

Capítulo 2

MOTORES DIESEL

Sistemas que contribuem para o funcionamento

Felizardo Alves 2008

1 Condições gerais de funcionamento dos motores diesel

Como já vimos, a realização dos ciclos de funcionamento dos motores diesel, envolve o fornecimento adequado de ar e combustível aos cilindros, a inflamação e combustão deste, e a evacuação dos gases gerados. Dada a forma violenta como se desenvolvem estes processos e o ritmo vertiginoso a que por vezes se repetem, geram-se elevadas pressões e temperaturas susceptíveis de provocarem sobrecargas mecânicas e térmicas a alguns órgãos, tornando-se por isso indispensável minimizar os seus efeitos nefastos, a fim de assegurar o funcionamento contínuo, seguro e eficaz destas máquinas.

Igualmente é necessário impulsionar o arranque e promover a inversão de marcha dos motores diesel marítimos, pelo que várias funções essenciais têm de ser asseguradas pelos seguintes sistemas:

Refrigeração

Lubrificação

Alimentação de ar

Evacuação de gases

Alimentação de combustível e regulação de velocidade

Ar comprimido (arranque, fecho válvulas evacuação Motor 2T e controlo remoto)

Produção de vapor auxiliar (recuperação de calor dos gases de evacuação e do ar de sobrealimentação)

Dado os objectivos desta disciplina e as limitações de tempo que nos são impostas, iremos apenas tratar dos motores diesel utilizados na propulsão e serviços auxiliares dos navios mercantes. Estes motores podem funcionar segundo os ciclos de dois e de quatro tempos, sendo por isso vulgarmente designados por motores diesel marítimos de dois e de quatro tempos.

Os motores diesel marítimos de dois tempos, normalmente de grandes dimensões e potência por cilindro, operam a baixas velocidades de rotação, 30 rpm a 250 rpm, o que os torna adequados para a propulsão diesel directa de navios de grande porte tais como: navios de carga geral, carga contentorizada, frigoríficos, graneleiros, petroleiros, etc.

Os motores diesel marítimos de quatro tempos, em regra de menores dimensões e potência por cilindro, operam a médias velocidades de rotação, 250 rpm a 1000 rpm, pelo que são muito utilizados na propulsão diesel indirecta de navios mercantes de passageiros e de carga de menor porte. Também se utilizam na propulsão diesel-eléctrica de navios de passageiros de grande porte, para assegurar a produção da energia eléctrica necessária à propulsão e aos restantes serviços destes navios.

Para além disso são utilizados como máquinas auxiliares para a produção de energia eléctrica em praticamente todos os navios mercantes, de pesca, etc..

2 Refrigeração dos motores

A refrigeração é um processo a que normalmente se recorre para manter as temperaturas de funcionamento de alguns órgãos dos motores, tais como camisas, cabeças de cilindro, êmbolos, aros, válvulas e injectores em valores suportáveis pelos materiais para garantir a segurança de operação e a fiabilidade.

Digamos que a refrigeração é um mal necessário que apenas deve ser aplicado com peso, conta e medida, uma vez que em excesso diminui o rendimento dos motores e em regra promove o desgaste elevado dos órgãos arrefecidos.

Para além da refrigeração natural efectuada pelo meio ambiente, é indispensável por isso dotar os motores com vários sistemas artificiais de refrigeração e lubrificação capazes de assegurar o correcto arrefecimento dos órgãos já referidos, através de diversos fluidos de refrigeração, tais como água salgada, água doce, óleo de lubrificação, diesel, etc.

Nesta conformidade, os motores diesel marítimos, são providos com vários sistemas de refrigeração específicos, vulgarmente designados por:

Sistema de água do mar de refrigeração

Sistema de água doce de refrigeração dos cilindros e ar de alimentação

Sistema de água doce ou óleo refrigeração dos êmbolos

2.1 Sistema de água do mar de refrigeração

É o único sistema de refrigeração aberto, cuja finalidade consiste em assegurar boas condições de operação aos restantes sistemas de refrigeração dos motores diesel marítimos, igualmente importantes, tais como:

Sistema de água doce de refrigeração dos cilindros

Sistema de água doce ou óleo refrigeração dos êmbolos

Sistema de água doce de refrigeração dos injectores

Sistema de água doce de refrigeração do ar de sobrealimentação

Sistema de óleo de lubrificação geral circulante

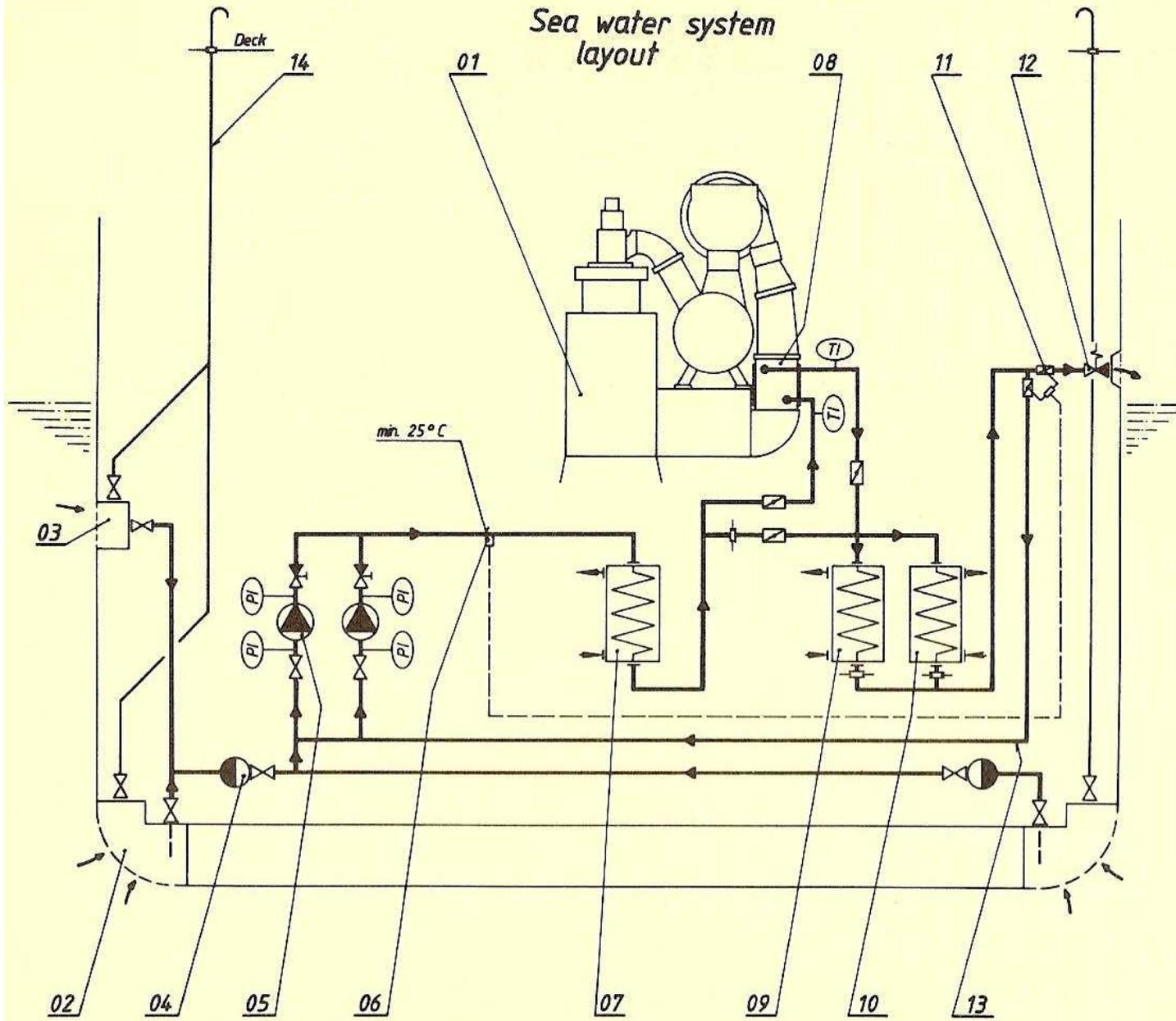
Sistema de óleo de lubrificação parcial circulante

Sistema de condensação de vapor

Sistema de produção de ar comprimido, etc.

Na figura seguinte, apresenta-se um sistema típico de água do mar de refrigeração em que são identificados os seus componentes mais importantes. Tal como pode ver-se, uma das bombas de circulação aspira através de um dos filtros a água do mar da aspiração baixa ou alta, conforme o requerido, a qual envia através dos respectivos encanamentos aos diversos arrefecedores, dos fluidos de refrigeração e de lubrificação utilizados, por forma a diminuir a sua temperatura, após o que é descarregada para o mar.

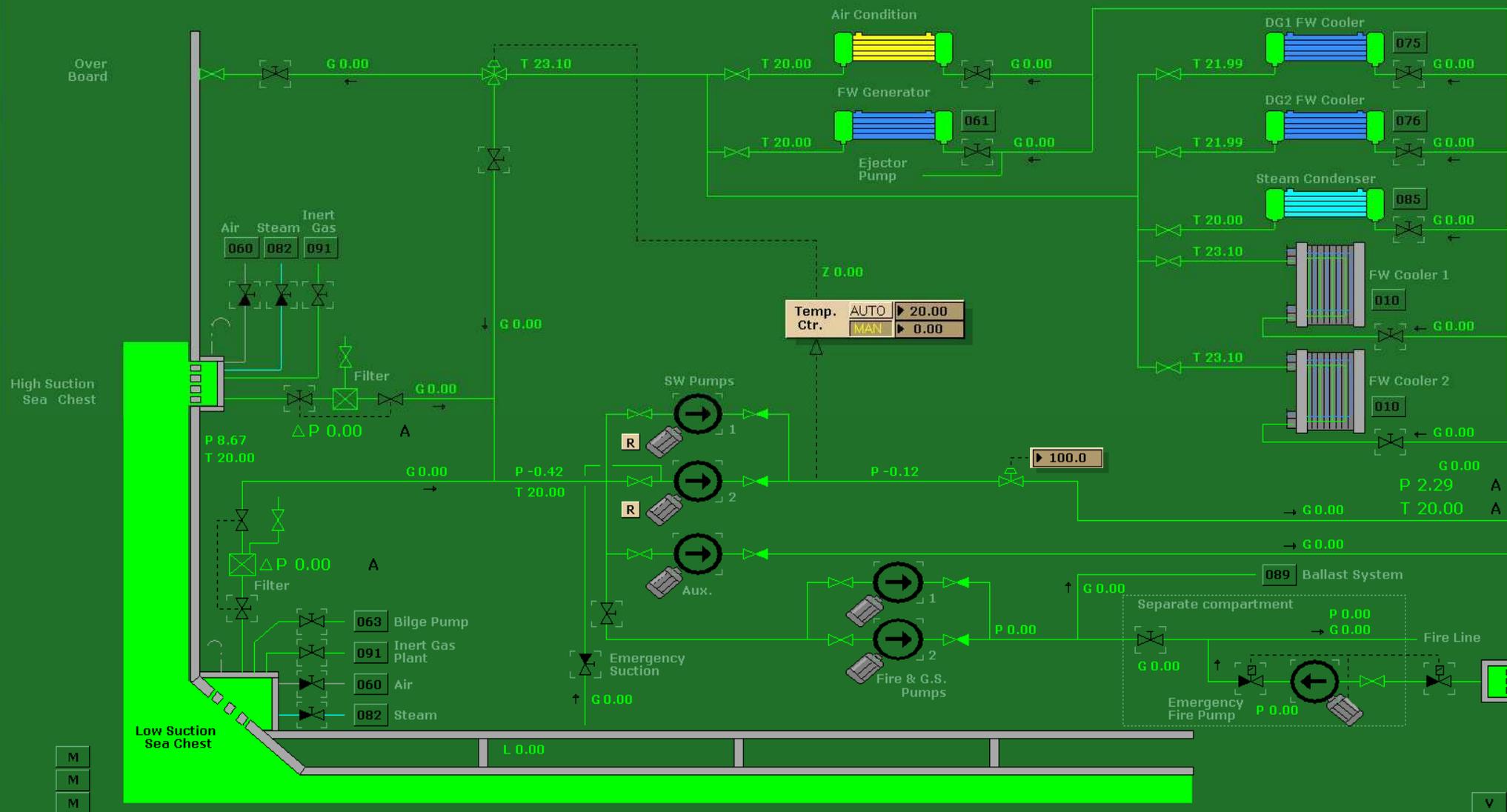
Sea water system layout



- 01 Main engine
- 02 Lower sea chest
- 03 Upper sea chest
- 04 Sea water filter
- 05 Sea water pump
- 06 Temperature feeler
- 07 Lubricating oil cooler
- 08 Charge air cooler
- 09 Piston cooling water cooler
- 10 Jacket cooling water cooler
- 11 Automatic temperature control valve (butterfly type)
- 12 Overboard discharge valve
- 13 Warm sea water return line
- 14 Air vent

Sistema de água do mar de refrigeração

Sea Water System



- M
- M
- M

2.2 Sistema de água doce de refrigeração dos cilindros

Trata-se de um sistema fechado de circulação que tem por finalidade assegurar directamente a refrigeração adequada das camisas e cabeças dos cilindros, bem como das respectivas válvulas de admissão e evacuação nelas montadas e indirectamente a refrigeração dos êmbolos e aros do motor.

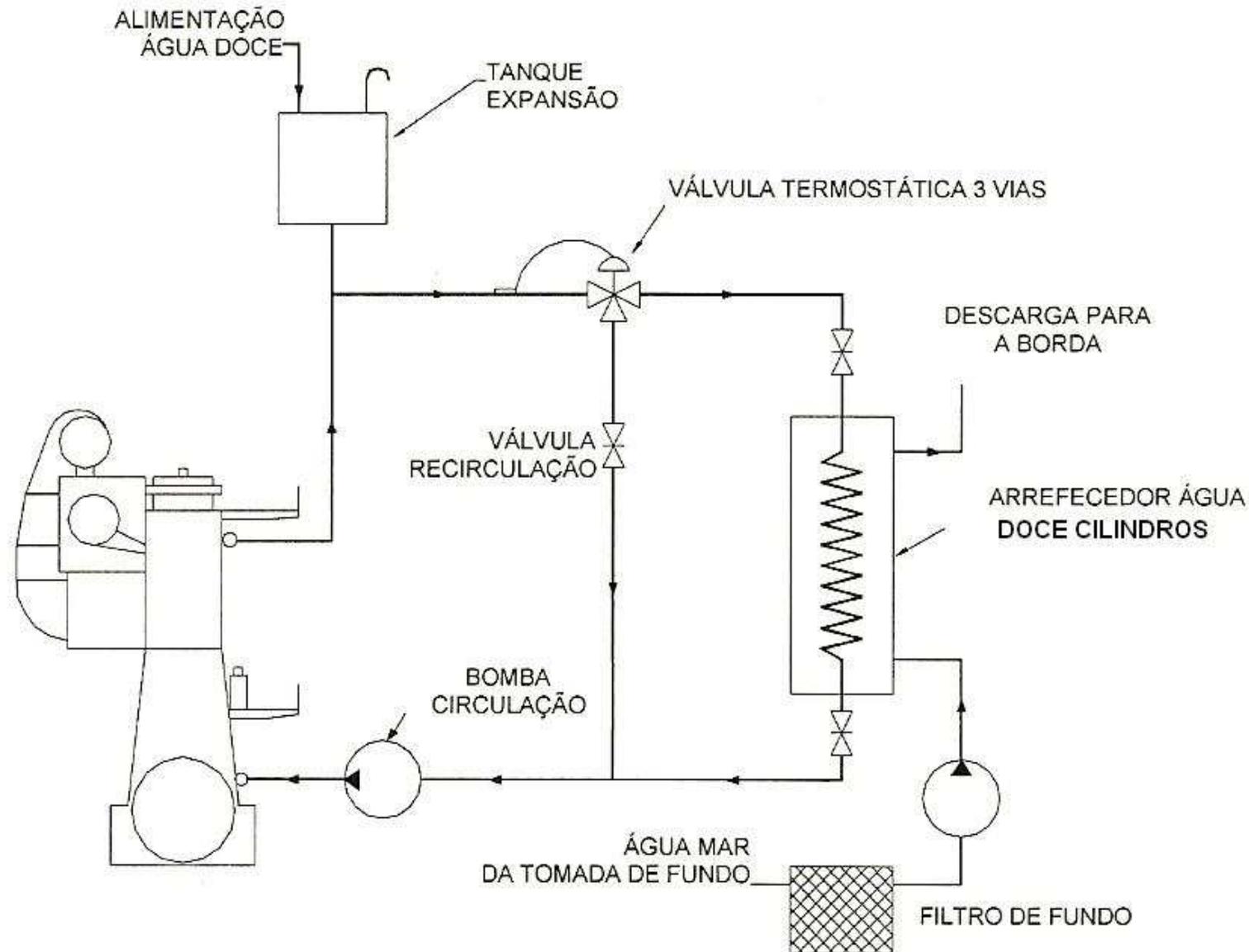
Este sistema é utilizado de uma forma geral em todos os tipos de motores para efectuar a refrigeração citada, porém no caso específico de alguns motores diesel marítimos pode ser concebido para desempenhar duas funções distintas a saber:

Manter a temperatura da água doce de refrigeração dos cilindros, dentro dos limites prescritos pelo fabricante do motor, por forma a assegurar nos vários regimes de operação as temperaturas susceptíveis de proporcionarem o maior rendimento do motor, bem como a maior vida útil às camisas, cabeças de cilindro, válvulas e outros órgãos refrigerados.

Assegurar sempre que necessário, o pré-aquecimento e circulação da água doce de refrigeração, por forma a aquecer os órgãos que durante o funcionamento normal refrigera ou manter a sua temperatura no valor requerido após a paragem do motor, a fim de facilitar o seu posterior arranque, com vista a minimizar o elevado desgaste que os órgãos sofrem em tais circunstâncias.

