND SHAFT SPEED 98.5 RPM
NO. OF CYLINDER	7	
CYLINDER BORE	960 MM	
STROKE	2500 MM	
MAX. COMBUSTION PRESSURE	145 BAR	
F. O. CONSUMPTION RATE	122.6 + 5% G/BHP-H AT 90% CMCR USED M.D.O.	
DIRECTION OF ROTATION	CLOCKWISE LOOKING FROM AFT.	
GOVERNOR	TYPE	ELECTRONIC TYPE
	NO. OF SET	1 SET
TURBO-CHARGER	TYPE	TPL85-B14 TYPE
	NO. OF SET	2 SETS
AIR COOLER	TYPE	FRESH WATER COOLING
	NO. OF SET	2 SETS
TURNING GEAR	TYPE	MOTOR DRIVEN TYPE
	NO. OF SET	1 SET
	OUTPUT x VOLT	11 KW x AC 440V, 60 Hz & 3 PHASES
AUX. BLOWER	TYPE	MOTOR DRIVEN, TURBO BLOWER
	NO. OF SET	2 SETS
	AIRCAPACITY x TOTAL PRESS.	9.8 M ³ /SEC x 600 mmAq
	OUTPUT x VOLT	125 KW x AC 440 V, 60 Hz & 3 PHASES
ENGINE NET WEIGHT	1290 TONS	
MAKER	DOOSAN ENGINE CO., LTD.	

Tabla C

7.1.2 Descripción de las partes principales del motor.

A continuación se describirán las partes más importante y principales del motor.

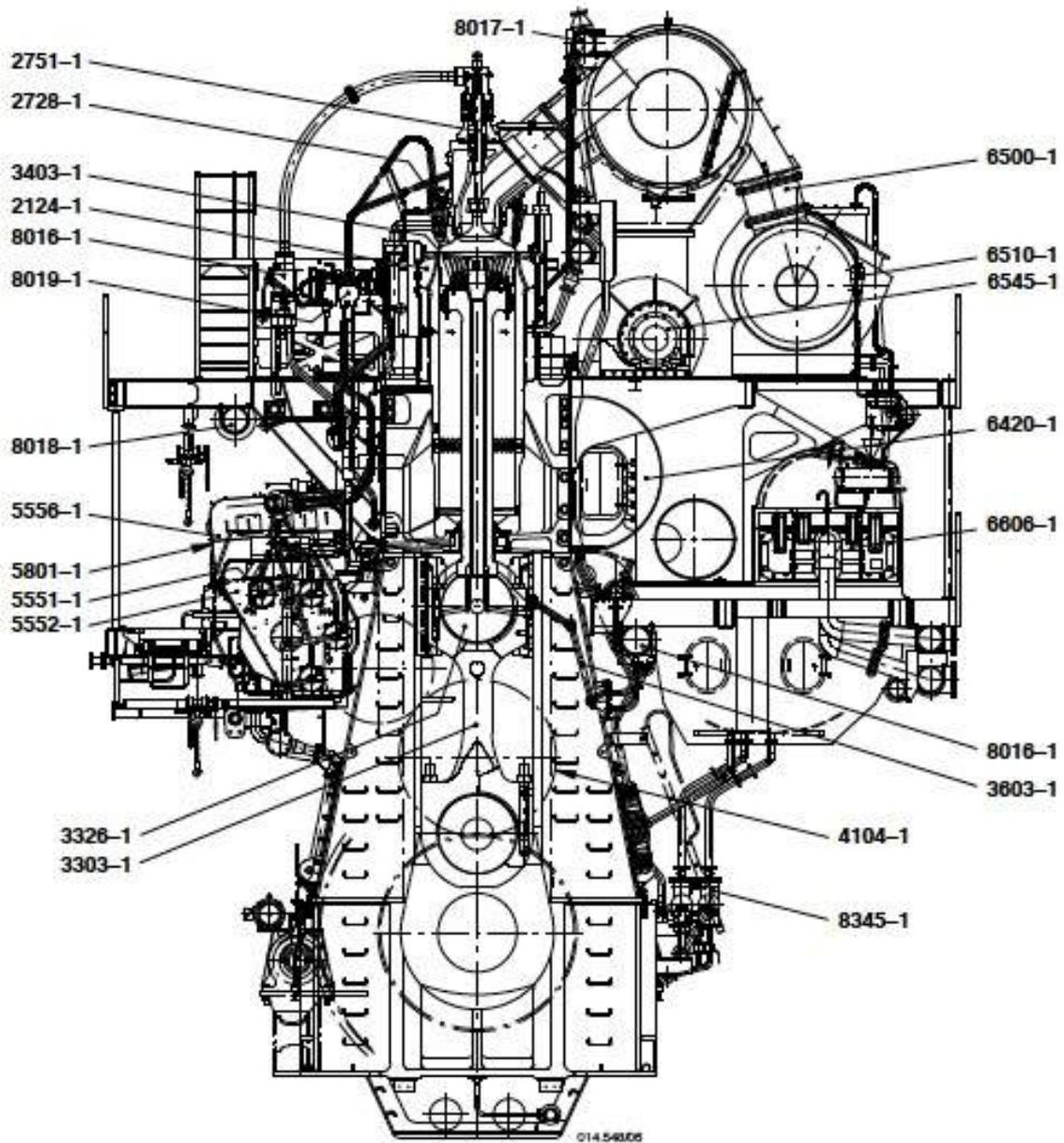


Fig.47 Partes interiores del motor Wartsila Sulzer 7RT-Flex 96C

- 8017 - 1 Colector de los gases de escape
- 2751 - 1 Cuerpo de la válvula de escape
- 2728 - 1 Conductos de alta presión de combustible
- 3403 - 1 Válvulas de inyección
- 2124 - 1 Camisa.

- 6500 – 1 Conexión de los gases de escape con la turbina.
- 6510 – 1 Turbocompresor
- 6545 – 1 Ventiladores auxiliares
- 6606 – 1 Enfriadores de aire
- 6420 – 1 Aire de barrido
- 8016 – 1 Unidad de control de aceite del servo
- 8019 – 1 Unidad de control de la inyección
- 8018 – 1 Drenaje de aceite del aire de barrido
- 5556 – 1 Bombas de combustible
- 5801 – 1 Caja para las bombas de combustible
- 5551 – 1 Bombas de aceite de servicio
- 5552 – 1 Caja de las bombas de aceite
- 3326 – 1 Cruceta
- 3303 – 1 Biela
- 8016 – 1 Drenaje de agua de los enfriadores de aire
- 3603 – 1 Sensores del aceite de la cruceta
- 8345 – 1 Visor del drenaje de agua
- 4104 – 1 Volante movido