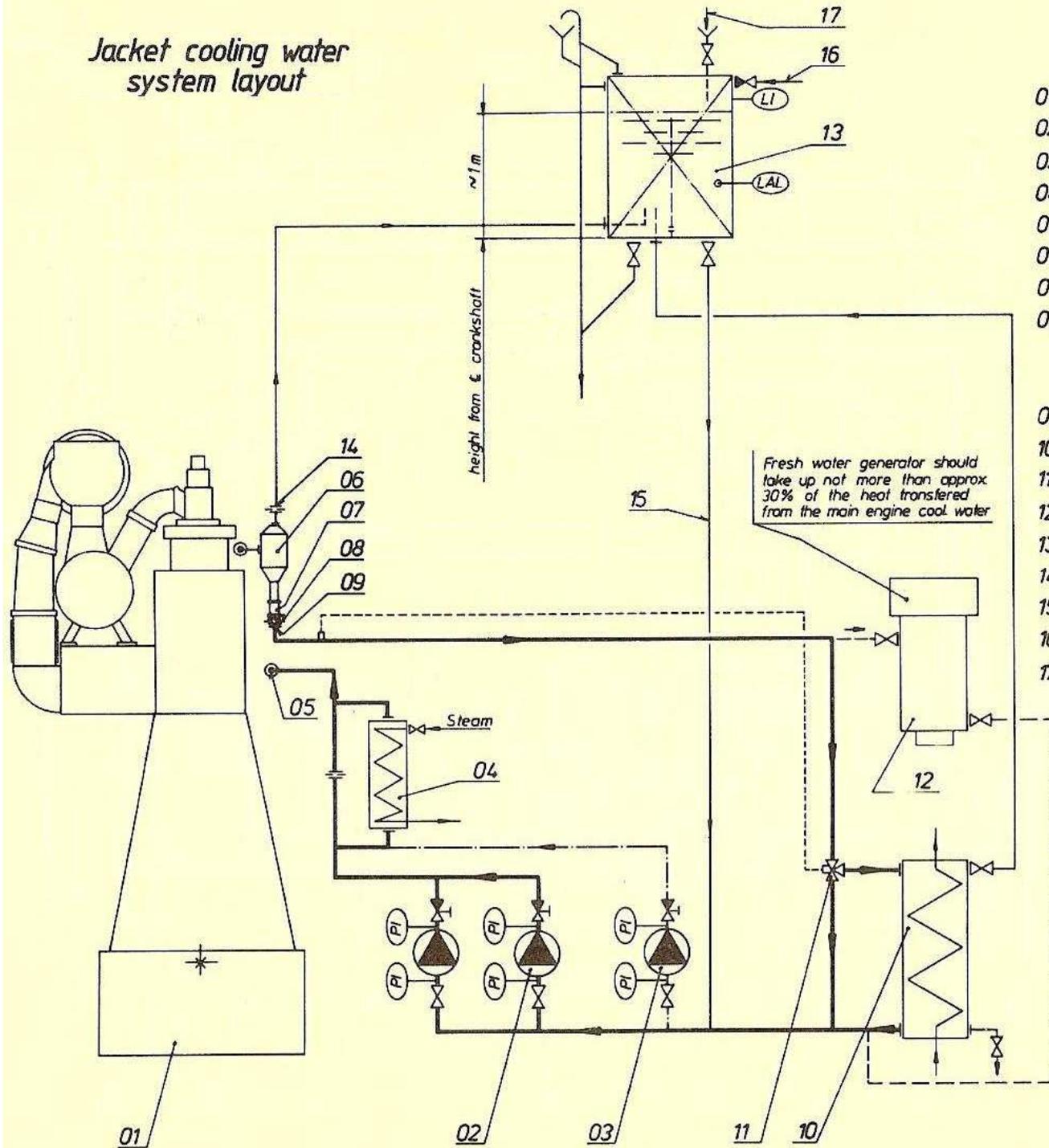
A água doce de refrigeração dos cilindros é normalmente tratada com aditivos para prevenir corrosões e incrustações nas câmaras de circulação dos órgãos refrigerados, bem como nas tubagens, bombas de circulação e respectivos arrefecedores.

Na figura seguinte apresenta-se um sistema típico de água doce de refrigeração dos cilindros de um motor diesel marítimo de 2 tempos com cruzetas, com os componentes identificados.



Sistema de água doce de refrigeração dos cilindros

Jacket cooling water system layout



- 01 Main engine
- 02 Jacket cooling water pump
- 03 Preheating pump
- 04 Heater
- 05 Jacket cooling water inlet pipe
- 06 Air separator (centrifugal type)
- 07 Fluid flow stabilizer
- 08 Throttling disc or adjustable throttling piece for adjustment of system cooling water pressure
- 09 Jacket cooling water outlet pipe
- 10 Jacket cooling water cooler
- 11 Automatic temp. control valve
- 12 Fresh water generator
- 13 Header tank
- 14 Throttling piece 15 I.D. in air vent pipe
- 15 Balance pipe
- 16 Filling pipe
- 17 Chemical treatment inlet

Engine type	Height min.-m
RTA 38	10
RTA 48	11
RTA 58	12
RTA 68	14
RTA 76	15
RTA 84	16

2.2.1 Funcionamento do sistema

Uma das bombas de circulação dos cilindros, aspira a água doce de refrigeração proveniente da saída do motor e do arrefecedor dos cilindros, impulsionando-a através das câmaras de refrigeração dos órgãos a refrigerar.

A circulação da água doce pelas câmaras de refrigeração dos órgãos a refrigerar, provoca naturalmente a elevação da sua temperatura, pelo que após cada passagem pelas referidas câmaras é necessário eliminar o aumento verificado na sua temperatura, a fim de que possa iniciar nas melhores condições um novo ciclo de refrigeração.

O aumento de temperatura sofrido pela água doce de refrigeração durante a sua passagem pelas câmaras de refrigeração dos órgãos a refrigerar, é eliminado através da sua passagem pelo arrefecedor dos cilindros. Os tubulares deste arrefecedor são circulados interiormente por água salgada em circuito aberto com temperatura inferior à da água doce de refrigeração dos cilindros e exteriormente por esta em circuito fechado, sendo então arrefecida conforme o requerido.

A água doce de refrigeração circula a uma pressão superior à da água salgada que efectua o seu arrefecimento, por forma a salvaguardar a contaminação da água doce pela água salgada no caso de ocorrer a ruptura dos tubulares do arrefecedor.

O objectivo é garantir que no caso de ocorrer uma ruptura dos tubulares, a água salgada não contamine a água doce, uma vez que nas citadas circunstâncias apenas se verificará a fuga da água doce para a água salgada com o conseqüente perda de água doce do sistema de refrigeração dos cilindros.

O controlo da temperatura da água doce de refrigeração dos cilindros é normalmente efectuado automaticamente através de válvulas termostáticas de três vias, que controlam os caudais de água doce de refrigeração que passam pelo arrefecedor dos cilindros e pelo **by-pass** ao mesmo, de forma a obter à saída do motor a temperatura correcta para a água doce de refrigeração.

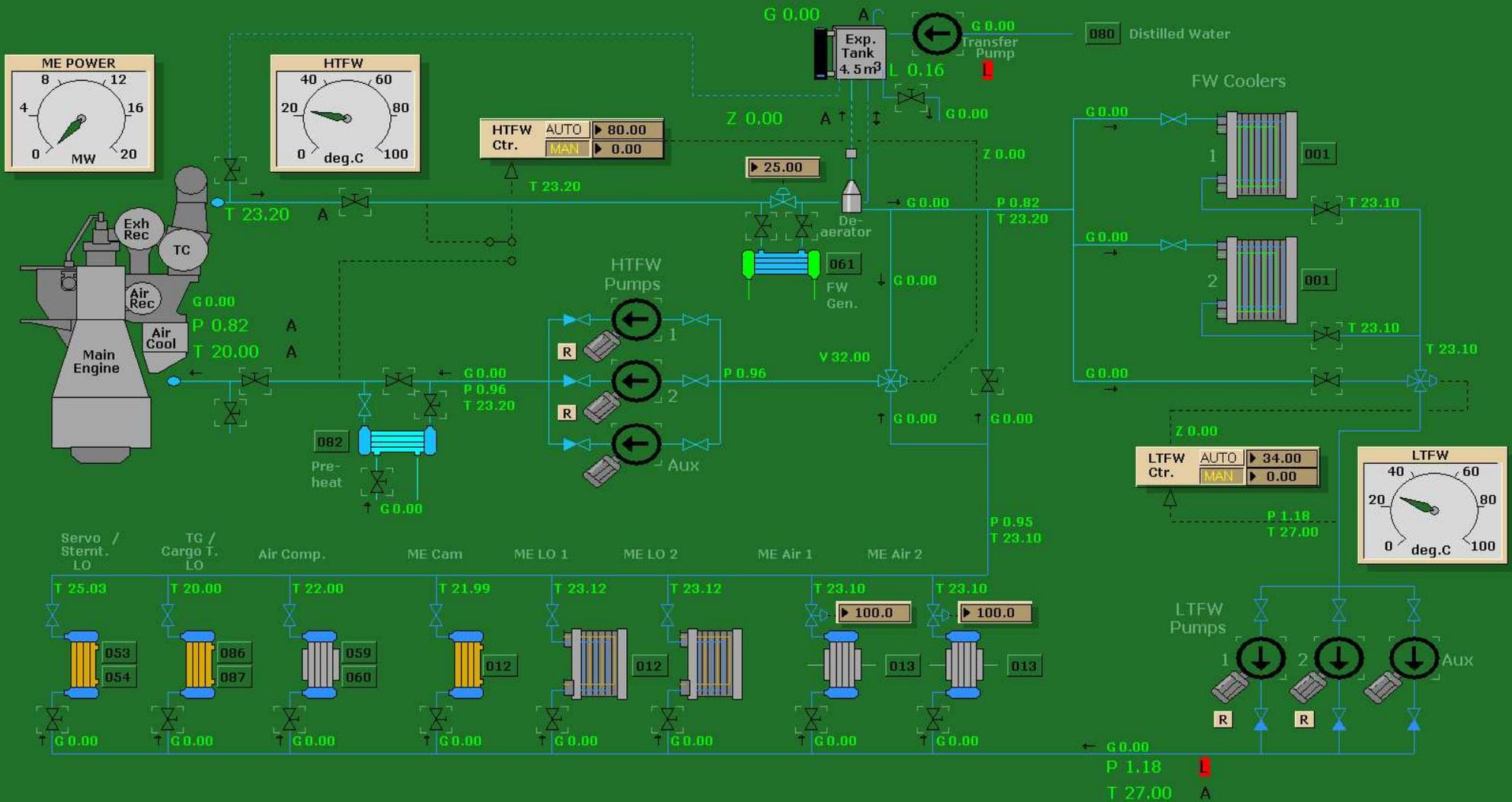
Após passar pelo arrefecedor dos cilindros a água doce de refrigeração volta a ser aspirada pela bomba de circulação a fim de cumprir um novo ciclo de refrigeração e assim sucessivamente durante o funcionamento do motor.

O tanque que assegura simultaneamente a expansão da água doce de refrigeração do sistema e a compensação da que se vai evaporando ou perdendo devido a fugas, está situado a uma altura suficiente para por um lado permitir desaerificar a água doce do sistema e por outro assegurar a adequada pressão de circulação da mesma.

O sistema de água doce de refrigeração dos cilindros, pode dispor ainda de um pré-aquecedor eléctrico ou a vapor e de uma bomba auxiliar de circulação que opera em **by-pass** em relação às bombas principais de circulação, para efectuar o pré-aquecimento do motor antes do seu arranque e manter a lenta circulação da água do sistema através do motor à temperatura necessária, durante os períodos de paragem por forma a que este esteja pronto para o arranque imediato, sempre que necessário.

Para manter a boa qualidade da água doce de refrigeração dos cilindros, são efectuadas análises às amostras de água periodicamente recolhidas. Os resultados obtidos permitem determinar a quantidade de aditivos a incorporar na água doce em circulação, a fim de manter o bom estado de conservação e limpeza das câmaras de refrigeração dos órgãos refrigerados, bem como das tubagens, bombas de circulação, arrefecedores e pré-aquecedor do sistema.

Fresh Water System



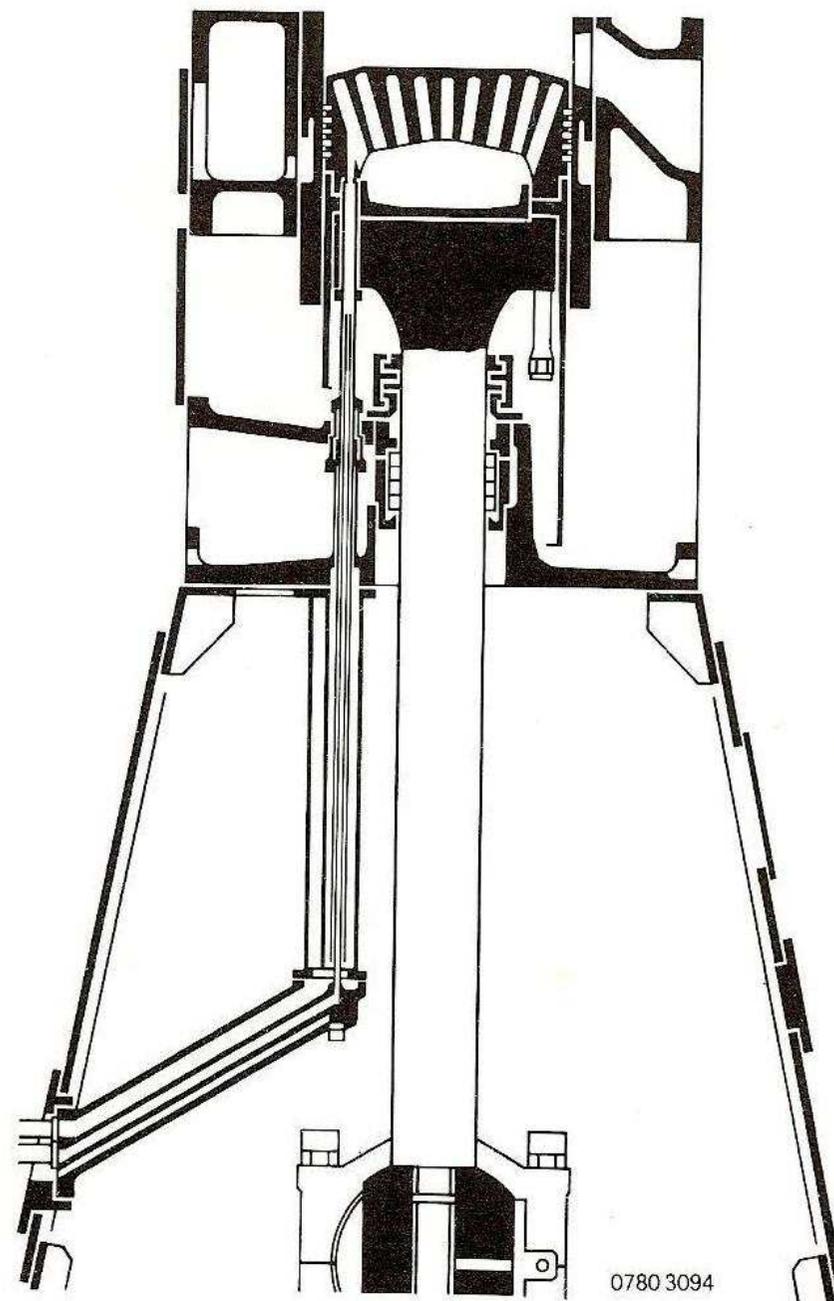
2.3 Sistema de refrigeração dos êmbolos

Trata-se de um sistema de refrigeração apenas utilizado nos motores diesel de dois tempos com elevada potência por cilindro.

Pode ser um sistema independente tal como sucede no caso do fluido refrigerante ser basicamente constituído por água e aditivos, ou uma mera derivação do sistema de óleo de lubrificação circulante, quando para o efeito utiliza como fluido refrigerante o óleo deste sistema.

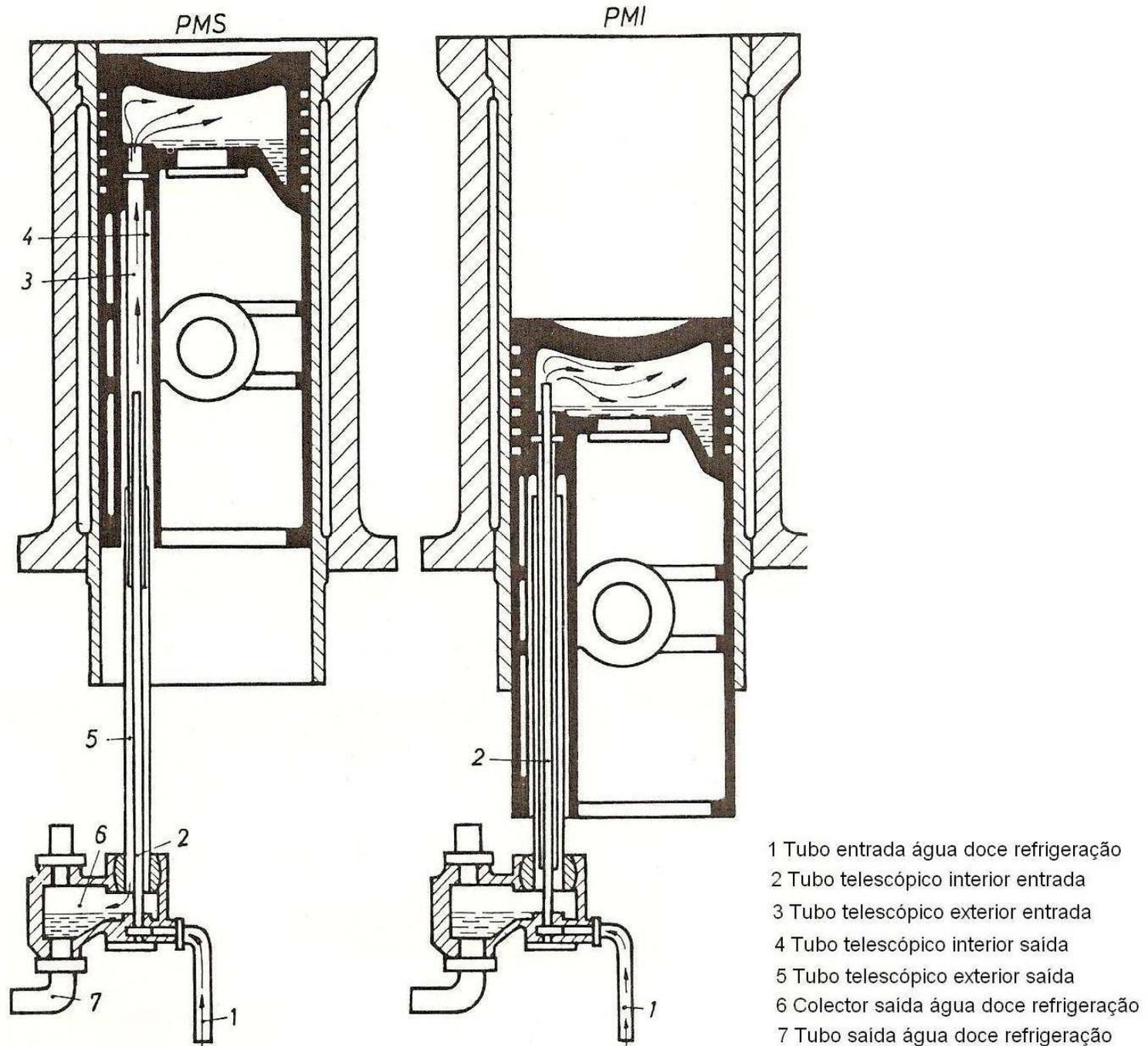
As ligações entre a tubagem fixa do sistema de refrigeração e os êmbolos, são efectuadas através de tubos telescópicos, quando o fluido refrigerante utilizado é a água doce, tal como se pode ver na figuras ao lado e na página seguinte apresentadas.

REFRIGERAÇÃO DE ÊMBOLO POR ÁGUA DOCE



Ligação do sistema ao êmbolo por tubos telescópicos

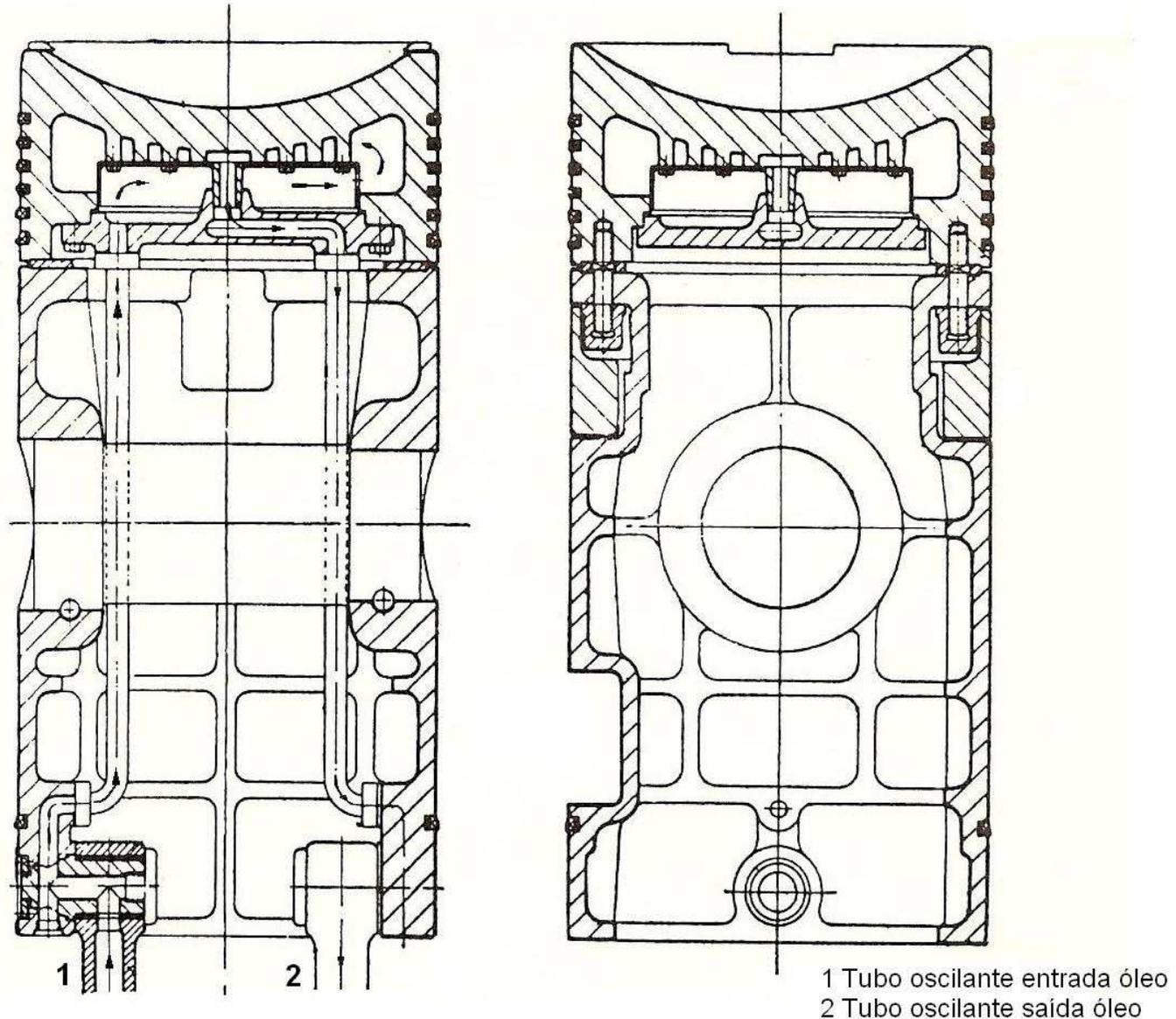
REFRIGERAÇÃO DE ÊMBOLO POR ÁGUA DOCE



Ligação do sistema ao êmbolo por tubos telescópicos

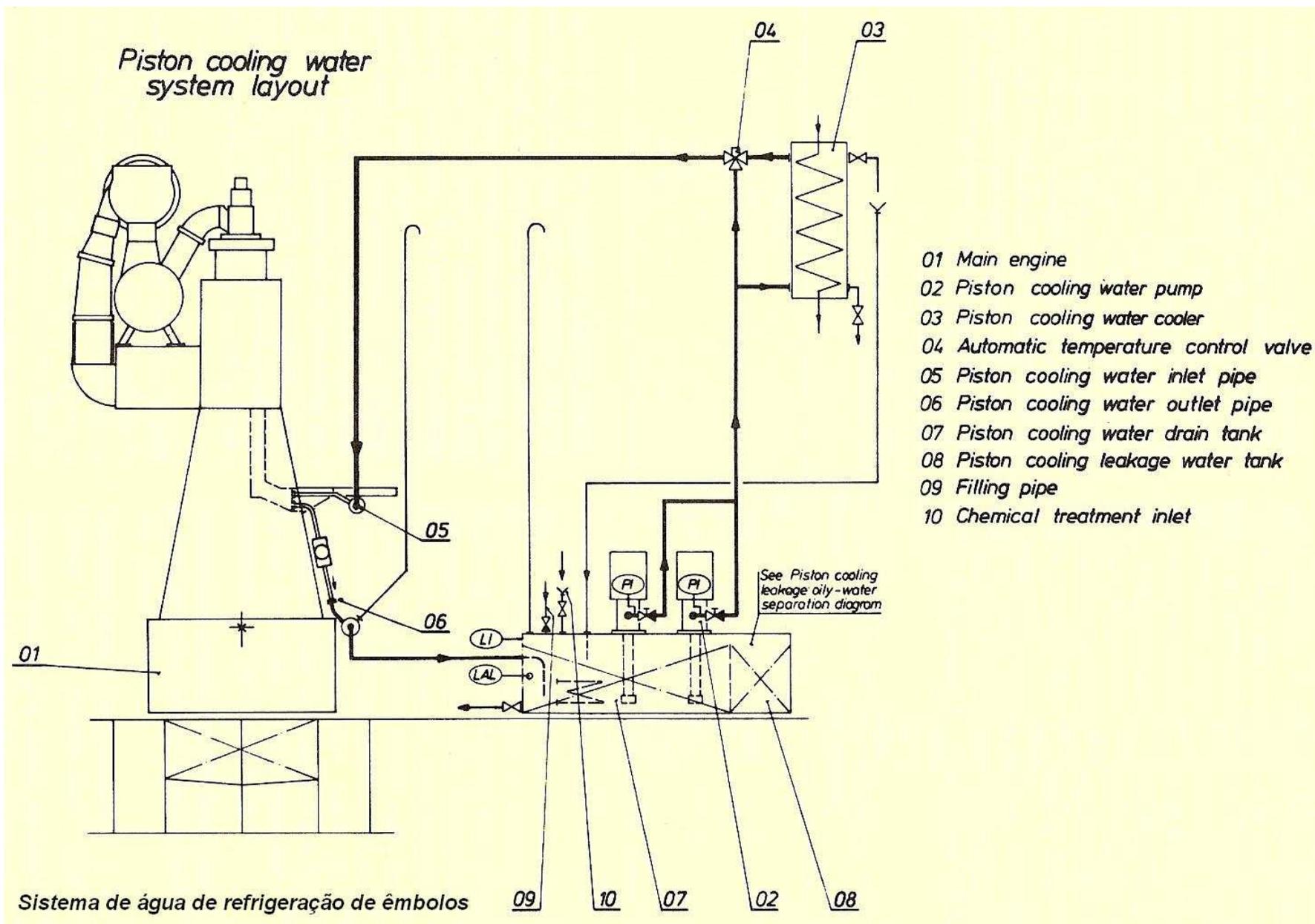
Quando porém, o fluido refrigerante utilizado é o óleo do sistema de lubrificação circulante do motor, as ligações entre a tubagem fixa do sistema e os êmbolos, são efectuadas através de tubos oscilantes tal como pode observar-se na figura.

REFRIGERAÇÃO DE ÊMBOLO PELO ÓLEO DE LUBRIFICAÇÃO DO MOTOR



Ligação do sistema ao êmbolo por tubos oscilantes

Na figura a seguir apresentada pode observar-se um sistema independente de refrigeração dos êmbolos de um motor diesel marítimo de dois tempos com cruzetas cujo um fluido refrigerante é constituído por água doce.



2.3.1 Funcionamento do sistema

Quando o motor está em funcionamento, uma das bombas de circulação aspira a água doce de refrigeração do tanque de serviço e envia-a para o arrefecedor a fim de diminuir a sua temperatura, após o que vai arrefecer os êmbolos, através da circulação nas respectivas câmaras de refrigeração, as quais abandona através de tubos munidos com visores de observação para detectar anomalias, tais como contaminações e fugas da água de refrigeração.

Na saída de cada êmbolo, a água doce de refrigeração é então recolhida por um colector que a envia para o tanque de serviço, tal como pode observar-se na figura anteriormente apresentada. Neste caso não existe um tanque de expansão e compensação específico, pelo que estas funções são desempenhadas pelo tanque de serviço de água de refrigeração do sistema.

A regulação da temperatura da água doce de refrigeração dos êmbolos efectua-se através de uma válvula termostática de três vias, de uma forma similar à descrita para a água doce de refrigeração dos cilindros. A água doce de refrigeração dos êmbolos também é tratada com aditivos, de uma forma semelhante à descrita para a água doce de refrigeração dos cilindros.

A introdução dos produtos para tratamento da água doce de refrigeração é efectuada através do funil e respectiva válvula identificados no sistema com o numero (10), enquanto a compensação da água doce do sistema que se evapora ou perde devido a fugas, é efectuada através do tubo de enchimento e respectiva válvula identificadas no sistema com o numero (9).

O sistema é ainda munido com manómetros indicadores de pressão e alarmes de nível do tanque de serviço de água doce de refrigeração.

O arrefecimento da água doce de refrigeração dos êmbolos é normalmente efectuado pela água do mar ou doce do sistema principal de refrigeração quando passa pelo respectivo arrefecedor.

3 Lubrificação dos motores diesel

3.1 Generalidades

Outrora a lubrificação dos órgãos dos motores, visava sobretudo a redução do atrito por forma a diminuir a energia consumida e a evitar o desgaste dos órgãos lubrificados. Porém no actual estado de desenvolvimento dos motores tal não é suficiente, pelo que os óleos lubrificantes têm de desempenhar as seguintes funções:

Reduzir o atrito mecânico

Minimizar o desgaste dos órgãos a lubrificar

Impedir formação e remover impurezas do sistema de lubrificação

Remover o calor gerado

Proteger os órgãos lubrificados da corrosão e depósitos nocivos

Vedar quando necessário

Os órgãos móveis dos motores diesel marítimos requerem por isso, lubrificação, arrefecimento, limpeza e protecção adequados, de modo a garantir um funcionamento seguro e económico. Para tal utilizam-se sistemas de lubrificação e lubrificantes especialmente concebidos para o tipo de motores a que se destinam.

3.2 Sistemas de lubrificação

No que respeita aos sistemas de lubrificação dos motores diesel, hoje em dia adoptam-se os seguintes:

Sistemas de lubrificação geral por óleo circulante: motores de 4 tempos para lubrificação geral dos seus órgãos, incluindo os cilindros.

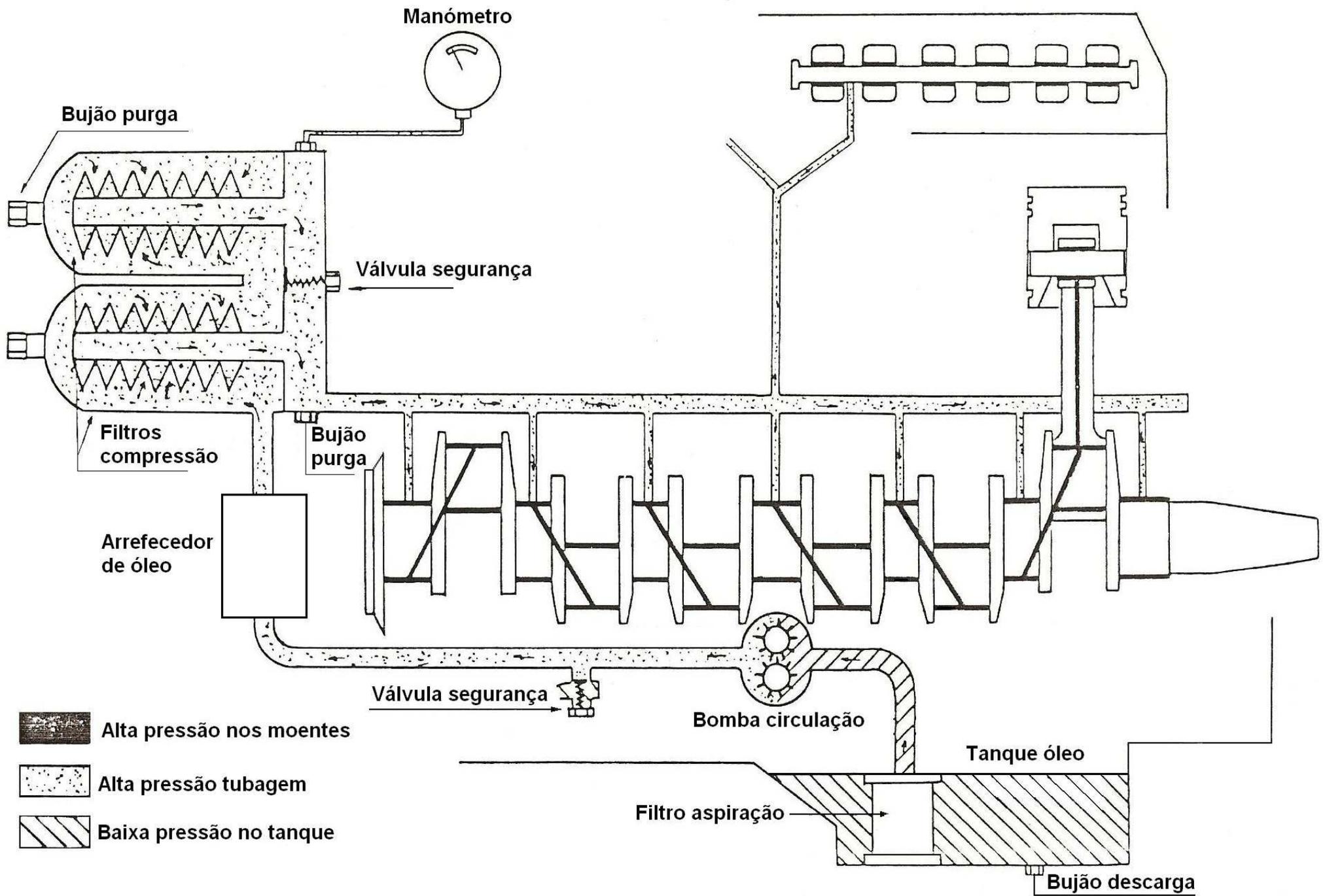
Sistemas de lubrificação parcial por óleo circulante: motores de 2 tempos com cruzeta, para lubrificação geral dos seus órgãos, excluindo os cilindros.

Sistemas independentes de lubrificação dos cilindros: motores de 2 tempos com cruzeta, para lubrificação dos cilindros.

3.2.1 Sistema de lubrificação geral por óleo circulante

Utiliza-se nos motores diesel marítimos de 4 tempos e tal como pode ver-se na figura, a seguir apresentada, é fundamentalmente constituído por: tanque de óleo lubrificante; uma ou mais bombas de circulação de óleo; filtros de aspiração e compressão; arrefecedor de óleo; válvulas reguladoras de pressão e de segurança; manómetros para controlo de pressão e termómetros para controlo das temperaturas do óleo.

As bombas de circulação e os filtros podem existir em duplicado por forma a utilizar um conjunto enquanto o outro está de reserva em **stand-by** ou a limpar. Os filtros de óleo podem ser dotados de mecanismos susceptíveis de permitir a sua limpeza com o motor em funcionamento.



Sistema de lubrificação geral por óleo circulante

3.2.1.1 Funcionamento do sistema

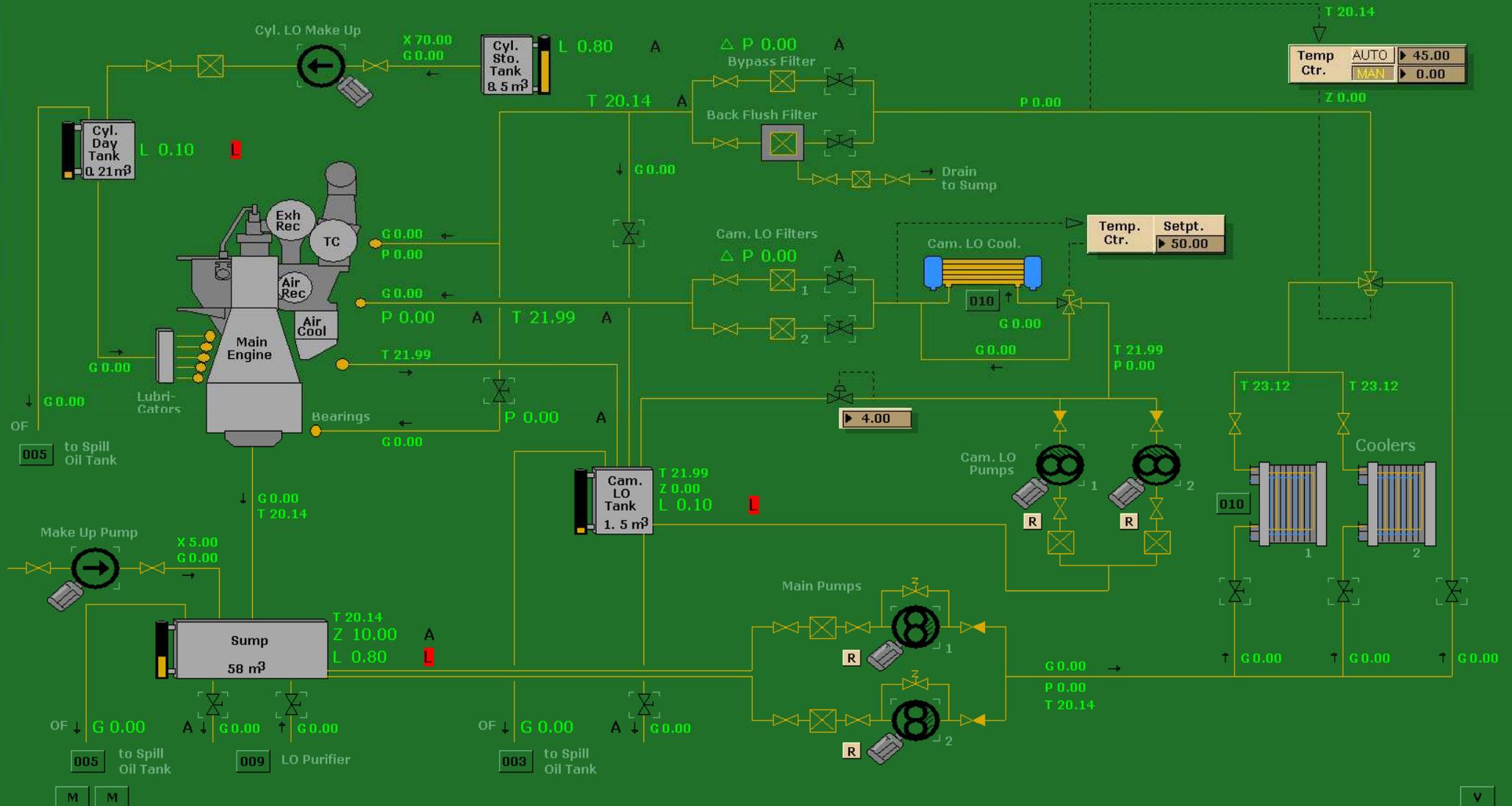
Uma das bombas de circulação aspira o óleo do tanque de serviço através de filtros onde ficam retidas as impurezas de maiores dimensões e enviam-no através da tubagem para o arrefecedor, onde a sua temperatura é ajustada para obter o melhor rendimento do motor.