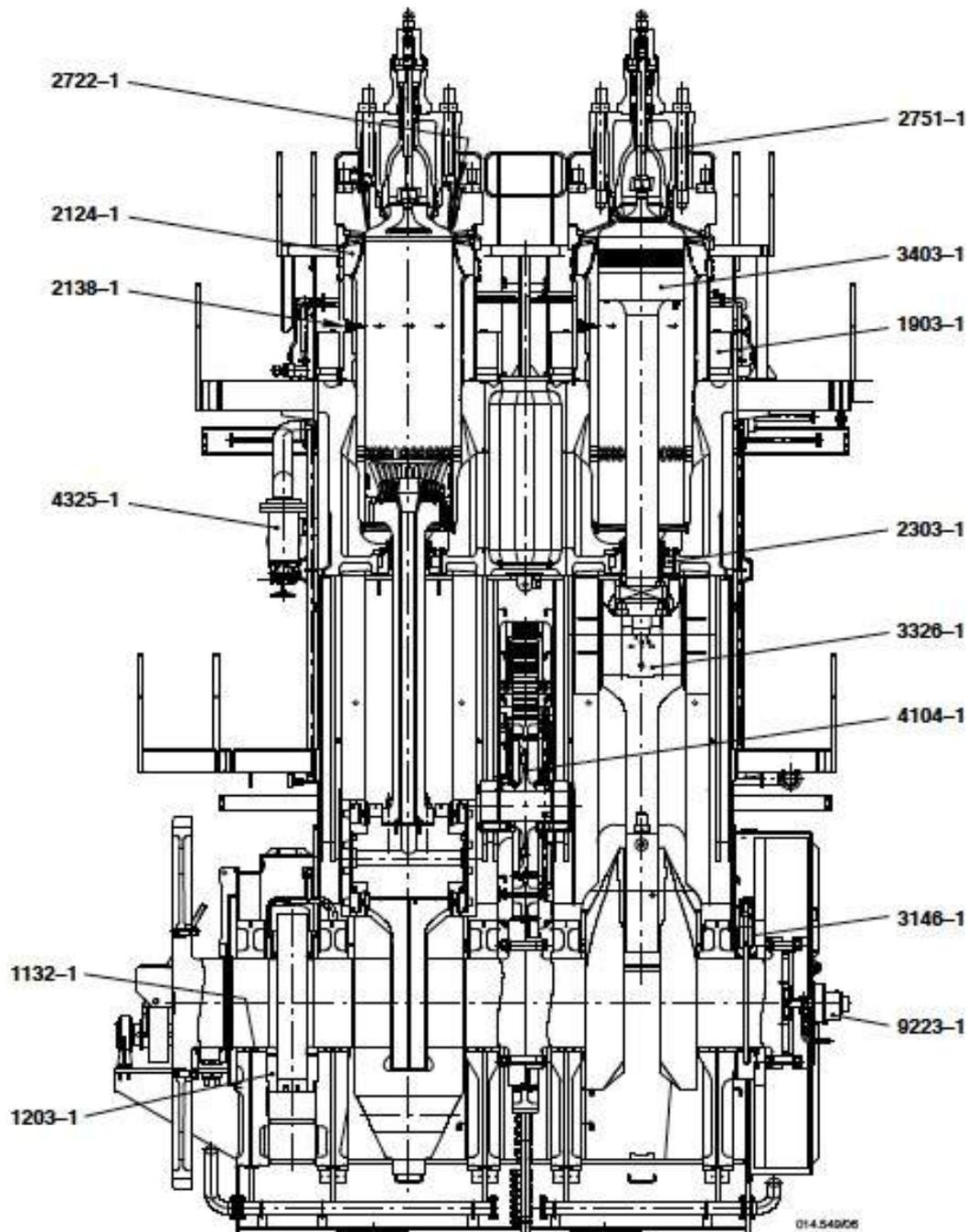


Fig.48 Partes interiores del motor Wartsila Sulzer 7RT-Flex 96C

- 2722 - 1 Válvulas de inyección
- 2124 - 1 Galería de agua de refrigeración
- 2138 - 1 Camisa
- 4325 - 1 Válvula de aire de arranque
- 2751 - 1 Válvula de escape
- 3403 - 1 Pistón
- 1903 - 1 Agua de refrigeración del cilindro.

- 2303 – 1 Stuffing box
- 1132 – 1 Cojinete de empuje
- 1203 – 1 Cojinetes principales
- 3326 – 1 Cojinete de cruceta
- 4104 – 1 Espacio entre unidades
- 3146 – 1 Sistema de engrase
- 9223 – 1 Acoplamiento

7.1.3 Sistema de Control WECS-9520

El sistema de control WECS-9520 (Wärtsilä Engine Control System) ha sido especialmente diseñado para motores de dos tiempos con tecnología Sulzer Common Rail, cubriendo todas las necesidades requeridas por el motor y con los controles de las funciones para cada cilindro.

El sistema WECS-9520 se encarga de controlar las siguientes funciones del motor:

- La presión en el rail de combustible
- El control de la presión del aceite del servo para el accionamiento de la válvula de escape.
- La presión del aceite de control
- El sistema de lubricación de los cilindros.

A la vez también se encarga de algunas funciones específicas de los cilindros, que son las siguientes:

- El control de la inyección volumétrica
- Control de la válvula de escape
- Control de las válvulas de aire de arranque
- Sensor de posición del cigüeñal

La “función común” para los sistemas externos al WECS es asegurada por los datos recopilados entre el sistema de control de propulsión y el sistema de monitorización y alarmas.

Sirve de interfaz entre el operador y el control del motor.

7.1.4 Componentes del sistema WECS-9520

Los principales componentes del sistema WECS-9520 son los siguientes:

- Cajas de control E90 como medio de comunicación hacia los sistemas externos, conteniendo en su interior un módulo FCM-20 como “recambio en línea”.
- Para cada cilindro, encontramos una caja E95.xx, conteniendo en su interior un módulo FCM-20 para cada cilindro controlando sus funciones.

Todos los módulos están conectados al sistema de cableado principal.

Todas las cajas de control E90 y E95.xx están situadas al lado del rail, y la unidad de corriente E85 está situada en algún lugar cerca del motor.

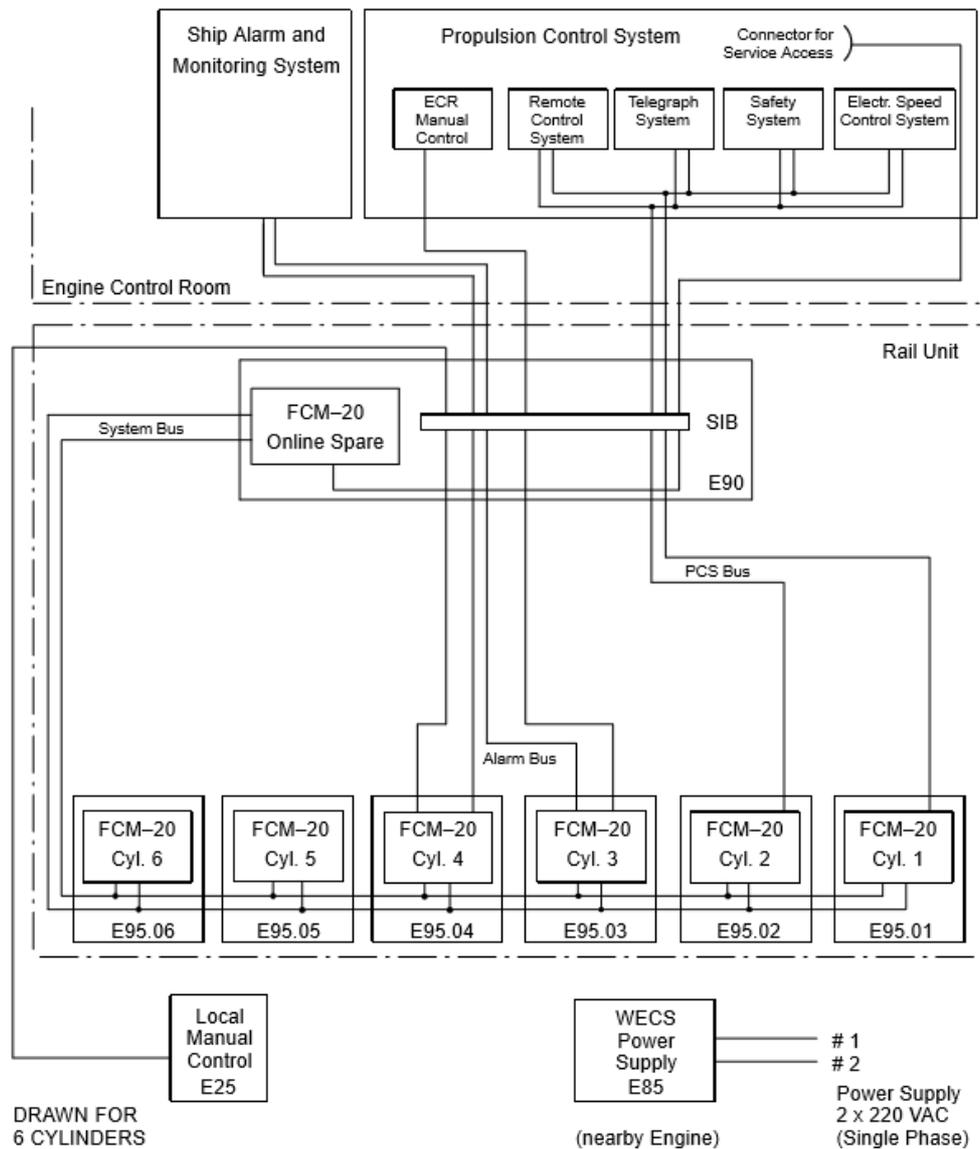


Fig.49 Representación esquemática de los componentes de control y sus interconexiones.

7.1.5 Funciones de control relacionadas con el motor

Todos los motores con funciones de control están distribuidos en seis módulos FCM-20 para motores de entre 6 y 10 cilindros, en cambio para los motores de entre 11 y 14 cilindros, habrá 8 módulos. El último y penúltimo módulo están programados para el control de las funciones de lubricación del cilindro.

Por razones de seguridad, todas las funciones importantes como son las señales de entrada y salida de los módulos son redundantes. El motor permanece en funcionamiento si uno de los módulos falla. La fuente de alimentación es también redundante.

Un módulo defectuoso ha de ser reemplazado por otra unidad de recambio, que entrara inmediatamente en acción una vez sea instalado.

La caja de control E90 ha de estar completa con un nuevo módulo E-90 de recambio, recibiendo la descarga de todos los datos relevantes.