Após arrefecido o óleo passa através dos filtros de compressão onde ficam retidas as impurezas de menores dimensões, sendo então uma parte do óleo encaminhada para os canais de lubrificação praticados no veio de manivelas e nos tirantes, a fim de lubrificar os munhões de apoio e de manivelas e as respectivas chumaceiras, bem como os cavilhões, camisas e aros.

A outra parte do óleo é por sua vez encaminhada para lubrificar as engrenagens, veios de ressaltos e outros órgãos do sistema de distribuição do motor.

Uma vez efectuada a lubrificação o óleo é recolhido pela câmara de manivelas do motor e retorna ao tanque de serviço a fim de poder recomeçar um novo ciclo de lubrificação que se repete sucessivamente durante o funcionamento do motor.

ME Lubrication Oil System



T01350 [20.14 degC]: Main LO temp inlet ME

3.2.1.2 Óleos para os sistemas de lubrificação geral por óleo circulante

Utilizam-se para efectuar a lubrificação geral dos motores diesel marítimos de quatro tempos de média e alta velocidade, equipados com êmbolos mergulhantes. Os motores de média velocidade são utilizados hoje em dia na propulsão e serviços auxiliares dos navios, enquanto os de alta velocidade apenas são usados nos serviços auxiliares.

Contudo o constante aumento das pressões e temperaturas de combustão, tem sucessivamente colocado exigências mais severas aos óleos lubrificantes. A passagem de produtos de combustão através dos feixes elásticos permite introduzir contaminantes no óleo, tais como fuligem, cinzas, ácidos e hidrocarbonetos oxidados.

As coroas dos êmbolos, os aros e as caixas de alojamento, devido às fugas de gases ficam igualmente expostos a temperaturas muito elevadas, que provocam a decomposição térmica do óleo de lubrificação, a qual pode originar a formação de lacas e depósitos de carvão.

Em consequência, ocorre o desgaste destes órgãos e sobretudo dos aros pelo que se verifica a passagem de gases para a parte inferior do êmbolo através do feixe elástico (**blow by**).

Por outro lado, o óleo lubrificante também tem de suportar as condições de funcionamento severas, resultantes do facto destes motores consumirem cada vez mais, combustíveis de pior qualidade, pelo que lhe são exigidos diferentes níveis de **TBN**, consoante os teores de enxofre destes.

Requisitos dos óleos lubrificantes:

Bom controlo do desgaste

Estabilidade térmica e contra a oxidação

Controlo de depósitos

Protecção das chumaceiras da corrosão

Boa detergência e dispersância

Manutenção da alcalinidade

Boa tolerância à água

Inibidores de ferrugem

Filtrabilidade

Tendência futura:

Controlo do aumento de depósitos

Controlo do aumento do desgaste

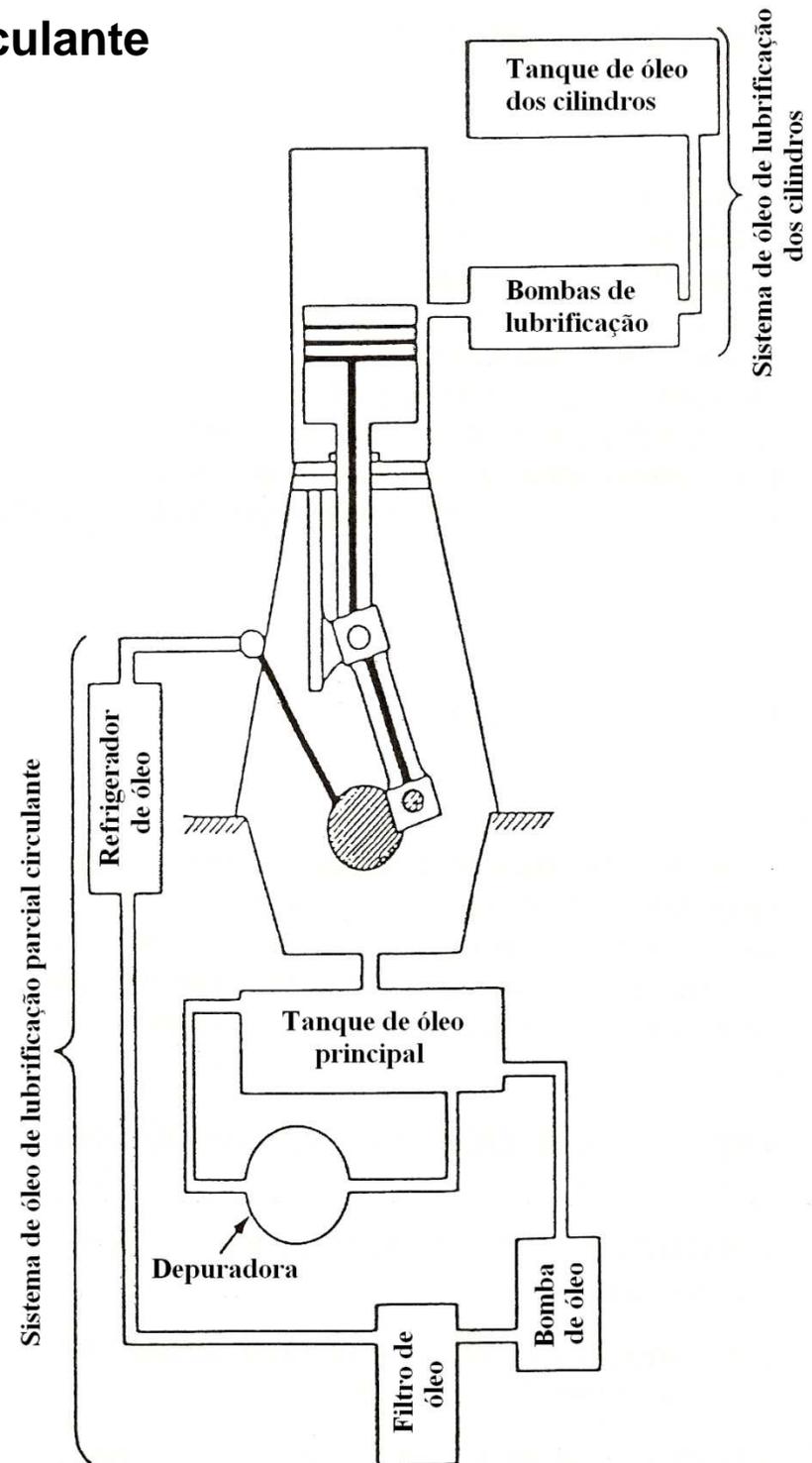
Manutenção das capacidades de depuração

Os níveis de TBN da ordem dos 40 ou mais e tenderão a aumentar à medida que diminuir a qualidade do combustível

3.2.2 Sistema de lubrificação parcial por óleo circulante

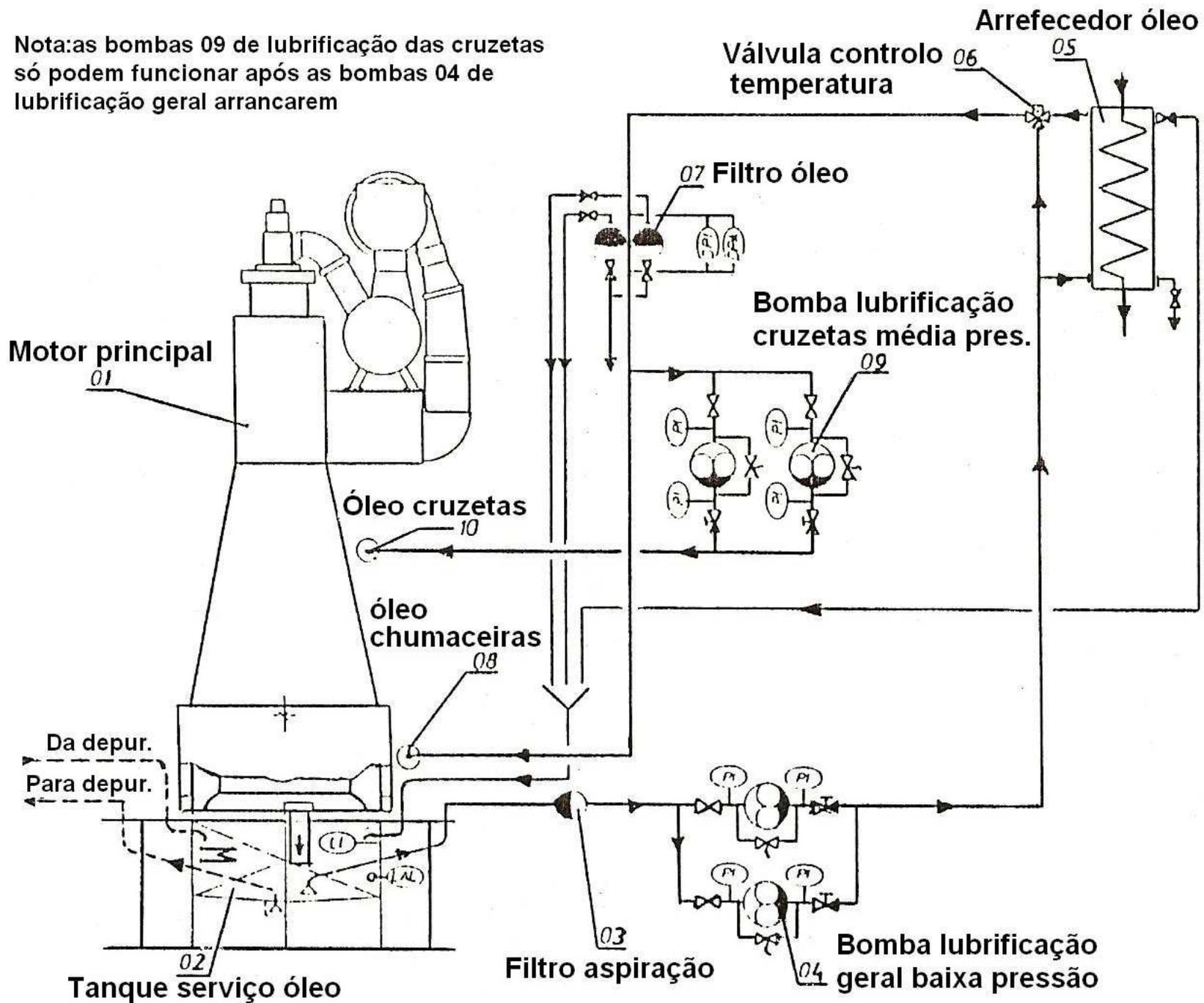
Este sistema de lubrificação é por norma utilizado nos motores diesel principais de dois tempos com cruzetas que equipam os navios mercantes de maiores dimensões, para lubrificação geral dos seus órgãos excluindo os cilindros, êmbolos e aros.

Tal como pode ver-se na figura, ao lado apresentada, estes motores adoptam um sistema independente para a lubrificação dos cilindros, êmbolos e aros, o qual utiliza um óleo de lubrificação diferente do utilizado na lubrificação dos restantes órgãos dos motores de dois tempos com cruzetas.



O sistema é basicamente constituído pelos elementos apresentados e identificados na figura.

Nota: as bombas 09 de lubrificação das cruzetas só podem funcionar após as bombas 04 de lubrificação geral arrancarem



No fundamental é semelhante ao sistema de lubrificação geral por óleo circulante, muito embora seja um pouco mais complexo dado o maior número de elementos que o constituem.

As bombas de circulação são sempre independentes e tal como os filtros e os arrefecedores existem em duplicado por forma a utilizar um conjunto enquanto o outro está de reserva, em **stand-by** ou a limpar. Existem vários tipos de filtros de óleo, incluindo os magnéticos, os quais podem ser dotados de mecanismos susceptíveis de permitir a sua limpeza com o motor em funcionamento.

Alguns destes sistemas, tal como o apresentado anteriormente, são dotados com bombas de lubrificação geral de baixa pressão, as quais fornecem óleo para lubrificação das chumaceiras, engrenagens, etc., bem como para a alimentação das bombas de lubrificação das cruzetas de média pressão.

Como pode ver-se na figura, o óleo pode ser aquecido no tanque de serviço, bem como purificado através de uma depuradora de óleo lubrificante.

3.2.2.1 Funcionamento do sistema

Uma das bombas de lubrificação geral de baixa pressão aspira o óleo do tanque de serviço através de filtros onde ficam retidas as impurezas de maiores dimensões e enviam-no através da tubagem para um dos arrefecedores, onde a sua temperatura é ajustada para obter o melhor rendimento do motor.

Após arrefecido o óleo passa pelos filtros de compressão onde ficam retidas as impurezas de menores dimensões, sendo então uma parte do óleo encaminhada para os canais de lubrificação praticados no veio de manivelas, a fim de lubrificar os munhões de apoio e de manivelas e as respectivas chumaceiras, bem como engrenagens, veios de ressaltos e outros órgãos e que necessitem de lubrificação.

A outra parte do óleo é por sua vez encaminhada para alimentar as bombas de lubrificação das cruzetas de média pressão, a fim de lubrificar as chumaceiras das cruzetas e as plainas e respectivas guias de deslizamento instaladas nas colunas do motor.

Uma vez efectuada a lubrificação, o óleo escorre para a câmara de manivelas, a fim de retornar ao tanque de serviço e poder recomeçar um novo ciclo de lubrificação que sucessivamente se vai repetindo durante o funcionamento do motor.

3.2.2.2 Óleos para o sistema de lubrificação parcial por óleo circulante

São normalmente utilizados para lubrificar todos os órgãos móveis dos motores diesel marítimos com cruzeta, excepto as camisas dos cilindros, êmbolos e aros. Para o efeito, cada cilindro é separado da respectiva câmara de manivelas através de um diafragma e de um bucim por onde passa a haste do êmbolo.

É necessário por isso assegurar o bom estado deste sistema de vedação, a fim de evitar que o óleo de circulação seja contaminado quer pelos produtos de combustão quer pelo óleo usado para lubrificar os cilindros.

Os óleos utilizados no sistema de lubrificação parcial por óleo circulante têm de satisfazer os seguintes requisitos:

Lubrificar as chumaceiras, engrenagens, etc.

Refrigerar quando necessário os êmbolos

Garantir a limpeza do motor

Proteger os órgãos lubrificados da corrosão

Capacidade de filtragem

Facilidade de separação da água

Lubrificar o equipamento auxiliar

Boa estabilidade térmica

Dado as chumaceiras das cruzetas serem as mais severamente sujeitas a esforços de carga, os óleos de lubrificação utilizados nos sistemas de lubrificação parcial por óleo circulante, devem por isso possuir uma viscosidade adequada à lubrificação hidrodinâmica e ao esmagamento a que o óleo é submetido, bem como propriedades especiais de suporte de carga a fim de protegerem as chumaceiras em caso de ocorrência de contacto **metal-metal**.

3.2.3 Sistema independente de lubrificação dos cilindros

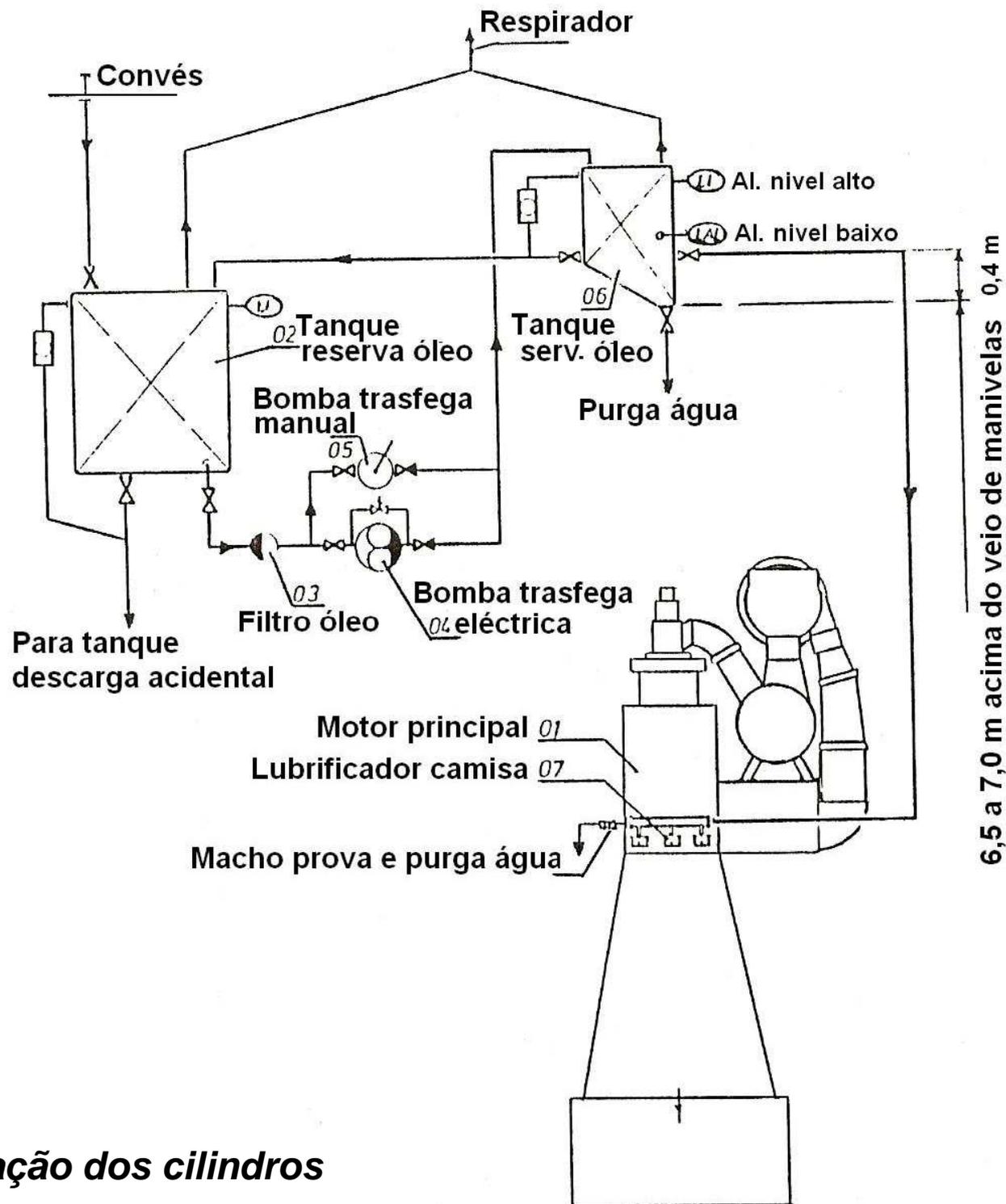
Como já vimos, trata-se de um sistema de lubrificação que apenas se utiliza nos motores diesel de dois tempos com cruzetas. Ao contrário dos anteriores, trata-se de um sistema aberto em que o óleo apenas cumpre um ciclo de trabalho, durante o qual tem de efectuar as seguintes funções:

Lubrificar as camisas, êmbolos e aros de forma a minimizar o desgaste abrasivo;