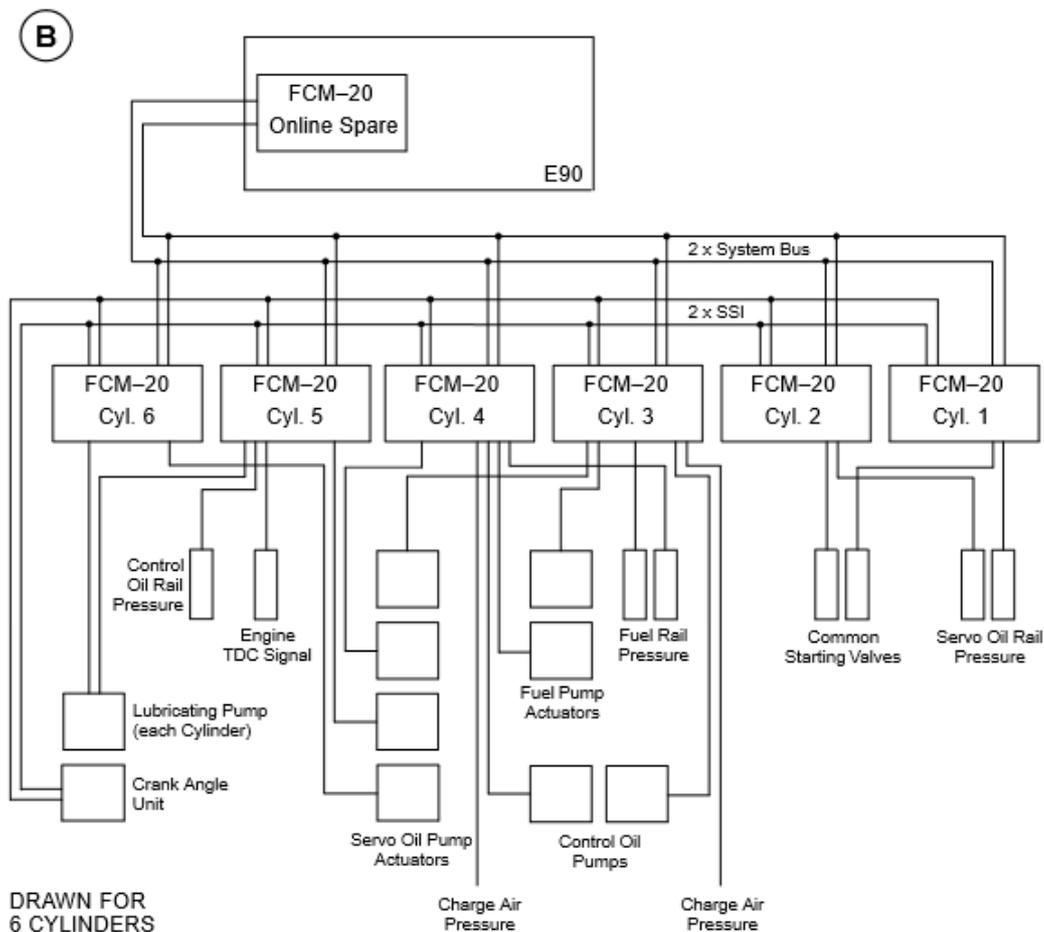


Fig.50 Distribución de los módulos FCM-20 para un motor de entre 6 y 10 cilindros.

Las funciones de estos módulos son:

- Controlar la presión del combustible
- Control de la presión del aceite del servo
- Monitorización de las funciones
- Bombas del aceite del servo
- Bombas del aceite de control
- Actuadores de las bombas de fuel
- Sistema de lubricado del cilindro

7.1.6 Control de la presión del combustible

El control de la presión se mide en varias etapas, explicadas a continuación:

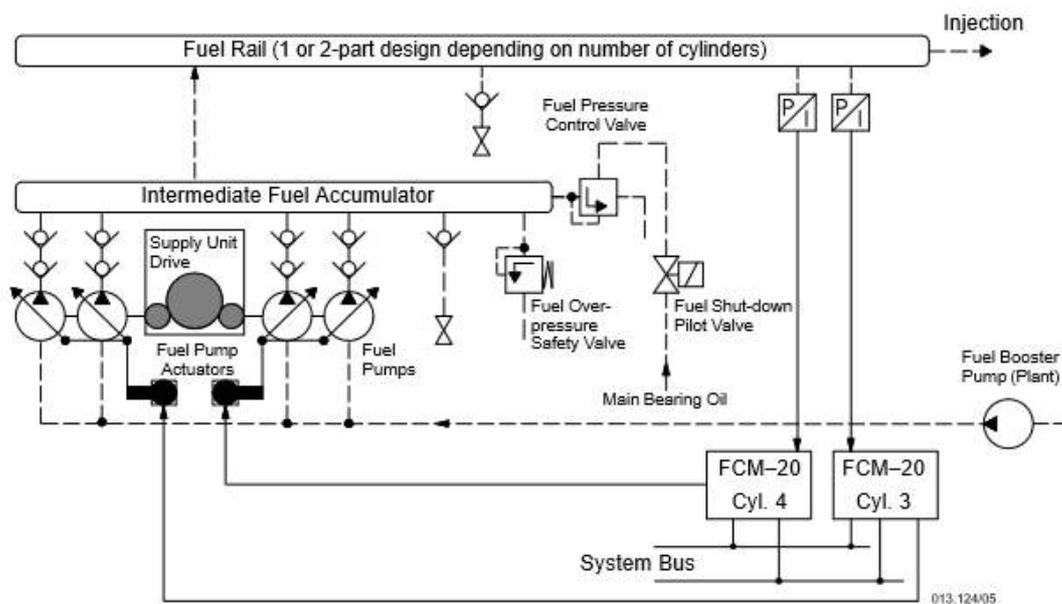


Fig.51 Sistema de control de la presión del motor Wartsila Sulzer 7RT-Flex 96C

Arranque del motor

Al arrancar el motor, los actuadores de las bombas de combustible de alta presión se configuran para su posición de arranque.

Durante la normal operación del motor

La presión del combustible es totalmente independiente de la carga del motor.

El bucle de control para la presión del combustible en el rail puede ser descrito de la siguiente manera:

- WECS-9520 genera una señal de control basada en la velocidad del motor y el comando del combustible.
- Las señales procedentes de los módulos FCM-20 controlan los actuadores de la bomba de alta presión de combustible. Cada actuador regula dos o tres bombas dependiendo del número de cilindros.
- El resultado de la presión del common rail es medido por dos transmisores de presión, posteriormente enviando la señal a los módulos FCM-20 de los cilindros 3 & 4.

Parado del motor

Cuando el motor ha de pararse, los actuadores de la bomba se posicionan en la posición “cero” y el sistema de seguridad activa la válvula piloto de parado del motor, cerrando el paso de combustible a las bombas.

Modo de emergencia

En el caso de que uno de los actuadores de las bombas se rompiera, el regulador de vinculación permanecería en la posición o se movería a la máxima posición debido a un muelle.

Los demás actuadores seguirían controlando adecuadamente la presión de combustible.

7.1.7 Ajuste de la presión de aceite del servo

El ajuste de la presión de aceite del servo se realiza de la siguiente manera.

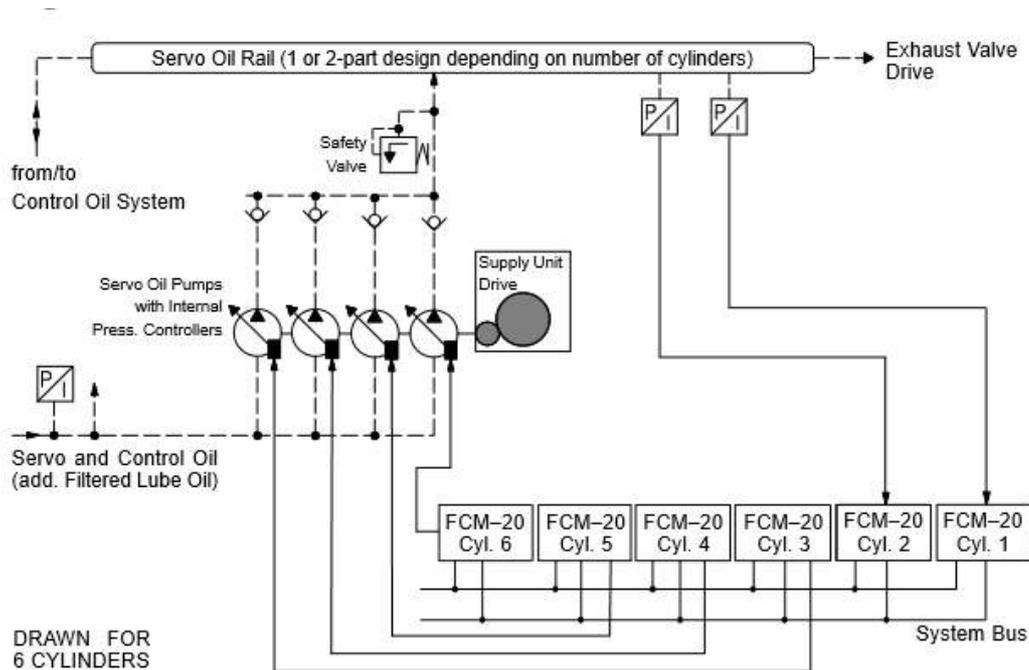


Fig.52 Sistema de ajuste de la presión de aceite del servo del motor Wartsila Sulzer 7RT-Flex 96C

Ajuste de la presión

Un controlador mecánico interno con un punto de ajuste eléctrico es instalado en cada una de las bombas de aceite del servo. Este punto de ajuste determina a través de pulsos la anchura de la señal modulada.

El punto de ajuste es dependiente de la carga del motor y es generado por los módulos FCM-20.

Un control de bucle cerrado compensa las pérdidas de presión en las tuberías que se encuentran entre las bombas de aceite y el common rail de aceite.

Cada controlador de presión de las cuatro hasta seis bombas es conectado a los módulos FCM-20. Es un sistema que se encuentra descentralizado con la ventaja de que aumenta la disponibilidad del sistema de aceite del servo.

Modo de emergencia

Si una de las bombas de aceite falla, el sistema continua funcionando con normalidad. La carga que no puede dar esa bomba, es repartida entre las demás que si están en funcionamiento.