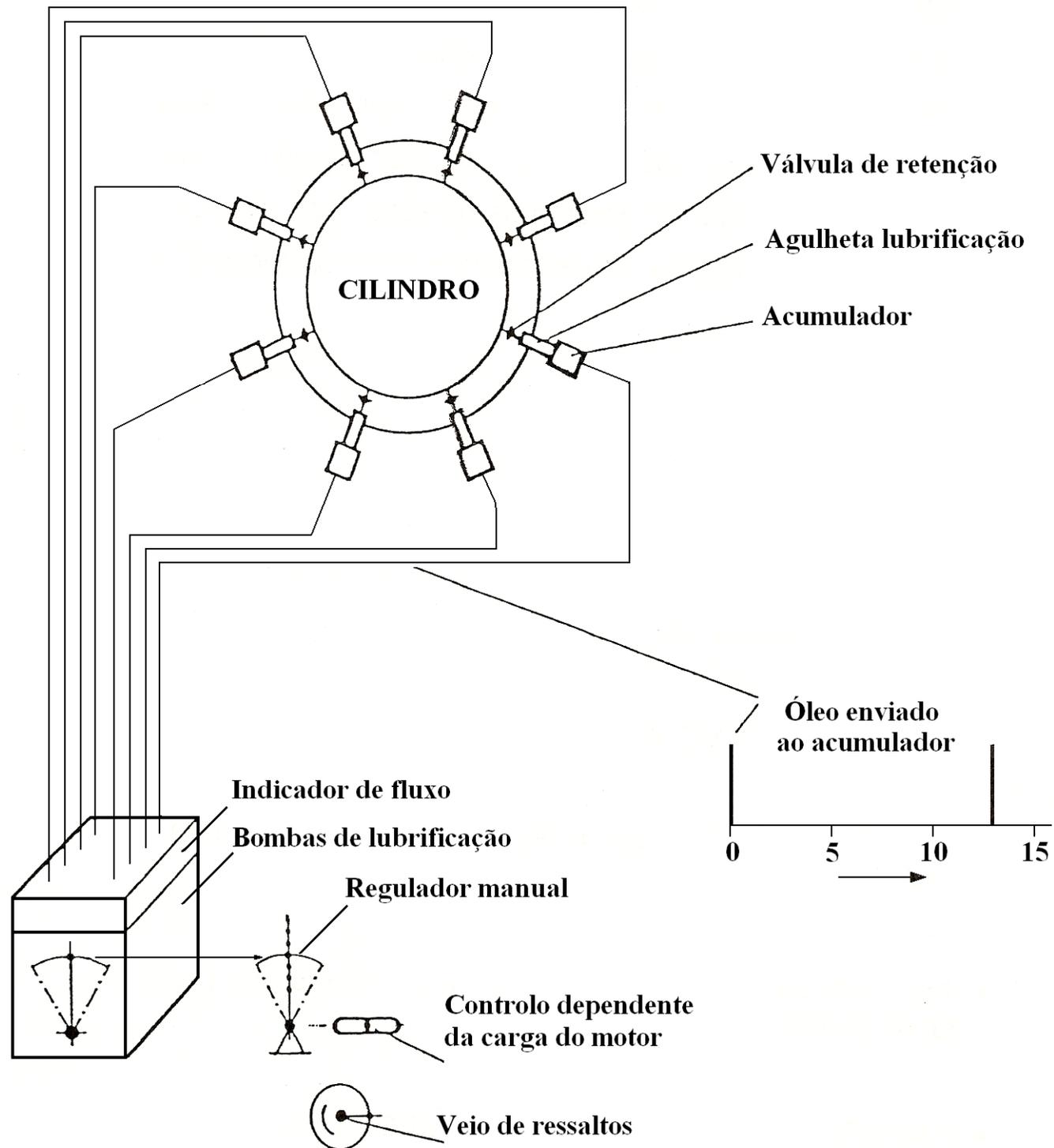
Neutralizar o mais possível a acção corrosiva que os ácidos resultantes da combustão do enxofre e vanádio contidos nos combustíveis pesados queimados por este tipo de motores, exercem sobre as camisas, aros e êmbolos, através da prevalência básica da sua composição caracterizada pelo seu elevado *TBN*.

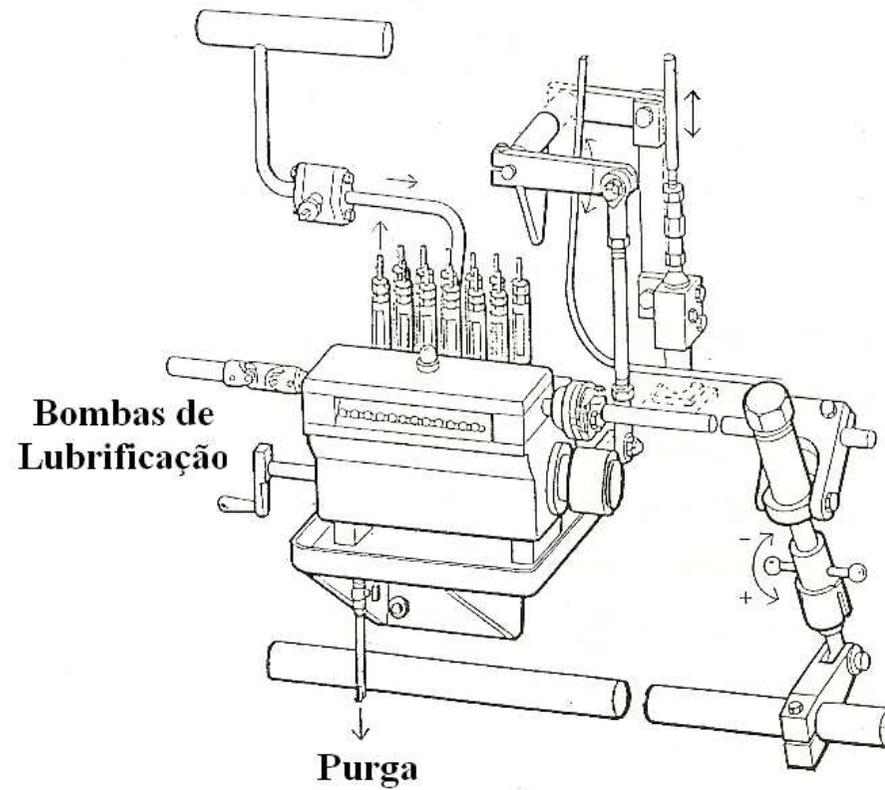
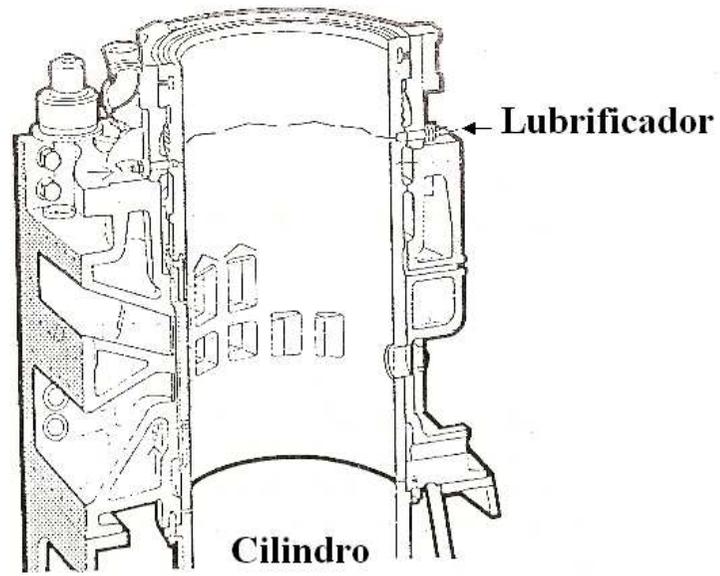
O óleo de lubrificação é introduzido por meio de lubrificadores mecânicos, em canais implantados em várias zonas da face interior das camisas, a fim de numa primeira fase efectuar a lubrificação destas, dos êmbolos e respectivos aros, e numa segunda fase neutralizar os ácidos resultantes da combustão do enxofre e vanádio contidos pelos combustíveis, após o que é queimado e evacuado juntamente com os gases de evacuação.

Na figura apresenta-se um sistema independente, típico de lubrificação dos cilindros de um motor diesel de dois tempos com cruzetas.



Sistema independente de lubrificação dos cilindros





3.2.3.1 Funcionamento do sistema

O método de aplicação do óleo lubrificante de cilindros varia de acordo com o tipo de motor. O sistema convencional utiliza normalmente bombas de alimentação accionadas por veios de ressaltos, concentradas numa unidade ou distribuídas por várias. Estas enviam pequenas quantidades de lubrificante através de tubos de pequeno diâmetro para os lubrificadores instalados em furos que atravessam as paredes das camisas dos cilindros, que por sua vez alimentam os canais de lubrificação implantados na superfície interior das mesmas.

3.2.3.2 Óleos para o sistema independente de lubrificação dos cilindros

Os motores diesel marítimos de dois tempos com cruzeta, requerem uma adequada lubrificação dos cilindros, a fim de garantir um eficiente funcionamento, devendo por isso o óleo satisfazer os seguintes requisitos:

Reduzir o desgaste das camisas, êmbolos e aros

Manter a limpeza e contribuir para a vedação do feixe elástico

Combater o desgaste corrosivo dos ácidos da combustão

Evitar a formação de depósitos e sua deposição no sistema

Evitar a formação de gomas

Proteger da corrosão os órgãos lubrificados

Possuir boa capacidade de separação da água

4 Alimentação de ar dos motores diesel

Para que um motor diesel, independentemente do tipo do seu ciclo de funcionamento, possa funcionar com bom rendimento, é indispensável que seja fornecida a cada um dos cilindros a carga de ar ajustada à potência que desenvolve, única forma de assegurar a combustão completa do combustível que para o efeito é introduzido nos mesmos na fase final de compressão do ar, em doses que não devem diferir em mais de 3% entre os cilindros, a fim de que o funcionamento do motor seja equilibrado.

Para introduzir no cilindro uma nova carga de ar fresco para a realização de um novo ciclo, é condição indispensável efectuar previamente uma boa evacuação dos gases de combustão do ciclo anterior.

A fim de melhorar a evacuação dos gases do cilindro, procura-se aproveitar o efeito benéfico do **Cruzamento de Válvulas dos motores de quatro tempos**, bem como da **Lavagem dos motores de dois tempos**, razões que explicam a forte interdependência entre os sistemas de alimentação de ar e de evacuação de gases dos actuais motores diesel.

O fornecimento do ar necessário ao funcionamento do motor diesel, é efectuado através do **Sistema de Alimentação de Ar**, o qual é constituído por um conjunto de elementos que variam em função do número de tempos do motor e do grau de sobrealimentação do mesmo, tal como veremos já a seguir.

4.1 Sistemas de alimentação de ar

4.1.1 Sistemas de alimentação de ar do motor diesel de 4 tempos

São fundamentalmente constituídos pelos seguintes elementos:

Filtros de ar: nas entradas dos colectores de admissão dos motores atmosféricos; na aspiração dos compressores de ar dos **motores sobrealimentados**

Turbocompressores: equipamentos constituídos por compressores centrífugos accionados por turbinas a gás impulsionadas pelos gases de evacuação dos **motores sobrealimentados**;

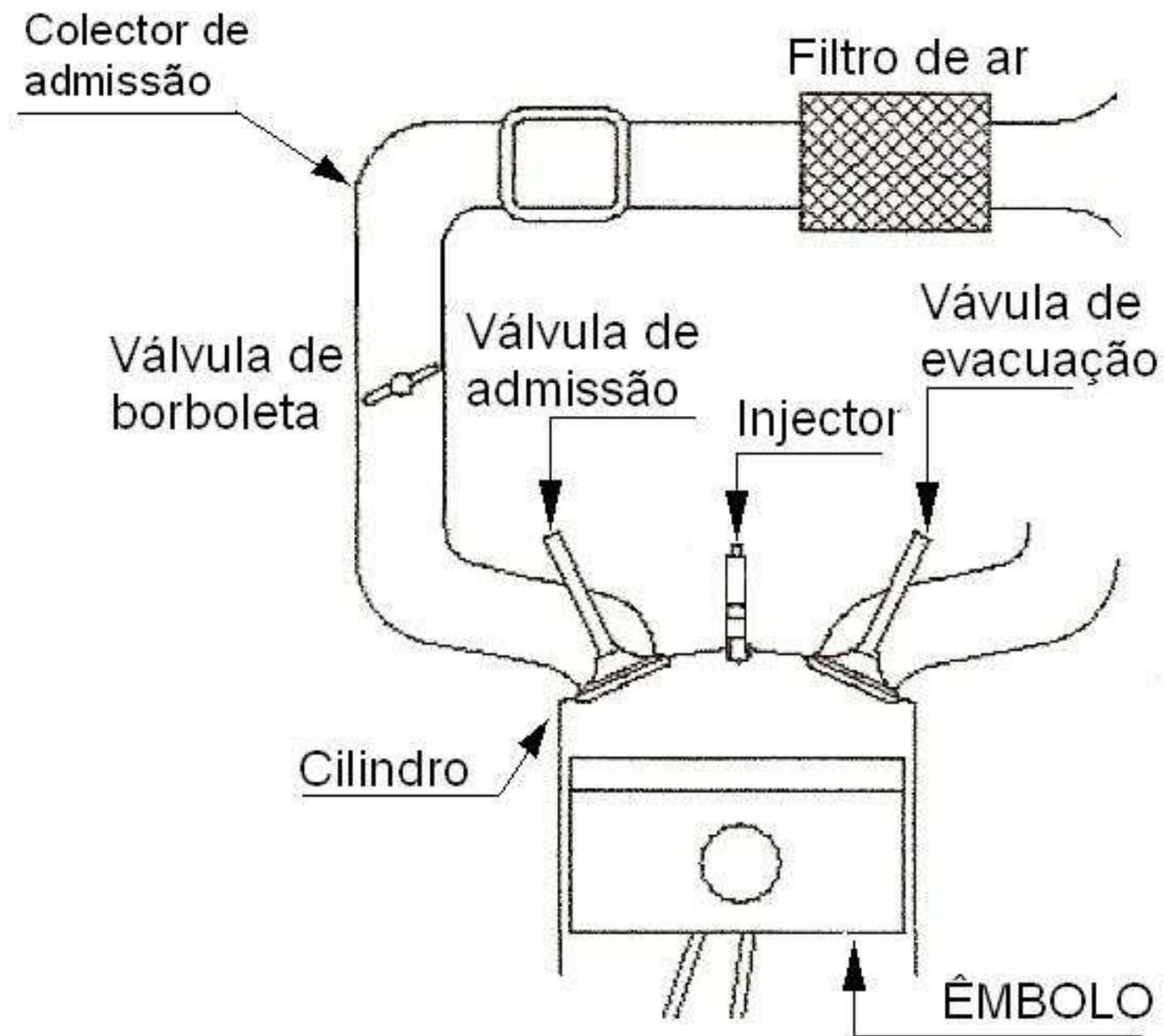
Arrefecedores de ar: entre os turbocompressores e o colector de ar de admissão dos **motores sobrealimentados**;

Colector de ar de admissão: entre os filtros de ar e os cilindros do **motor atmosférico**; entre os arrefecedores de ar e os cilindros no **motor sobrealimentado**

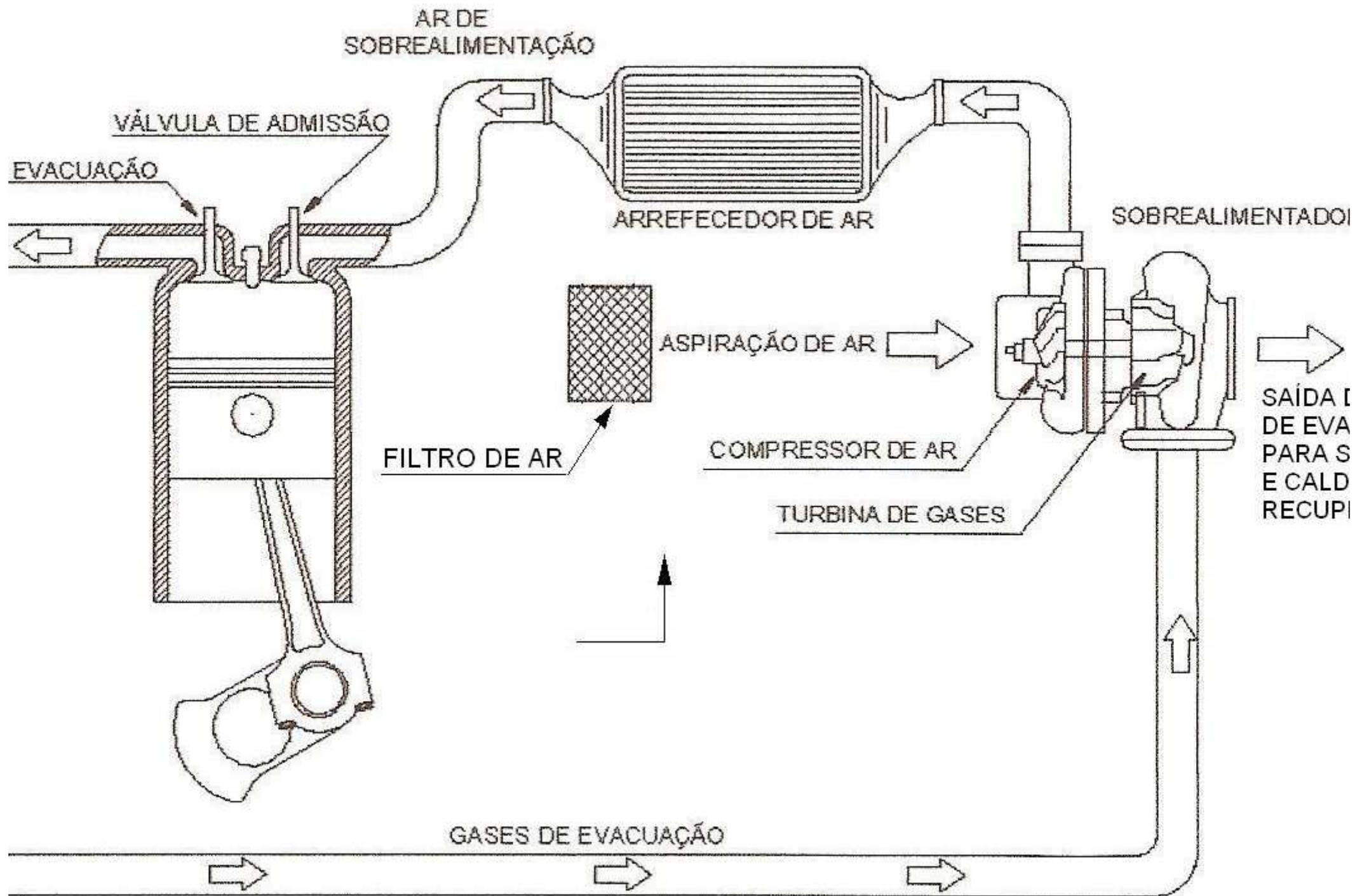
Válvulas de admissão: nas cabeças dos cilindros do **motor atmosférico e sobrealimentado**

Portanto, as principais diferenças no que respeita à constituição dos sistemas de alimentação de ar, entre o motor diesel atmosférico e sobrealimentado de quatro tempos, consistem no facto deste último ser dotado com um ou mais turbocompressores e respectivos arrefecedores de ar, tal como pode ver-se nas figuras apresentadas.