7.1.8 Suministro del aceite de control

El control del suministro del aceite de control en varias etapas, explicadas a continuación:

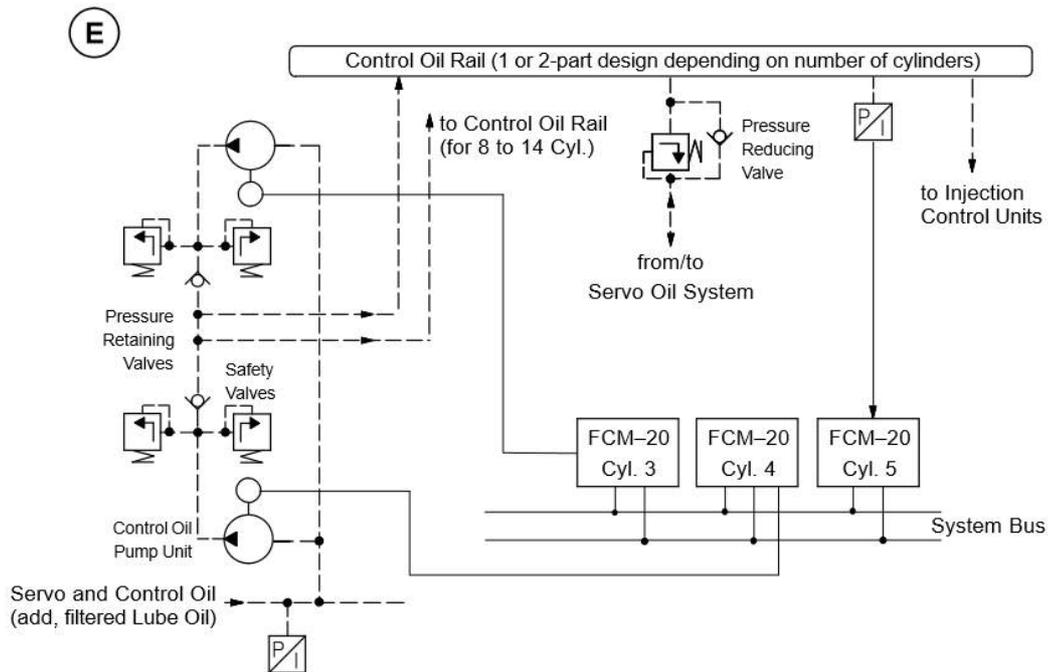


Fig.53 Sistema de aceite de control del motor Wartsila Sulzer 7RT-Flex 96C

General

El sistema de control de aceite se usa para controlar la inyección.

Una de las dos bombas movidas electrónicamente levanta y mantienen la presión del aceite. Durante el arranque del motor y a bajas revoluciones, las dos bombas funcionan con el fin de generar la suficiente presión de aceite.

Previo al arranque del motor, el rail del aceite del servo tiene una presión de 50 bar producido gracias a la válvula reductora, hasta que el motor mueve a las bombas de aceite del servo y entregan la presión necesaria.

Modo de emergencia

Si una de las bombas de control de aceite falla, automáticamente la segunda arranca para asegurar las correctas presiones.

7.1.9 Control de la inyección

Este es el esquema de funcionamiento de la inyección del motor, muy parecido al que se ha mostrado en el apartado 5, confirmando que la teoría vista se aplica en los casos prácticos. A continuación, procederé a explicar más detalladamente como este motor, junto con las unidades de control, realizan la inyección electrónica de combustible.

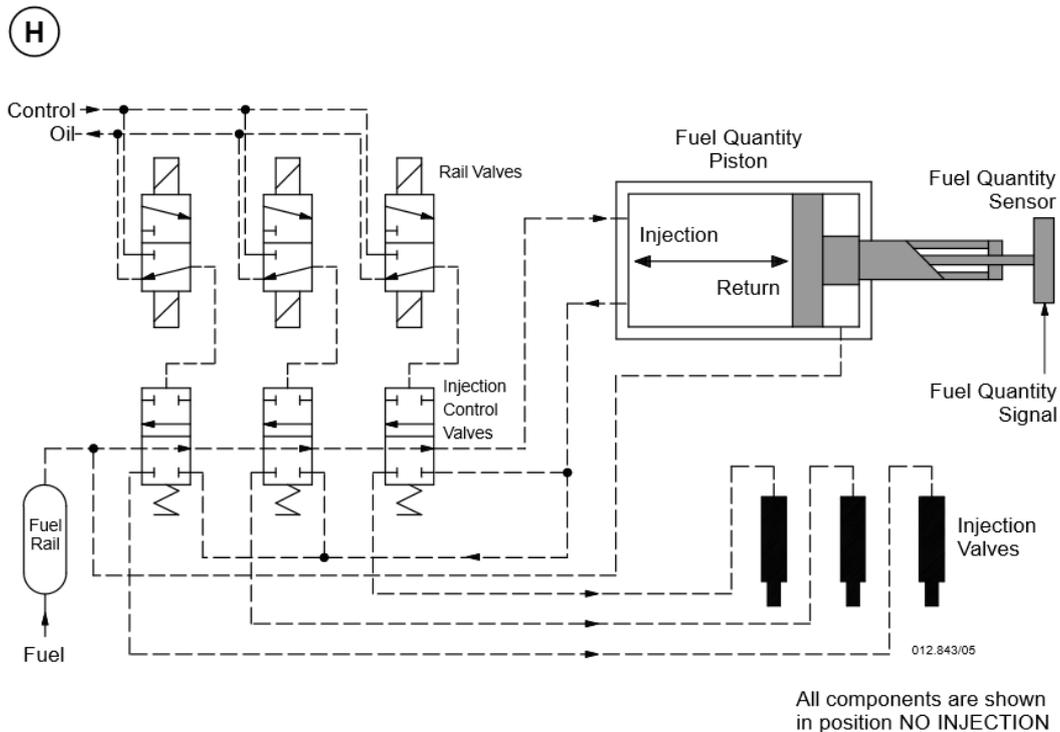


Fig.54 Sistema del control de la inyección electrónica del motor Wartsila Sulzer 7RT-Flex 96C

Función de las válvulas de control de la inyección

Todas las válvulas de inyección, menos las válvulas de inyección del rail a cada cilindro, son controladas individualmente, pero con una señal de realimentación para conocer la cantidad de combustible inyectada.

Normalmente todas las válvulas de inyección son activadas en el mismo momento. En el caso de que se requiera, uno o dos inyectores por cilindro pueden ser anulados.

Para mejorar la atomización del combustible en caso de que el motor vaya a bajas rpm, estos uno o dos inyectores son anulados automáticamente.

El FCM-20 es usado para, en estos casos, para amplificar el control de la señal de salida para las válvulas del rail.

Medición del tiempo de la válvula del rail

La válvula de suministro de combustible del rail es cerrada una vez la válvula de pistón se ha movido. Este tiempo es medido e indicado en el control remoto.

Esta función permite una interpretación cierta de la condición de la válvula del rail.

Pulso inicial

Desde que las válvulas del rail son bi-estables, la posición inicial es indefinida. Aunque, cuando el motor se encuentra parado, los llamados pulsos son periódicamente aplicados en las válvulas del rail para obtener una posición definida.

Control de la inyección

El control de la inyección es controlado de la siguiente manera:

- Cálculo del inicio de la inyección basándose en el ángulo del cigüeñal y del VIT.
- Liberación de la inyección con la actuación de las válvulas del rail.
- El tiempo de diferencia entre cuando se produce la señal para producirse la inyección y el momento en el que empieza la misma es llamada “tiempo muerto de inyección”. El inicio de la inyección es detectado con el movimiento del pistón que regula la cantidad de combustible a inyectar.
- La cantidad de combustible a inyectar es determinada por la carrera del pistón regulador de la cantidad de combustible. La inyección finaliza una vez el pistón regulador llega a la posición de carrera calculada.
- Basada en la señal de control de la cantidad a inyectar, el gobernador calcula la cantidad.
- En el ciclo de inyección, el tiempo de la misma es calculado incluyendo el medido “tiempo muerto de inyección”.
- La funcionalidad del sistema de inyección es monitorizado en cada ciclo.

Marcha atrás

Para que el motor gire en el sentido inverso, el ángulo del cigüeñal es reflejado.

El sistema de control WECS-9520 recibe la señal de marcha atrás, variando el orden en el que se produce la normal inyección de combustible en los cilindros, con el fin de conseguir que el motor gire en sentido contrario.

Funcionamiento en modo de emergencia

Si el sensor de la cantidad de combustible a inyectar está fuera de servicio, el sistema de control convierte la señal del comando de combustible desde el correspondiente módulo FCM-20, en un periodo de tiempo. Este cilindro es controlado con el tiempo de inyección.

7.1.10 Control de la válvula de escape

Al igual que en el apartado anterior, este esquema corresponde al control del accionamiento de la válvula de escape, y a la vez es muy semejante al esquema expuesto teóricamente en el apartado 5.

A continuación procederé a la explicación del sistema para este motor.

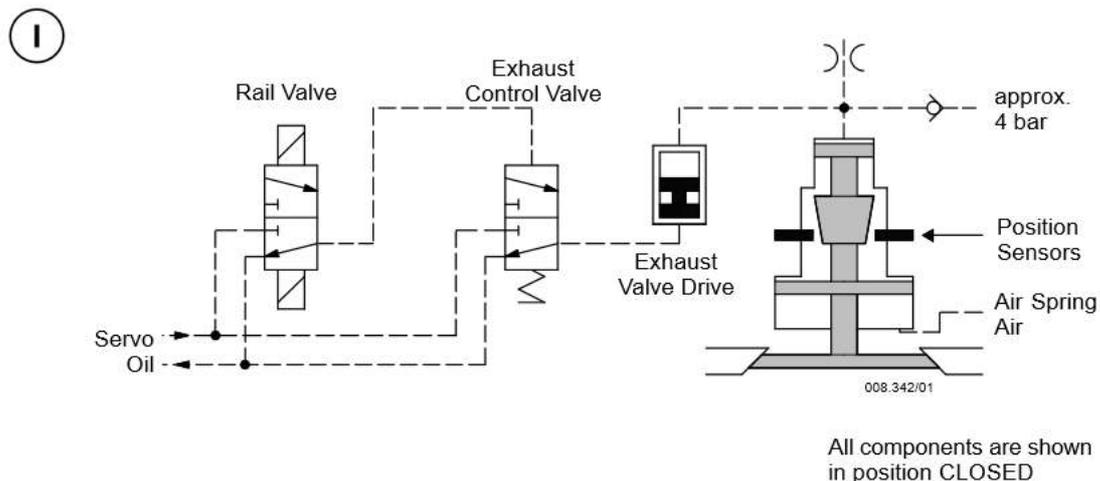


Fig.55 Sistema de control de la válvula de escape del motor Wartsila Sulzer 7RT-Flex 96C

Función de la válvula de escape

La válvula de escape se abre y cierra en función de las revoluciones del cigüeñal. El movimiento es medido por dos sensores de posición.

El FCM-20 es usado para amplificar el control de las salidas hasta el nivel necesario para accionar las válvulas del rail y permitir el paso del aceite.

Medición del tiempo de la válvula del rail

El tiempo entre la señal de arranque y el momento en el que se empieza a mover la válvula de pistón, es medido e indicado en el control remoto.

Pulso inicial

Al igual que en el caso de las válvulas del rail para la inyección de combustible, la posición de estas es determinada a través de varios pulsos aplicados en las válvulas del rail para obtener una posición definida.

Control de la válvula de escape

El movimiento de la válvula de escape es controlado de la siguiente manera:

- El comando de apertura de la válvula es calculado respecto al ángulo del cigüeñal y el VEO.
- Apertura de la válvula del rail.
- Medida del tiempo muerto de apertura: tiempo de desplazamiento desde 0% hasta el 15% de la carrera de la válvula.
- El comando de cierra es calculado tomando como referencia el ángulo del cigüeñal y el VEC.
- Cierre de la válvula del rail.
- Medición del tiempo muerto de cierre: Tiempo de desplazamiento desde el 100% hasta el 15 % de la carrera de la válvula.
- Una vez se ha completado un giro completo del cigüeñal, el tiempo de apertura para el próximo ciclo es regulado de acuerdo al tiempo muerto del anterior.

Marcha atrás

Para que el motor gire en el sentido inverso, el ángulo del cigüeñal es reflejado.

Funcionamiento en modo de emergencia

En el caso de que uno de los sensores de posición esta fuera de servicio, el proceso sigue adelante con el sensor de funcionamiento.

En el caso de que fallen los dos, el proceso continúa con el control del tiempo de apertura/cierre para el cilindro afectado.



Fig. 56 Cámara de control de la sala de máquinas

7.2 Descripción general del motor MAN B&W S90ME-C9.

El motor MAN B&W S90ME-C9 pertenece a la generación de los llamados motores inteligentes ME controlados electrónicamente y lo uso como comparativa al Wartsila Sulzer 7RT-Flex96C ya que los dos tienen una similar potencia y son de la familia de la inyección electrónica.

Este motor consiste en sistemas mecánicos-hidráulicos para la activación de la inyección de combustible y apertura de válvulas de escape. Los actuadores son controlados electrónicamente por un número de unidades formando el sistema de control del motor. Pero a diferencia de los Sulzer Wartsila, no disponen de un rail común de combustible, sino de una bomba de alta presión por cilindro controladas por válvulas que son abiertas electrónicamente (válvulas NC).

MAN Diesel y Turbo ha desarrollado específicamente el hardware y software propio para obtener una serie de soluciones integrales para el sistema de control.

Las bombas de alta presión de combustible consisten en un simple émbolo accionado por un pistón hidráulico. La presión de aceite es controlada electrónicamente por la válvula proporcional.

La válvula de escape es accionada hidráulicamente por un actuador de dos etapas activado por el aceite de control y regulada por la válvula proporcional (controlada electrónicamente).

En el sistema hidráulico, el aceite normal es usado como medio de accionamiento. Es filtrado y presurizado por la unidad hidráulica montada en el mismo motor o en la sala de máquinas.

Las válvulas de aire de arranque son abiertas neumáticamente por válvulas On/Off controladas electrónicamente. Gracias a estas y al distribuidor de aire de arranque, se reparte de manera proporcional la cantidad de aire a inyectar en los diferentes cilindros.

Gracias al control electrónico de las válvulas proporcionales y a los sensores de posición del cigüeñal, el sistema de control del motor controla en su totalidad el proceso de la combustión.

7.2.1 Sistema de control del motor principal ME

El sistema de control del motor para los motores ME está preparado para ser controlado remotamente con una interfaz al sistema de control desde el puente y para el control local. Un controlador múltiple es aplicado para desarrollar diferentes funciones de control de los siguientes elementos: Control del panel principal de operaciones, control de los cilindros, control de las unidades y control auxiliar de las unidades, control de la interfaz del motor, panel local de operación, control de red y control de la potencia hidráulica entregada.

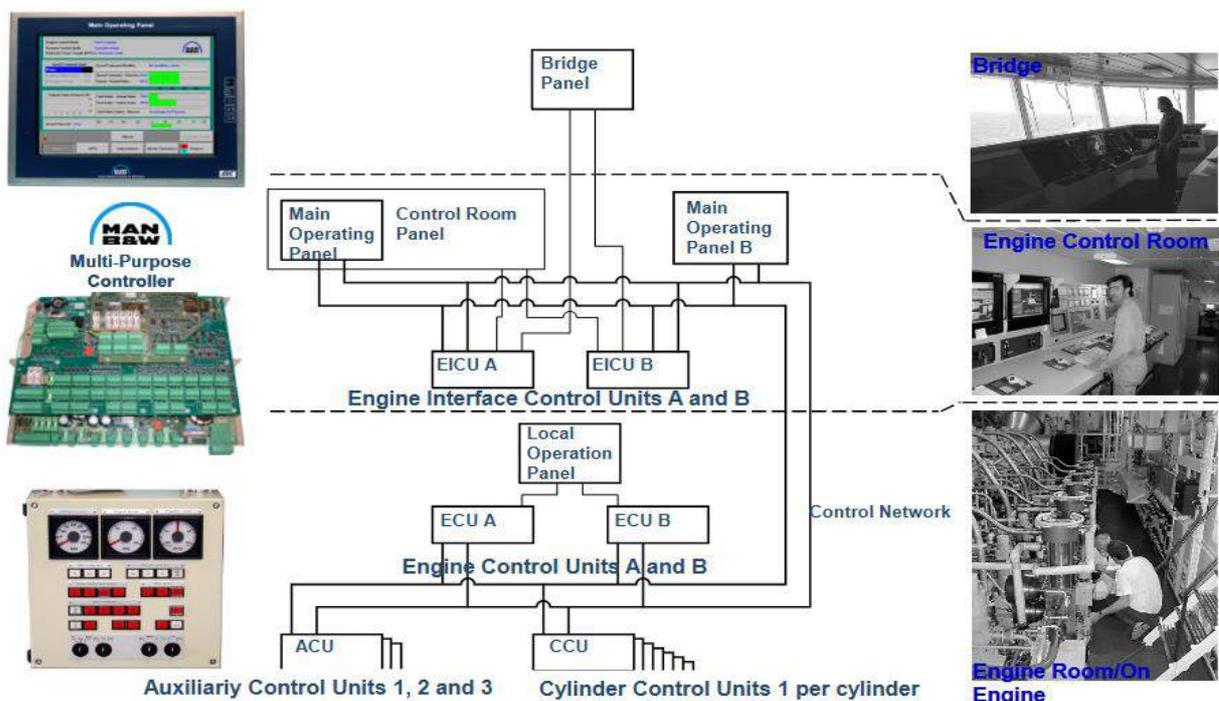


Fig.57 Sistema de control del motor MAN B&W ME

El sistema ME tiene un alto nivel de redundancia. Ha sido un requisito para su diseño, que el motor no se pare si sucede algún fallo no relevante. En la mayoría de los casos, un solo fallo no afectará al rendimiento y a la disponibilidad de la potencia, o solo en parte hacerlo, mediante la activación de una desaceleración.

Cabe señalar que cualquier controlador puede ser substituido en caso de fallo sin parar el motor, y entrará en servicio inmediatamente después de la sustitución de la unidad defectuosa.

7.2.2 Control de la presión del combustible

Este motor está preparado para quemar diésel marino y fuel oil pesado.

Des del tanque de servicio se aspira el combustible gracias a una bomba movida eléctricamente que levanta una presión de 4 bar, que puede ser mantenida a esta baja presión evitando posibles gasificaciones del combustible.