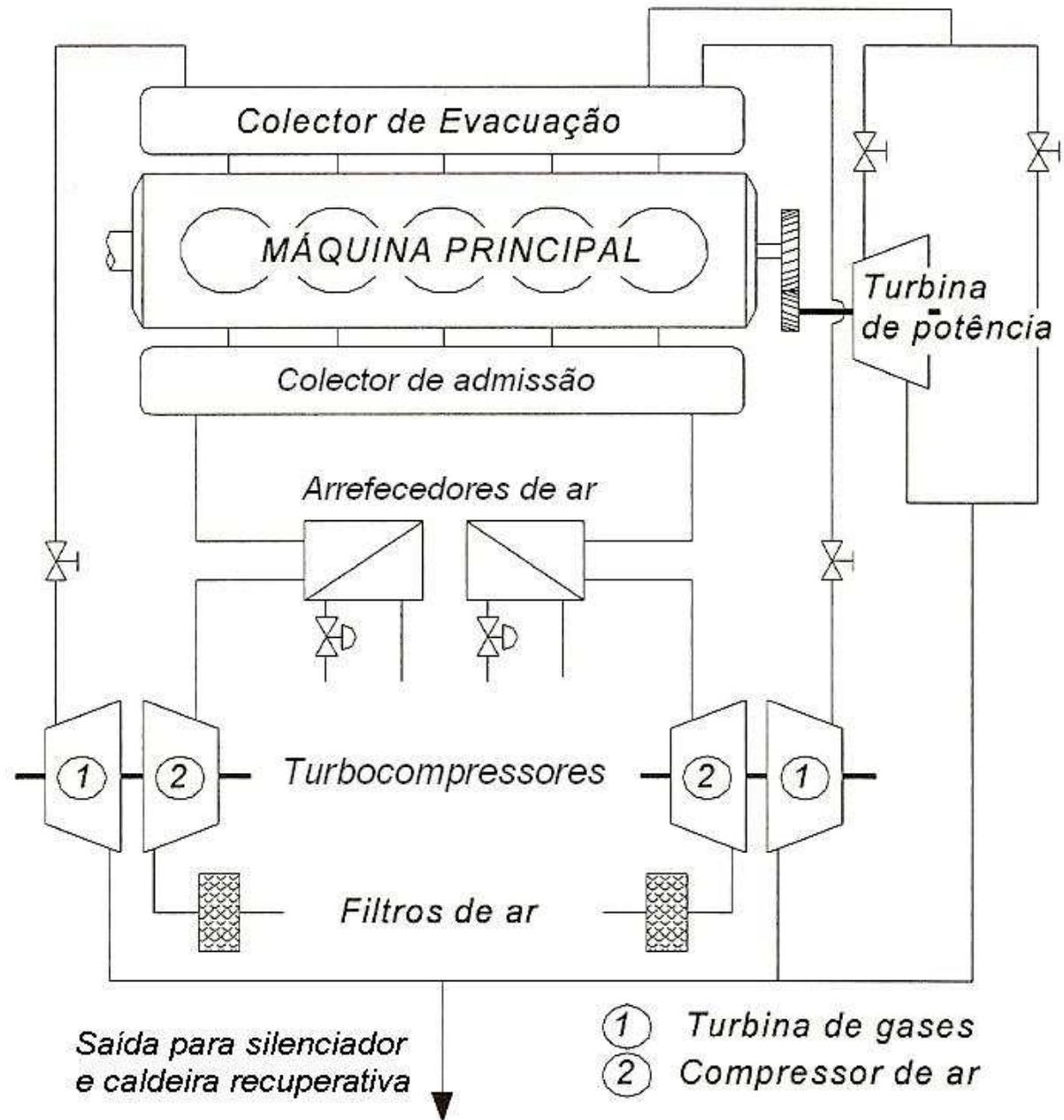
MOTOR DIESEL DE 4 TEMPOS ATMOSFÉRICO



Sistema de alimentação de ar



MOTOR DIESEL DE 4 TEMPOS SOBREALIMENTADO



Sistemas de alimentação de ar e de evacuação de gases

4.1.1.1 Funcionamento dos sistemas de alimentação de ar do motor diesel de 4 tempos

No que respeita à alimentação de ar deste tipo de motores, podemos considerar as seguintes situações:

Motor atmosférico ou de aspiração normal: o ar é aspirado da atmosfera envolvente do motor, através dos filtros montados no colector de admissão, devido à depressão provocada pelo movimento descendente do êmbolo no interior do cilindro durante a fase de admissão, pelo que o rendimento volumétrico pode não ser elevado. Este tipo de motor é cada vez menos utilizado, dadas as vantagens que a sobrealimentação proporciona.

Motor sobrealimentado: o ar é aspirado da atmosfera envolvente do motor através de filtros montados no turbocompressor, devido à depressão provocada pela elevada velocidade de rotação do rotor do compressor centrífugo. Este aumenta a energia cinética do ar a fim de ser transformada em pressão ao ser descarregado numa conduta divergente, podendo atingir uma temperatura elevada ($> 150\text{ }^{\circ}\text{C}$), pelo que para aumentar a sua densidade e conseqüentemente a massa de ar introduzida nos cilindros, passa através de arrefecedores para baixar a temperatura a um valor conveniente ($> 45\text{ }^{\circ}\text{C}$), por forma a evitar condensações nas paredes das camisas.

4.1.2 Sistemas de alimentação de ar do motor diesel de 2 tempos

Os actuais motores diesel marítimos de dois tempos, são todos sobrealimentados, pelo que o sistema de alimentação de ar, é em regra constituído pelos seguintes elementos:

Filtros de ar: incorporados na aspiração dos compressores de ar centrífugos;

Sobrealimentadores: compressores de ar centrífugos accionados por turbinas a gás impulsionadas pelos gases de evacuação do motor;

Arrefecedores de ar: entre os sobrealimentadores e o colector de ar de lavagem;

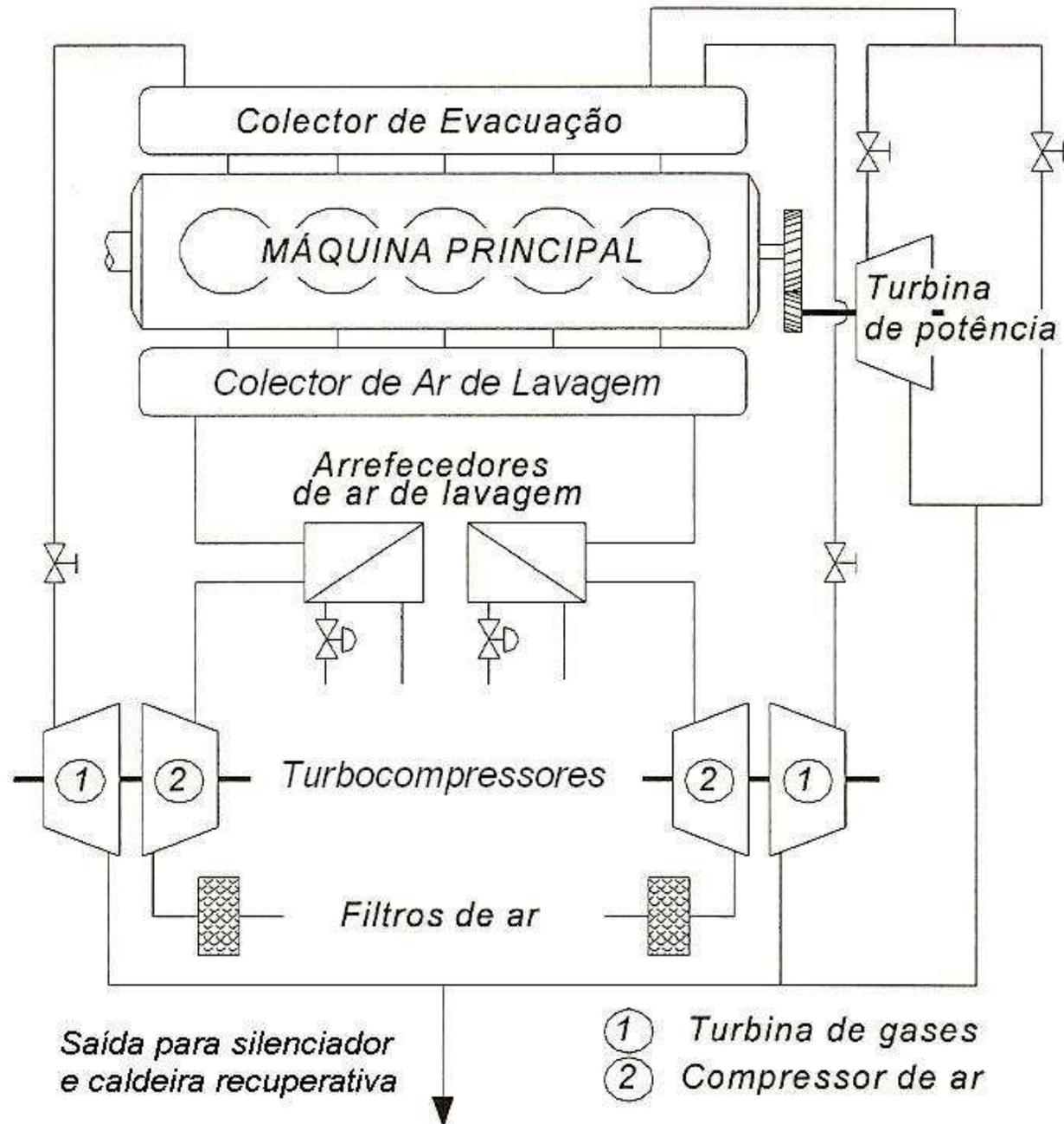
Colector de ar de lavagem: entre os arrefecedores de ar e os cilindros, ligado aos orifícios de entrada de ar nos cilindros;

Bombas de ar de lavagem: actualmente em desuso, mas ainda existentes nos motores mais antigos, são constituídas pela parte inferior de cada cilindro do motor e respectivo êmbolo ou por cilindros e êmbolos próprios montadas lateralmente, mas igualmente accionados pelo motor;

Compressores centrífugos auxiliares: usadas nos motores modernos, accionados por motores eléctricos e fixados no colector de ar de lavagem, em substituição das bombas de ar de lavagem convencionais;

Janelas ou orifícios das camisas: praticadas a flanco em parte ou em toda a periferia da parte inferior das camisas dos cilindros ;

MOTOR DIESEL DE 2 TEMPOS SOBREALIMENTADO



Sistemas de alimentação de ar e de evacuação de gases

MOTOR DIESEL DE 2 TEMPOS SOBREALIMENTADO



Camisa com janelas para lavagem longitudinal

4.1.2.1 Funcionamento dos sistemas de alimentação de ar do motor diesel de 2 tempos

A forma como estes sistemas operam depende do valor do seu contributo para a expulsão dos gases dos cilindros, isto é, do tipo de lavagem adoptada pelo motor. Dado que todos os motores deste tipo são hoje em dia sobrealimentados, temos de considerar duas situações inerentes ao regime de operação do motor, que são:

A fase de arranque e baixo regime de operação, em que o rendimento dos turbocompressores é muito baixo e por isso são incapazes de fornecer aos cilindros o ar necessário para assegurar o funcionamento do motor, pelo que a sua acção tem de ser complementada pelo funcionamento em paralelo de bombas de ar de lavagem accionadas mecanicamente pelo próprio motor, caso dos motores mais antigos, ou por compressores centrífugos auxiliares accionados por motores eléctricos, tal como se verifica nos motores modernos.

A fase de pleno funcionamento, em que os turbocompressores atingem o máximo rendimento, e por isso são não só capazes de fornecer ao motor todo o ar de que necessita, como ainda têm um desempenho de tal modo elevado, que lhes permite dispensar uma parte do fluxo de gases de evacuação, a qual pode por isso ser utilizada para alimentar uma turbina a gás de potência capaz de recuperar parte da sua energia, para aumentar a potência do motor ou produzir energia eléctrica.

Na fases de arranque e de baixos regimes, o ar é aspirado da atmosfera envolvente do motor, através de filtros montados nos turbocompressores, devido à depressão provocada pelas bombas de ar de lavagem ou pelos compressores auxiliares e pelos turbocompressores, sendo depois comprimido e enviado aos arrefecedores. Nestes o ar é arrefecido para temperaturas até 45 °C a fim de por um lado aumentar a massa de ar introduzida nos cilindros do motor e por outro evitar as possíveis condensações de vapor de água nas paredes das camisas.

Na fase de pleno funcionamento, o ar é aspirado apenas pelos turbocompressores, podendo à saída destes atingir pressões superiores a 3 bar e temperaturas superiores a 150 °C.

Após passar pelos arrefecedores, vulgarmente designados por arrefecedores de ar de lavagem, o ar é descarregado no colector de admissão, vulgarmente designado por colector de ar de lavagem, a fim de ser introduzido nos cilindros do motor pelas janelas de admissão, vulgarmente designadas por janelas de ar de lavagem.

A forma como o ar é introduzido nos cilindros e o percurso que segue no seu interior para efectuar a evacuação dos gases, depende do tipo de lavagem adoptada pelo motor, o qual influencia as dimensões e forma geométrica das janelas de admissão bem como a sua disposição e distribuição nas paredes dos cilindros, tal como veremos seguidamente quando descrevermos os vários tipos de lavagem.

4.1.2.2 Lavagem dos motores de 2 tempos

Como já vimos, nos motores diesel de 2 tempos, a evacuação dos gases do cilindro do ciclo anterior, é efectuada por meio do designado **ar de lavagem**, o qual é introduzido no cilindro juntamente com o ar necessário à combustão, durante a fase do ciclo em que os orifícios de admissão e de evacuação estão simultaneamente abertos.

Tal decorre do facto do princípio de funcionamento destes motores, implicar que para cada novo ciclo seja introduzida em cada um dos cilindros, uma carga de ar em excesso relativamente às necessidades reais da combustão, a fim de que uma parte do ar introduzido seja utilizada para expulsar do cilindro, os gases residuais do ciclo anterior.

A **Lavagem** é portanto, a operação efectuada pelos motores de dois tempos, durante o período do ciclo em que as janelas de admissão e as janelas ou a válvula de evacuação do cilindro estão simultaneamente abertas, para permitir que uma parte do ar novo introduzido para o ciclo seguinte efectue a evacuação dos gases do ciclo anterior. Para o efeito, uma parte do ar novo introduzido no cilindro, mistura-se com os gases de evacuação do ciclo anterior e abandona o cilindro juntamente com estes, sendo por isso vulgarmente designado por ar de lavagem.

4.1.2.2.1 Tipos básicos de lavagem

Os motores diesel marítimos de 2 tempos podem utilizar os três tipos básicos de lavagem a saber:

Transversal ou cruzada (motores com baixa relação L/D)

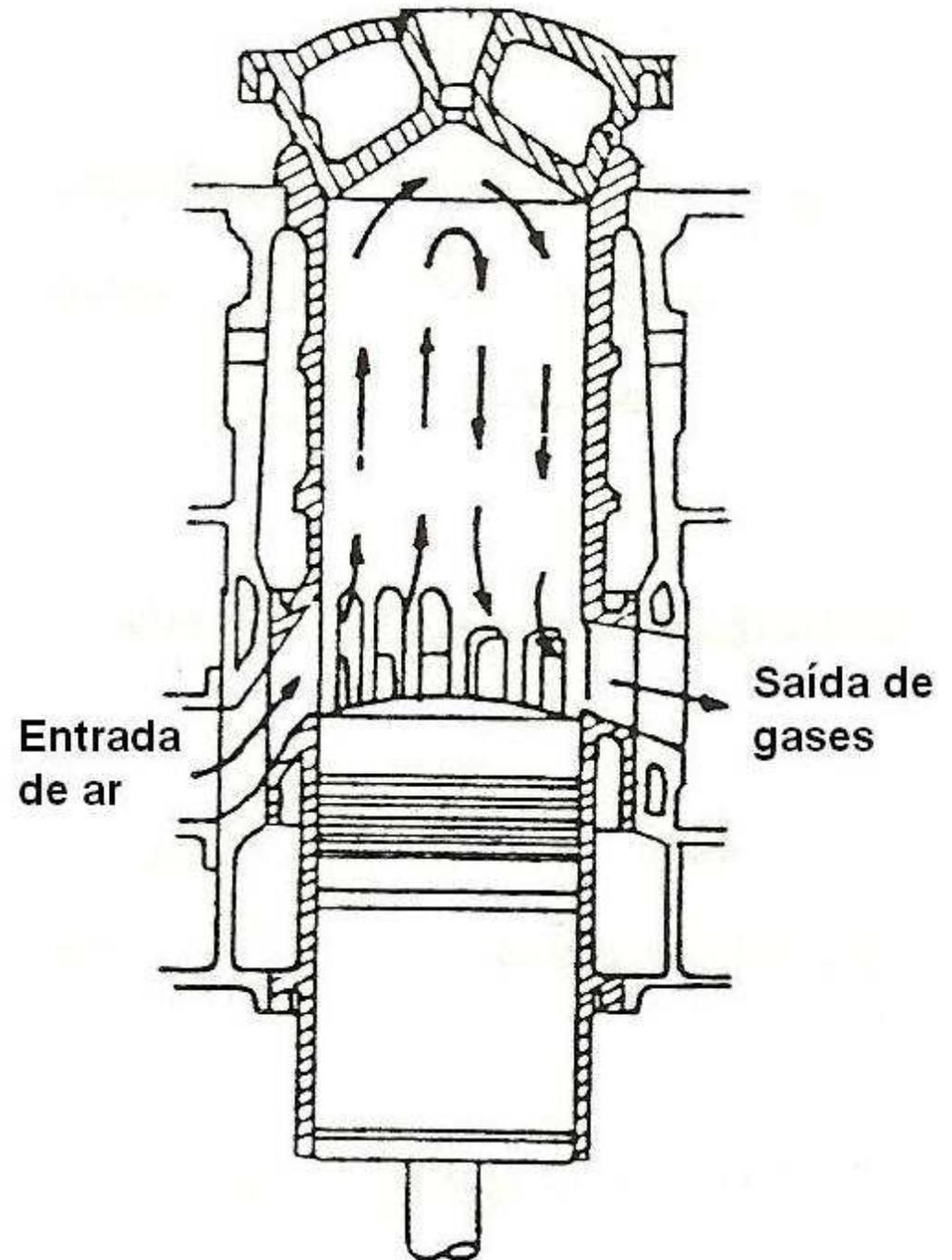
Em laço ou em câmara fechada (motores com baixa relação L/D)

Longitudinal ou equicorrente, unifluxo, unidireccional (motores com elevada relação L/D)

Muito embora ainda seja possível encontrar motores dotados com quaisquer destes tipos básicos de lavagem, actualmente apenas se fabricam motores diesel marítimos de dois tempos, com lavagem longitudinal, por ser a que na actual fase de desenvolvimento destes motores proporciona o melhor desempenho.