Desde la parte de baja presión del sistema de combustible, las bombas de circulación lo hacen pasar a través de unos calentadores para mantener la correcta temperatura del combustible a la vez que su viscosidad. Antes de entrar a trabajar en el motor, el combustible es filtrado.

La inyección de combustible es realizada a través de un sistema de aumento de presión controlado electrónicamente localizado en la unidad hidráulica de cilindro, que a la vez contiene el actuador para la activación electrónica de la válvula de escape.

Las unidades de control del cilindro junto al sistema de control del motor, calculan el tiempo de inyección y de activación de la válvula de escape.

Para asegurar un correcto llenado de las unidades hidráulicas de cilindro, la capacidad de las bombas de circulación es mayor a la cantidad de combustible consumido por el motor. El combustible sobrante es recirculado al sistema.

7.2.3 Control de la presión del aceite del servo.

La potencia hidráulica del aceite para el sistema hidráulico-mecánico del ME se usa para la activación de la inyección de combustible y la activación de las válvulas de escape.

Como medio hidráulico, el aceite lubricante usado es el mismo que usa el motor para su lubricación, pero filtrado por la unidad hidráulica.

Existe una unión entre la unidad de suministro de potencia hidráulica y el sistema de aceite lubricante.

Internamente en el sistema de aceite del motor, existe una conexión llamada RU que permite la entrada de aceite lubricante a la unidad de suministro de potencia hidráulica hacia las unidades hidráulicas de los cilindros.

El aceite hidráulico es suministrado a las unidades hidráulicas de los cilindros, localizadas en cada cilindro, donde es distribuida hacia el sistema de inyección electrónico de combustible y a la activación electrónica de la válvula de escape.

La válvula de escape es cerrada por aire comprimido.

Las señales electrónicas para la activación de las válvulas son proporcionadas por el sistema de control del motor.

Configuraciones de la unidad de suministro de potencia hidráulica.

Las bombas que levantan la presión necesaria para poner en marcha al sistema, son movidas mecánicamente por el motor (a través de ruedas dentadas movidas por el cigüeñal), o movidas eléctricamente.

Esta unidad para bombas mecánicas, consiste en:

- Filtro automático.
- Desde tres hasta cinco bombas de aceite principales.
- Dos bombas de arranque eléctricas
- Bloqueo de seguridad con un acumulador.

En cambio, con las bombas movidas eléctricamente, la unidad difiere y tiene en total tres bombas, combinando entre las principales y las de arranque.

La unidad de suministro de potencia hidráulica se encuentra en el mismo motor.

7.2.4 Sistema de arranque del motor principal

El aire de arranque a 30 bar es entregado por los compresores de aire de arranque a través de conductos hasta la válvula de aire de arranque principal.

A través de un sistema de reducción de la presión, el aire comprimido es filtrado hasta 7 bar y entregado a la unidad de control para su posterior uso como sello a la válvula de escape.

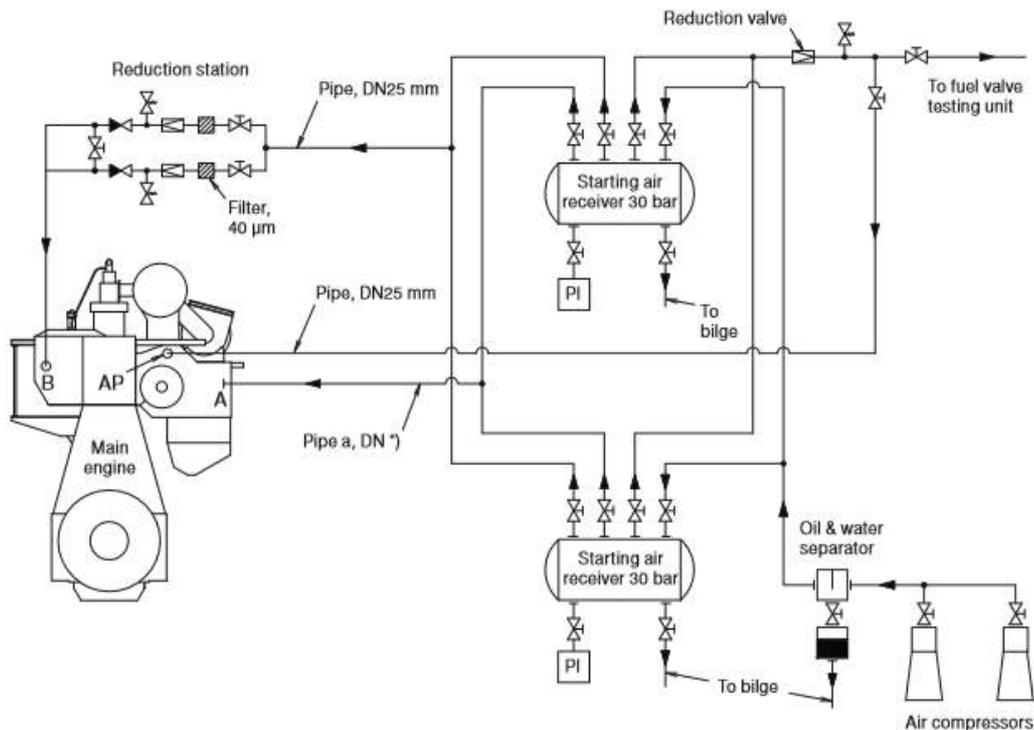


Fig.58 Sistema del aire de arranque para el motor MAN B&W ME

Sistema del aire de arranque y control

Los conductos del aire de arranque, se componen por una válvula principal de arranque, una válvula de no-retorno, una válvula de solenoide y las válvulas del aire de arranque localizadas en cada unidad.

El sistema de control del motor regula la cantidad de aire de arranque y control que ha de llegar a las válvulas concordando con el correcto orden de explosión.

La válvula de escape es abierta hidráulicamente por la el sistema del actuador de la válvula de inyección de combustible, que a la vez es activada por el sistema de control del motor. Esta válvula cierra gracias a la presión de aire de control permitiéndole un leve giro de la misma.

8. Comparativa entre los motores MAN B&W y los WARSTILA Sulzer

Una vez realizada la explicación exhaustiva de los motores controlados electrónicamente Wartsila Sulzer y los MAN B&W, procederé a comparar ambos sistemas electrónicos de inyección basándome en las explicaciones ya vistas y mi experiencia a bordo con uno de ellos.

Esta claro que estos dos fabricantes son los mayores fabricantes de motores de dos tiempos en el mundo y ambos fueron los primeros en introducir el motor sin eje de levas y el control electrónico casi total de ellos.

MAN B&W ME

La nueva generación MAN B&W ME, es una generación que implanta un nuevo sistema de inyección eléctrica, pero con un cambio no tan significativo como el que han experimentado los Wartsila Sulzer.

El fabricante ha optado por una modernización de las bombas clásicas de alta presión, basándose en un principio de funcionamiento muy parecido a las clásicas pero con la implantación de una nueva válvula de control llamada FIVA (fuel injection valve actuator).

Gracias a esta válvula se les hace famosos y marca la diferencia respecto a los motores clásicos, ya que es un actuador accionado electrónicamente.

Es evidente que se ha producido un cierto avance tecnológico, pero siguen manteniendo la organización y distribución para la inyección de combustible clásica, la de tener una bomba por cada cilindro.

Sin embargo, al igual que para los Wartsila Sulzer RT-Flex, se ha sustituido el eje de levas por un rail común de aceite hidráulico.

WARTSILA SULZER RT-FLEX

Estos motores han sufrido un avance tecnológico mucho mayor a los MAN B&W ME, ya que han revolucionado por completo el sistema de funcionamiento para la inyección de combustible.

Primero de todo optando por la buena opción de instalar un rail común de combustible presurizado a lo largo del motor, con 3 unidades de control de la inyección para cada cilindro, siéndole correspondida una para cada inyector.

Hay una gran diferencia visible respecto a los MAN, y es que estos han optado por la sustitución de las bombas individuales para cada cilindro. El numero de bombas son proporcionales a la cantidad de cilindros, pero no se suele asignar una bomba para cada cilindro, sino que se asigna un numero de bombas que pueda mantener la presión máxima estable en el rail común de combustible con el motor a máximo régimen de revoluciones/carga.

A diferencia de los MAN ME, los Wartsila RT-Flex usan otro sistema, conocido como sistema de aceite de control, para la apertura de las válvulas de inyección y el control de la válvula de apertura para el paso de aceite a la válvula de los gases de escape.

8.1 Diferencias de componentes entre ellos.

A continuación y basándome en los esquemas ya vistos anteriormente y los que se encuentran abajo, procederé a diferenciar los principales componentes entre los MAN B&W ME y los Wartsila Sulzer RT-Flex.