Lavagem transversal ou cruzada

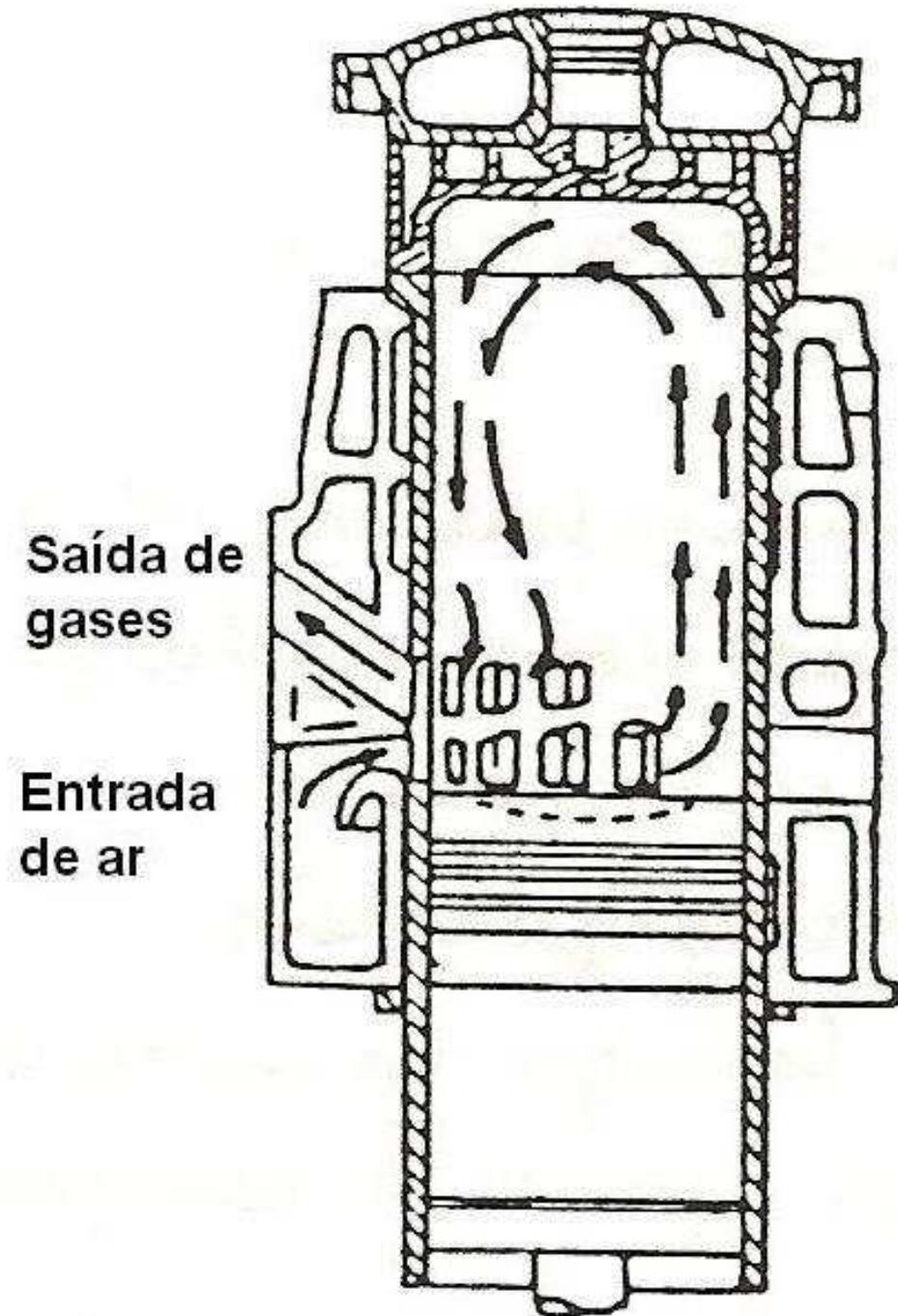
O ar de lavagem entra no cilindro pelas janelas de admissão, situadas na parte inferior da parede da camisa em cerca de metade do seu perímetro, dirige-se para a parte superior, inverte o movimento e sai do cilindro juntamente com os gases de evacuação, pelas janelas de evacuação situadas também na parte inferior da parede da camisa, mas no lado oposto às de admissão, tal como pode ver-se na figura.



Motor diesel com lavagem transversal

Lavagem em laço ou em câmara fechada

O ar de lavagem entra pelas janelas de admissão situadas sob as de evacuação na parte inferior da camisa em cerca de metade do seu perímetro, sobe de modo a formar um laço ou uma câmara fechada no interior do cilindro e sai juntamente com os gases do cilindro através das janelas de evacuação, tal como pode ver-se na figura.

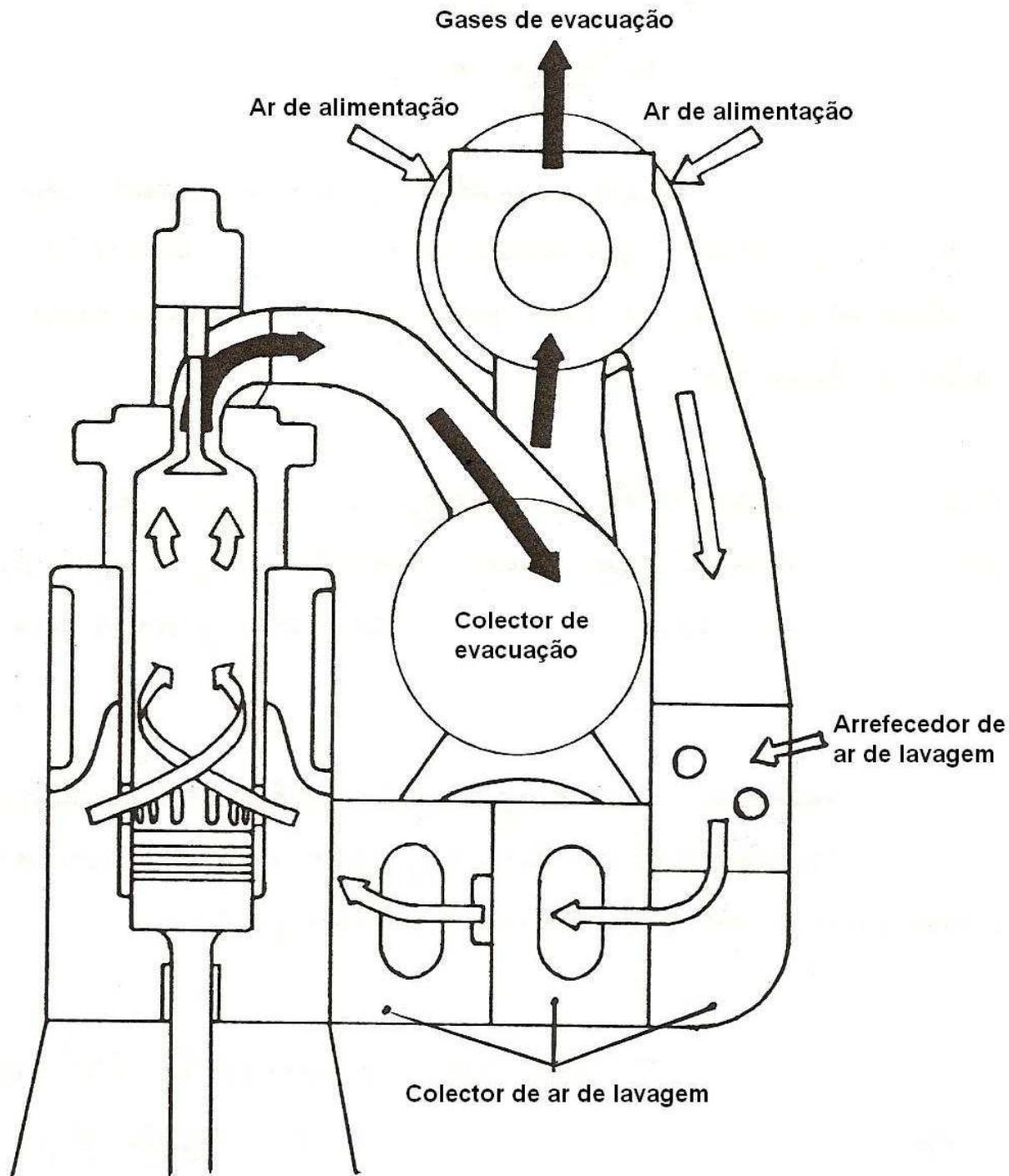


Motor diesel com lavagem em laço

Lavagem longitudinal

Este tipo de lavagem é o único que hoje em dia é utilizado pelos modernos motores diesel marítimos de dois tempos, por ser o que permite um melhor desempenho.

Tal como pode ver-se na figura, o ar de lavagem entra no cilindro pelas janelas de admissão situadas na parte inferior da camisa em todo o seu perímetro, forma um turbilhão durante o movimento ascendente, mistura-se com os gases de evacuação e sai juntamente com estes, do cilindro, através da válvula de evacuação inserida no centro da cabeça deste.



Motor diesel de 2 tempos com lavagem longitudinal

MOTOR DIESEL DE 2 TEMPOS SOBREALIMENTADO

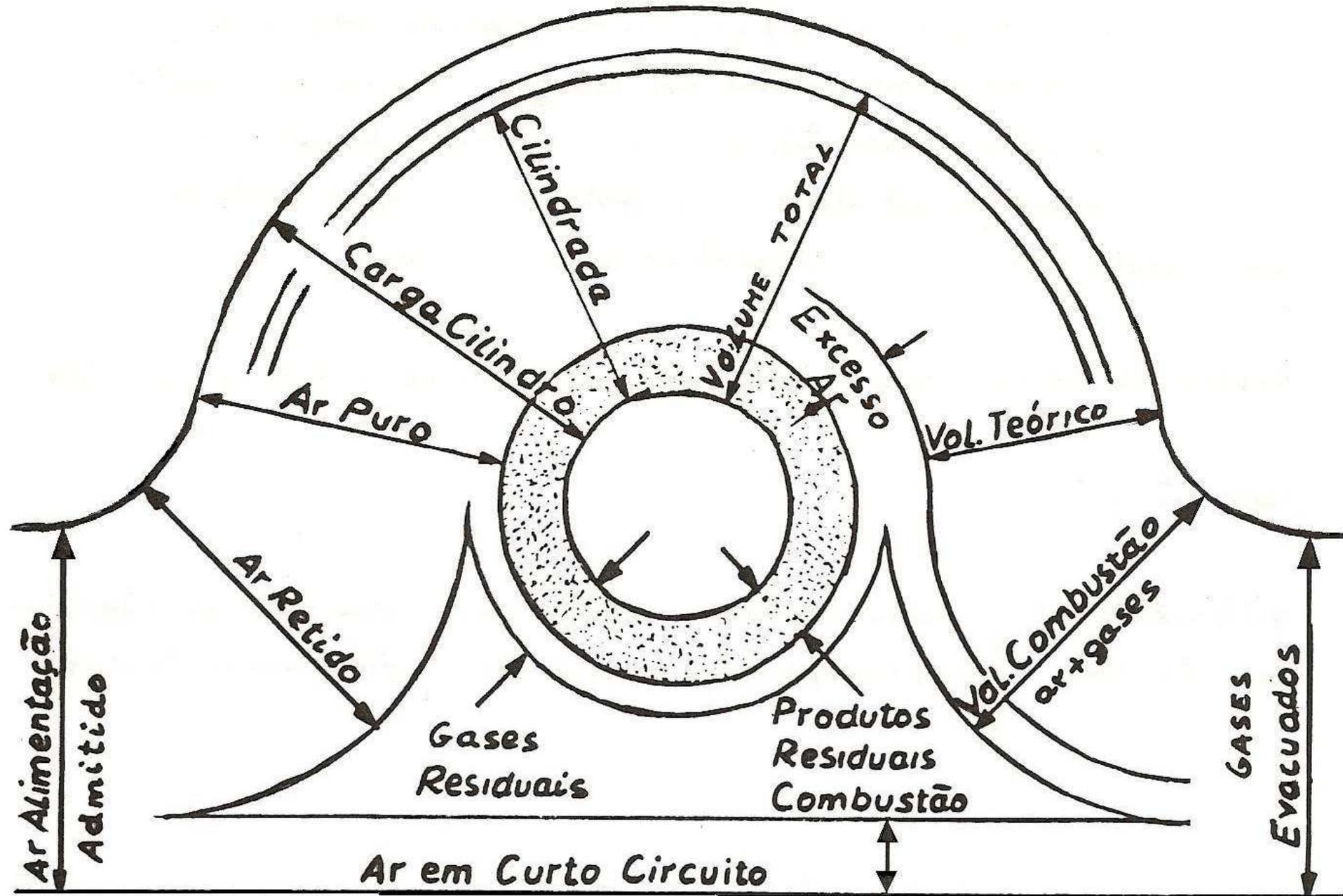


Diagrama de alimentação de ar

$$\text{Coeficiente de admissão } L = \frac{\text{Volume ar admitido}}{\text{Volume cilindrada}} = \frac{V_{ad}}{V_{cil}} > 1$$

$$\text{Coeficiente de enchimento } C_{enc} = \frac{\text{Volume carga cilindro}}{\text{Volume do cilindro}} = \frac{V_{car}}{V_{cil}} > 1$$

$$\text{Coeficiente de excesso de ar } \lambda = \frac{\text{Volume ar puro}}{\text{Volume ar teórico}} = \frac{V_{pur}}{V_{teo}} > 1$$

$$\text{Coeficiente de pureza } \delta = \frac{\text{Volume ar puro}}{\text{Volume carga cilindro}} = \frac{V_{pur}}{V_{car}} < 1$$

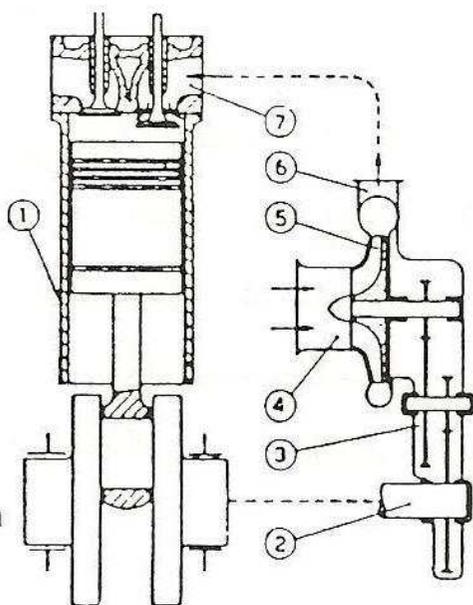
4.1.3 Sobrealimentação dos motores diesel

Sobrealimentar um motor consiste em introduzir em cada um dos seus cilindros, por cada ciclo de funcionamento uma massa de ar superior à que o motor seria capaz de introduzir por aspiração normal, a fim de poder queimar uma maior quantidade de combustível com o objectivo de aumentar a potência desenvolvida. Equivale por isso a aumentar de uma forma artificial a cilindrada do motor sem que tal implique um significativo aumento de dimensões e peso.

A sobrealimentação dos motores diesel actuais pode obter-se utilizando compressores de ar, accionados mecanicamente pelo próprio motor ou aproveitando a energia dos seus gases de evacuação para alimentar turbocompressores, sendo hoje em dia esta a solução preferida, pelos fabricantes destes motores, devido às suas enormes vantagens.

MOTOR DE 4 TEMPOS SOBREALIMENTADO

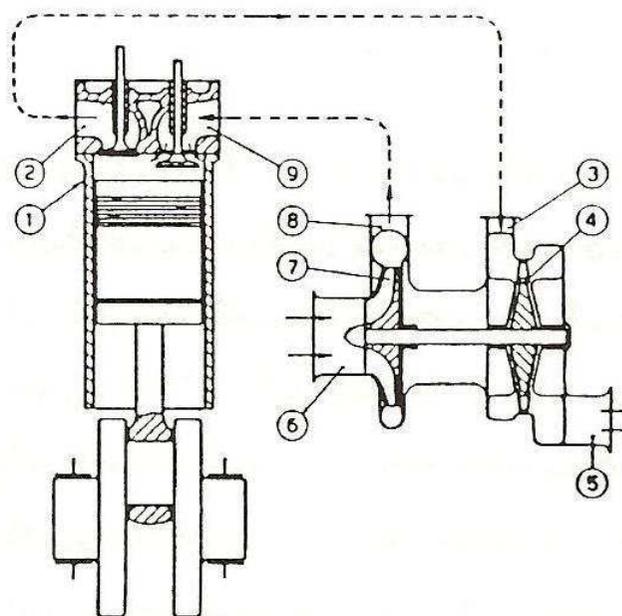
- 1 Cilindro
- 2 Ligação Motor
- 3 Engrenagens
- 4 Estator Compres.
- 5 Rotor Compres.
- 6 Saída ar compres.
- 7 Conduta ar entrada motor



Compressor centrífugo accionado pelo motor

MOTOR DE 4 TEMPOS SOBREALIMENTADO

- 1 Cilindro
- 2 Condução evacuação gases
- 3 Entrada gases turbina
- 4 Rotor turbina gás
- 5 Saída gases turbina
- 6 Entrada ar compressor
- 7 Rotor compressor ar
- 8 Saída ar compressor
- 9 Condução admissão ar



Compressor centrífugo accionado por turbina a gás

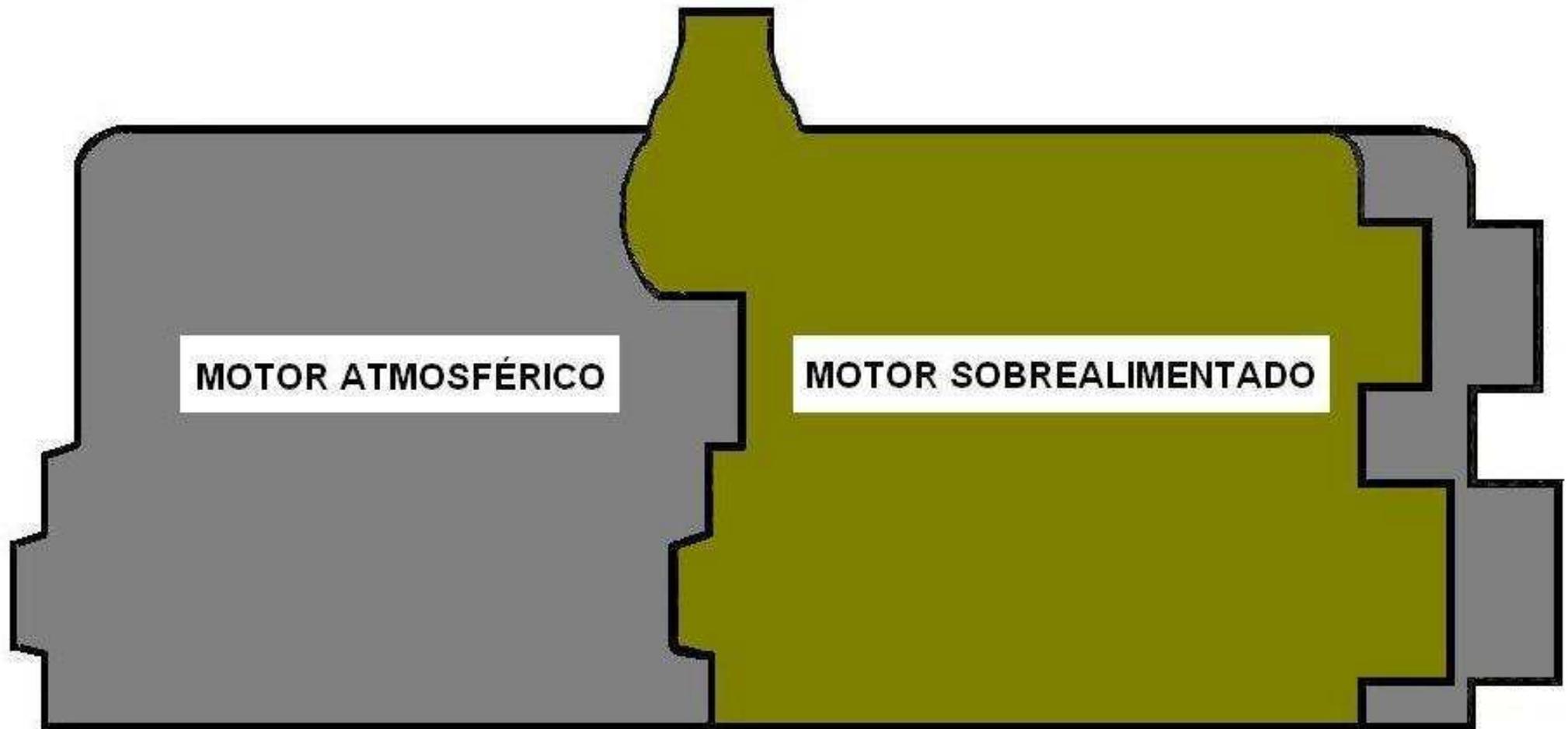
O compressor centrífugo accionado pela turbina a gás , comprime o ar que aspira através do filtro da atmosfera envolvente do motor, provocando a elevação da sua pressão e temperatura, pelo que o descarrega num arrefecedor de ar a fim de lhe diminuir a temperatura e aumentar a densidade, sendo então introduzido nos cilindros a uma pressão superior à atmosférica.