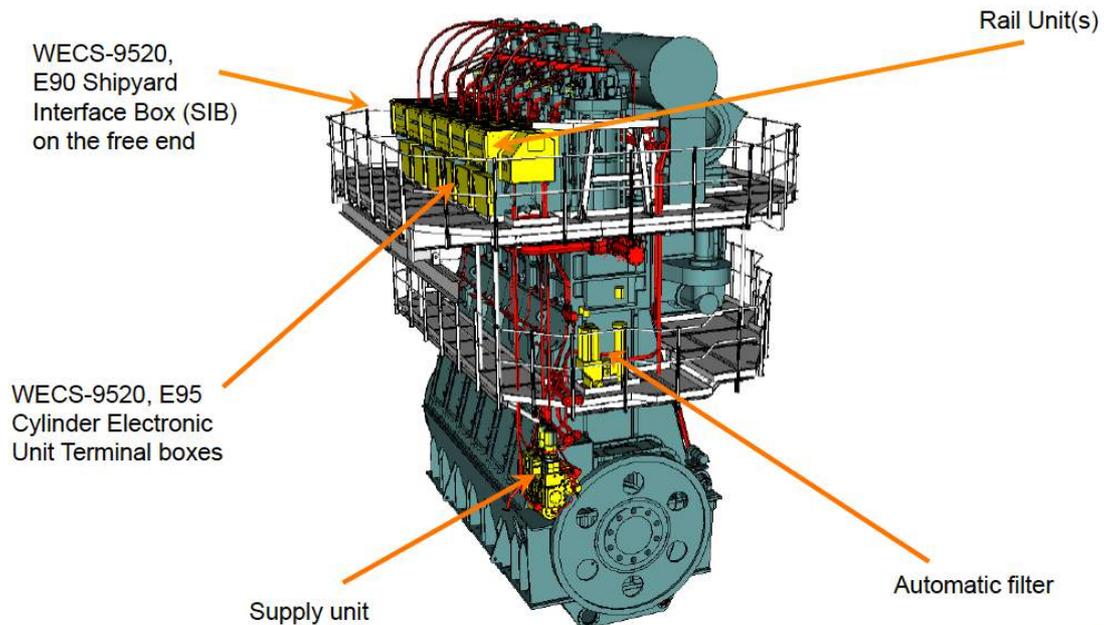


Fig. 59 Esquema de distribución de los Wartsila Sulzer RT-Flex

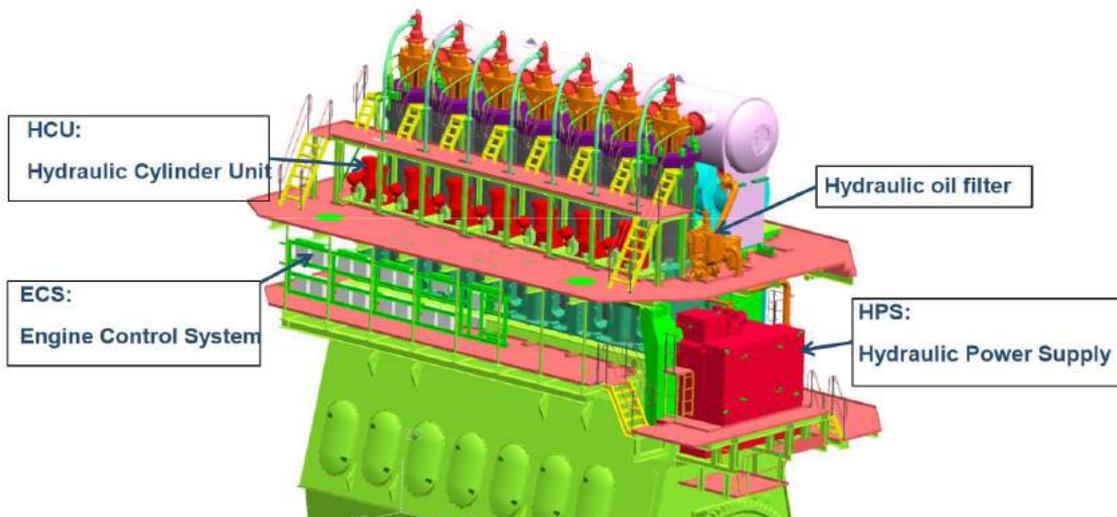


Fig. 60 Esquema de distribución de los MAN B&W ME

8.1.1 Principales diferencias en el sistema hidráulico

Los MAN usan la llamada Unidad de Potencia Hidráulica que, al igual que los Wartsila, esta compuesta por una serie de bombas movidas por una rueda dentada engranada al eje del motor. En cambio, los Wartsila sitúan estas bombas juntamente con las bombas de alta presión de combustible, ya que ambas son movidas por el mismo eje movido por una rueda dentada engranada al motor principal.

Ambos motores usan como aceite hidráulico el que se usa para lubricar los cojinetes y sus partes móviles situadas en el cigüeñal del motor. Todo ese aceite es acumulado en el cárter del motor.

Las bombas hidráulicas aspiran ese aceite desde el cárter del motor.

Una vez presurizado el combustible, en ambos casos pasa a través de un filtro, siendo aplicados para ambos el llamado filtro automático con un auto-lavado del mismo cada cierto periodo de tiempo.

Una vez presurizado y filtrado el aceite, para ambos casos pasa al rail común de aceite.

Desde el rail común de aceite, en el caso de los MAN pasa a trabajar a las Unidades Hidráulicas del Cilindro, donde a través de la apertura de la válvula FIVA, pasará a trabajar sobre el émbolo que levanta la presión de combustible para su posterior inyección.

En cambio, para los Wartsila, el aceite del rail acciona las válvulas del rail que dejen pasar el mismo y accionen las válvulas del control de la inyección.

8.1.2 Principales diferencias en la inyección de combustible

Las principales diferencias en la inyección de combustible en ambos motores es que los Wartsila no tienen una bomba de alta presión de combustible en cada cilindro ni se encuentran justo delante de cada cilindro, sino que se encuentran totalmente descentralizadas, siendo situadas en el mismo lugar en el que están situadas las bombas de aceite hidráulico.

Los MAN usan una bomba de alta presión de combustible movida por el aceite hidráulico en cada cilindro y totalmente centradas en ellos.

Las válvulas de inyección de combustible en el caso de los MAN son abiertas a través de la presión del propio combustible, siendo para los Wartsila el aceite de control el que provoque la apertura de las mismas.

La gran diferencia entre ambos, es que los Wartsila usan un rail común de combustible para su posterior distribución a lo largo de los cilindros y los MAN no.

9. Conclusiones

Después de la realización de éste trabajo puedo sacar varias conclusiones sobre el estudio, análisis y comparativa de motores diésel marinos de dos tiempos de inyección electrónica y common rail junto con las prácticas que realicé a bordo de uno de ellos.

Hasta el momento y una vez contempladas todas las ventajas que ofrecen estos motores llegamos a la conclusión que son más viables y efectivos que los clásicos, pero son motores tan sensibles que por culpa de un sensor te resultara muy difícil para llegar a encontrar que el problema estaba en el sensor y no en otro elemento.

En mi humilde opinión y una vez realizado el trabajo junto con mi experiencia a bordo de un mercante con un motor principal Wartsila RT-Flex soy muy partidario de estos motores por; tener menos bombas de combustible, un rail común de combustible, unas válvulas de control de inyección y un pistón que regula la cantidad a inyectar.

Una vez analizados todos los datos y con la gran información que es capaz de proporcionar Wartsila en comparación con la de MAN, puedo concluir el trabajo diciendo que los Wartsila son motores mas fáciles de operar con un menor número de problemas y reparaciones.



10. Bibliografía

10.1 Libros utilizados

- 01.- *Jack A. Somer & Helmut Bohling / From the Mountains To The Seas / The Sulzer Diesel Engine / Edición del 24 de Noviembre de 2003 / Consultado en Abril 2016.*
- 02.- *Doosan Engine Co., Ltd / Manual del motor Wartsila Sulzer 7RT-Flex 96C / Edición 15 de Enero del 2007 / Consultado en Mayo 2016.*
- 03.- *Wartsila Land & Sea Academy / Inyección electrónica de los motores Wartsila RT-Flex / Edición 25 de Junio del 2008 / Consultado en Mayo 2016.*
- 04.- *Wartsila Land & Sea Academy / Control hidráulico de la válvula de escape de los motores Wartsila RT-Flex / Edición Febrero 2010 / Consultado en Mayo 2016.*
- 05.- *Wartsila Land & Sea Academy / Sistema de control WECS para los motores Wartsila RT-Flex / Edición Febrero 2010 / Consultado en Mayo 2016.*
- 06.- *Wartsila Land & Sea Academy / Diagrama de explicación de la inyección de combustible en los motores Wartsila RT-Flex / Consultado en Junio 2016.*
- 07.- *MAN Diesel & Turbo / Presentación de los motores MAN B&W ME / Edición del 25 de Setiembre del 2011 / Consultado en Junio 2016.*
- 08.- *MAN Diesel & Turbo / Comparación entre los motores MAN B&W MC y ME / Edición del 25 de Setiembre del 2011 / Consultado en Junio 2016.*

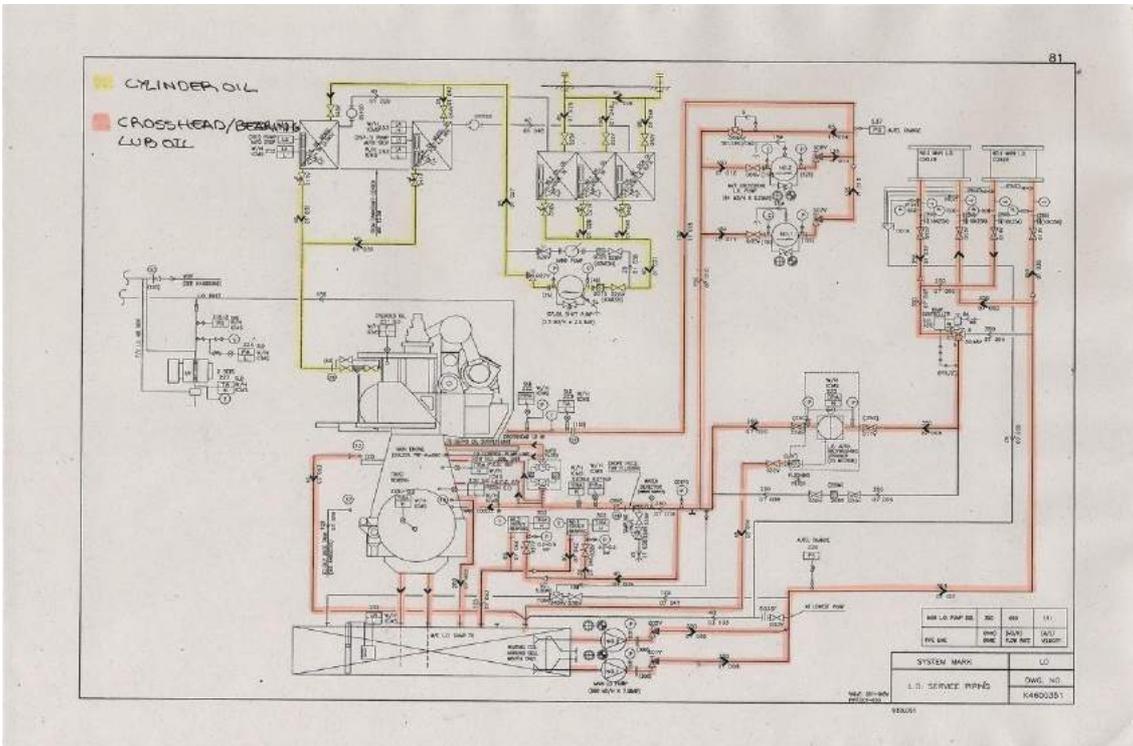
10.2 Links utilizados

- 01.- Wartsila - <http://www.wartsila.com> (Abril 2016)
- 02.- MAN Diesel y Turbo - <http://dieselturbo.man.eu> (Abril 2016)
- 03.- Common rail - http://www.marinediesels.info/2_stroke_engine_parts/Other_info/electronic_engine.htm (Abril 2016)
- 04.- Manual MAN B&W S90ME-C9 - http://marine.man.eu/applications/projectguides/2stroke/content/printed/S90ME-C9_5.pdf (Junio 2016)
- 05.- Comparativa Wartsila y MAN - https://www.dieselnet.com/tech/diesel_fi_common-rail.php (Junio 2016)
- 06.- Wartsila RT-Flex 96C - <http://www.swiss-ships.ch/berichte-buecher/berichte/Waertsilae/Wartsila-RTA96C-engine-technology-review.pdf> (Junio 2016)

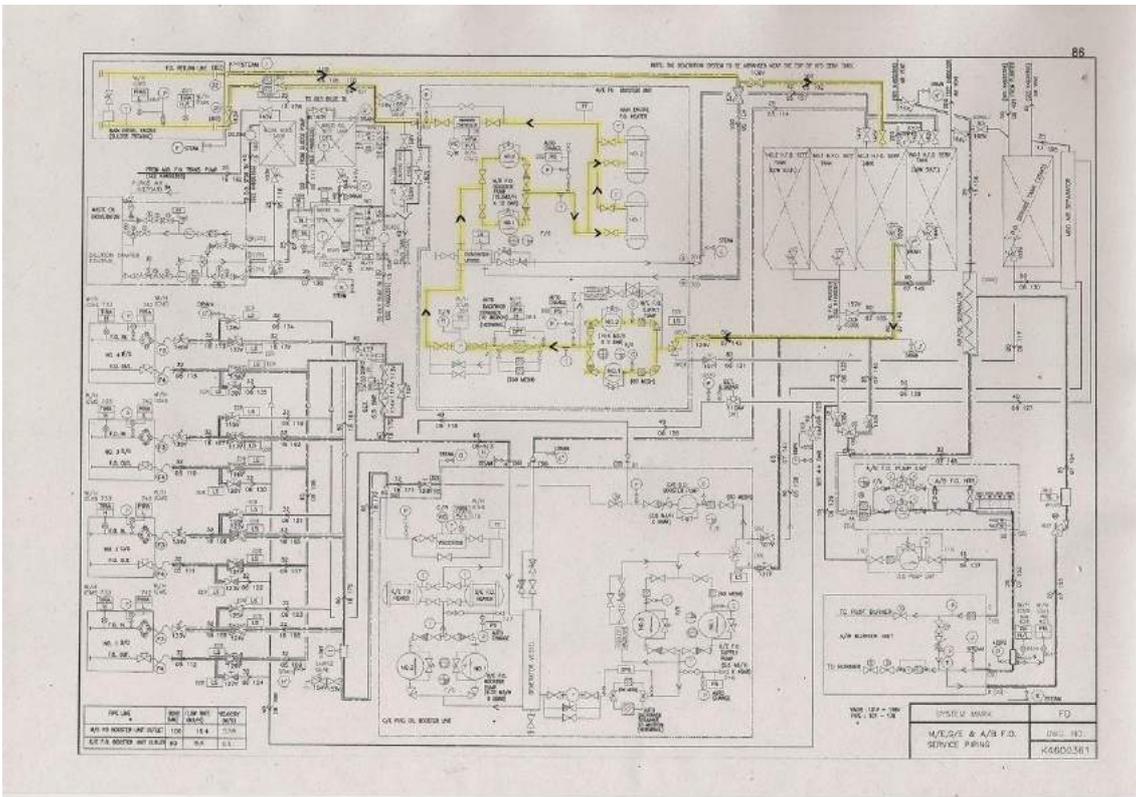


11. Anexos

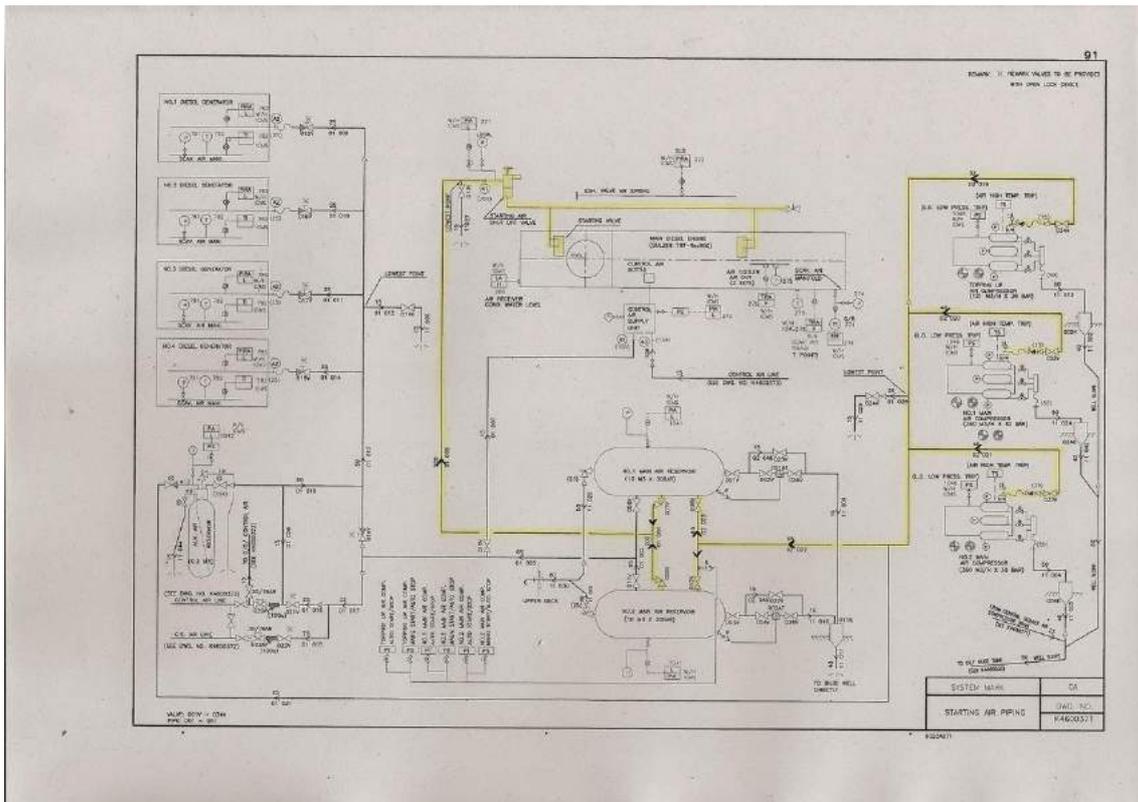
Anexo A. Circuito de lubricación del motor Wartsila 7RT-Flex 96C



Anexo B. Circuito de combustible del motor Wartsila 7RT-Flex 96C



Anexo C. Circuito de aire de arranque del motor Wartsila 7RT-Flex 96C



Anexo D. Circuito de refrigeración del motor Wartsila 7RT-Flex 96C