4.1.3.1 Evolução dos turbocompressores

Devido à insuficiente evolução dos turbocompressores ao longo dos tempos, não foi possível ao longo de muitos anos aproveitar devidamente as potencialidades dos motores diesel. Todavia esta situação foi ultrapassada com o desenvolvimento de novas gerações de turbocompressores com grau de compressão, potência e rendimento cada vez mais elevados.

Estas novas gerações de turbocompressores, permitiram aumentar a potência e o rendimento térmico dos motores diesel, bem como reduzir as temperaturas dos órgãos directamente em contacto com os gases de combustão. O desenvolvimento dos turbocompressores tem sido de tal forma, que hoje em dia já não necessitam de utilizar todo o fluxo de gases de evacuação do motor, para lhe fornecer o ar que necessita, quando opera a mais de 50% da potência nominal, o que permite que uma parte dos gases possa ser utilizada para alimentar uma turbina a gás de potência que recupera parte da sua energia para aumentar a potência do motor ou para produzir energia eléctrica.

Tal evolução, permite que os actuais motores diesel de 4 tempos sobrealimentados, possam exceder em mais de 100% a potência dos atmosféricos de igual cilindrada, enquanto os motores diesel de 2 tempos sobrealimentados, podem quadruplicar a potência dos atmosféricos de igual cilindrada, pelo que cerca de 75% da potência que desenvolvem advém da sobrealimentação.



Dimensões de motor atmosférico e sobrealimentado de igual potência

De uma forma geral, os benefícios decorrentes da sobrealimentação dos motores diesel são os seguintes:

Redução do tamanho, do peso e do custo dos motores por unidade de potência produzida;

Aumento da potência e do rendimento para a mesma cilindrada;

Redução das emissões poluentes, através do menor consumo específico de combustível, o que também contribui para a preservar os recursos energéticos mundiais;

Utilização de combustíveis residuais de menor custo, com bons resultados, especialmente no caso dos motores diesel de 2 tempos lentos, o que contribui para diminuir os custos de operação.

Em resumo, pode afirmar-se que as principais vantagens da sobrealimentação dos motores diesel, consistem no aumento substancial da potência e na redução de consumo, dimensões, peso e custo do motor por unidade de potência produzida.

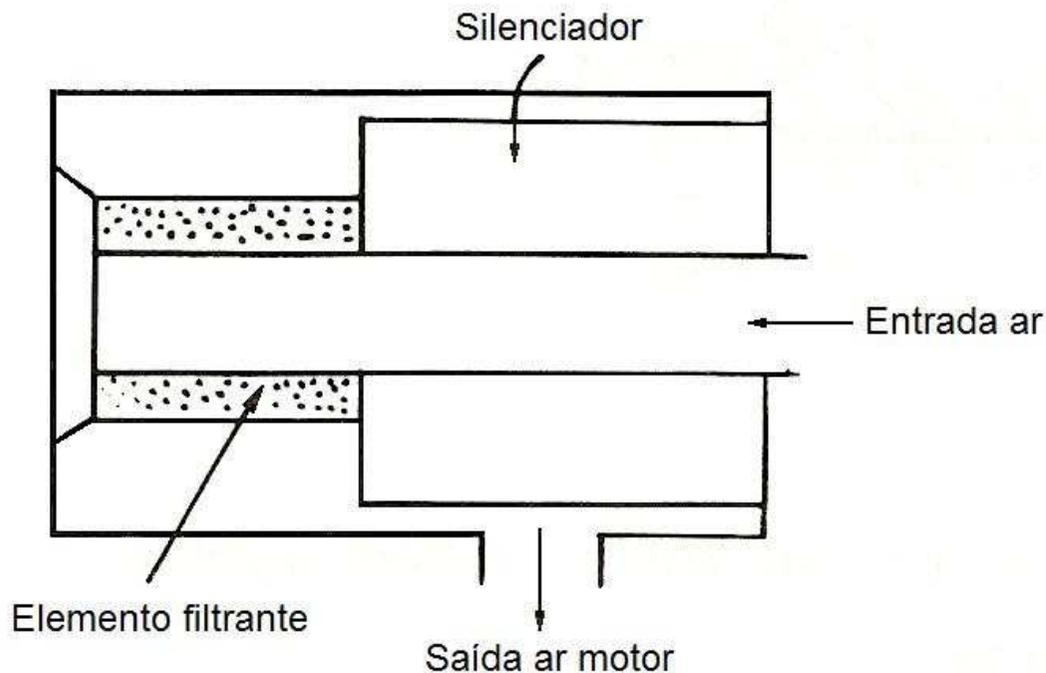
4.1.4 Elementos do sistema de alimentação de ar

4.1.4.1 Filtros de ar

São os órgãos que filtram o ar que vai ser admitido nos cilindros dos motores. Podem ser de dois tipos a saber:

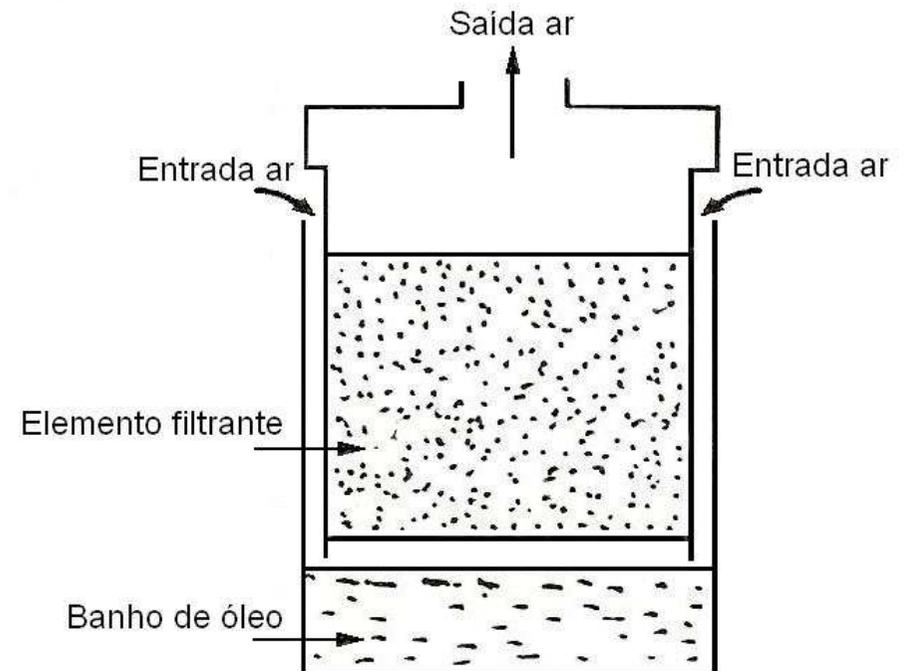
Filtros de ar secos

Filtros de ar em banho de óleo



Filtro de ar seco

O elemento filtrante é substituído periodicamente



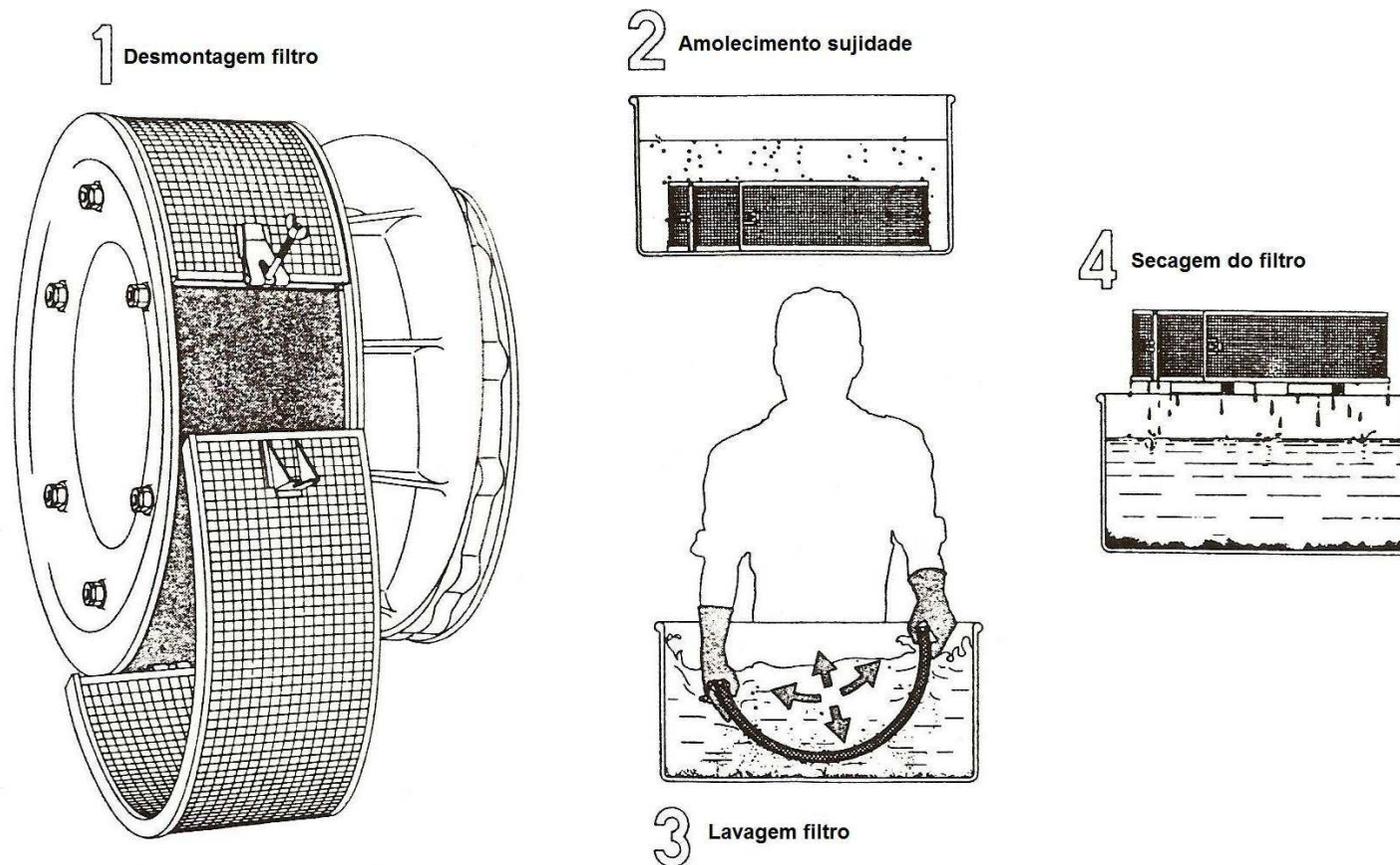
Filtro de ar em banho de óleo

O elemento filtrante é limpo e o óleo substituído periodicamente

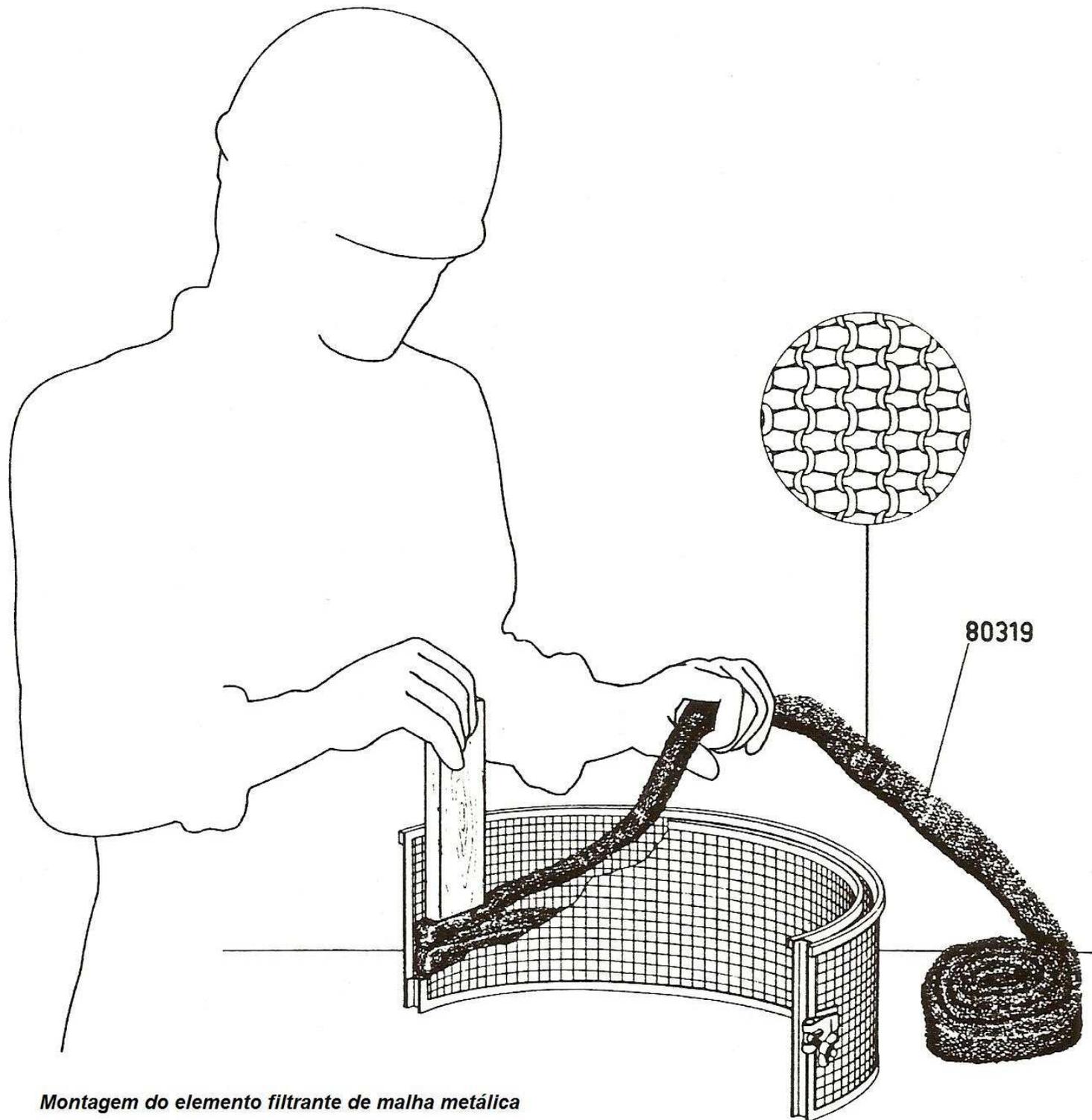
Filtros de ar secos

Nos motores diesel marítimos sobrealimentados, os filtros de ar secos são incorporados na aspiração dos compressores de ar, enquanto nos motores atmosféricos são montados nas condutas de entrada de ar do colector de admissão.

Quando o elemento filtrante é de cartão poroso ou de outros materiais com características semelhantes, este é por norma substituído ao fim de um determinado período de utilização. Se for de malha metálica, tal como acontece em alguns motores diesel marítimos, é necessário apenas lavá-la periodicamente e substituir a que se vai desgastando.



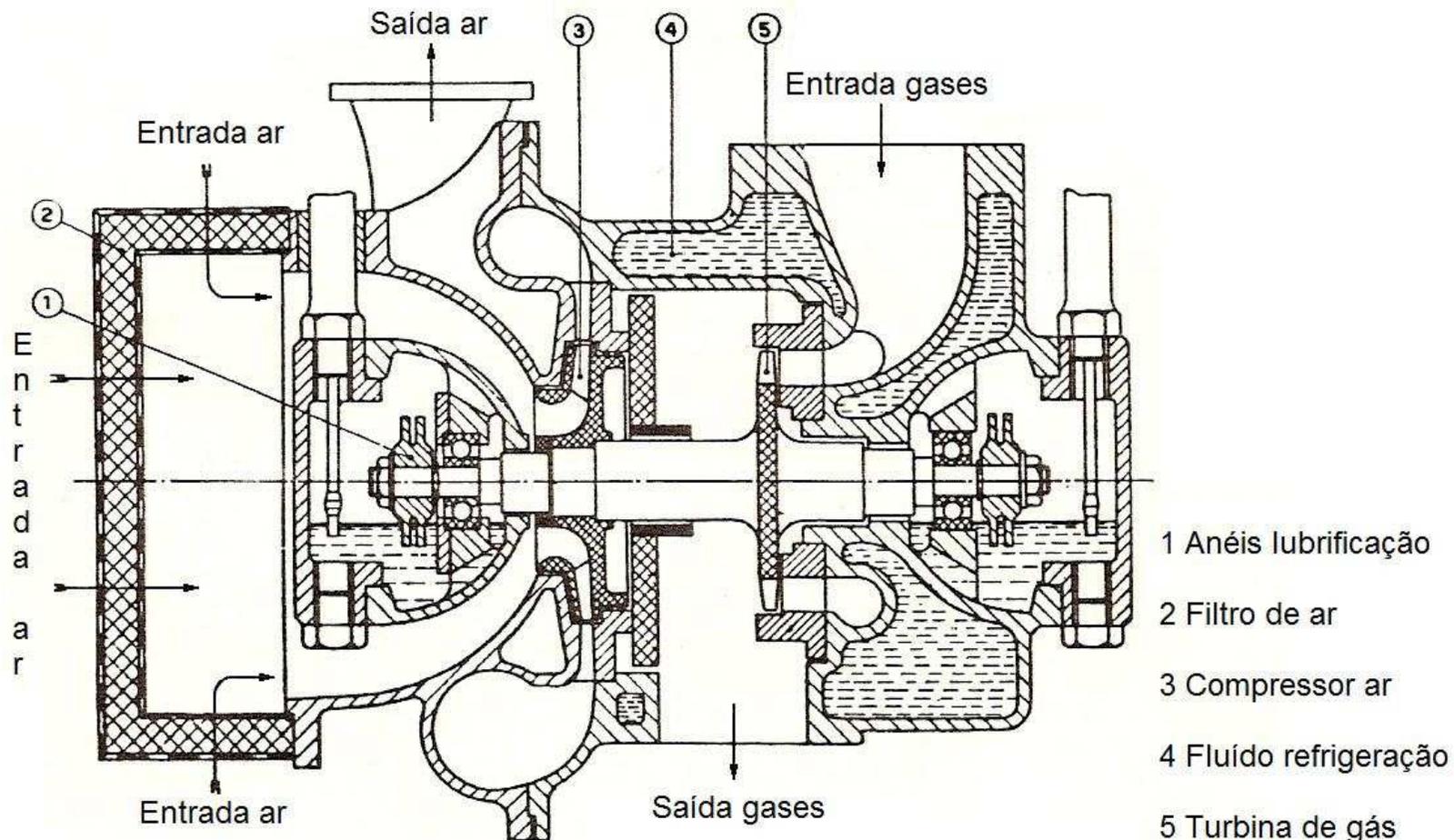
Limpeza de filtro de ar de malha metálica de turbocompressor



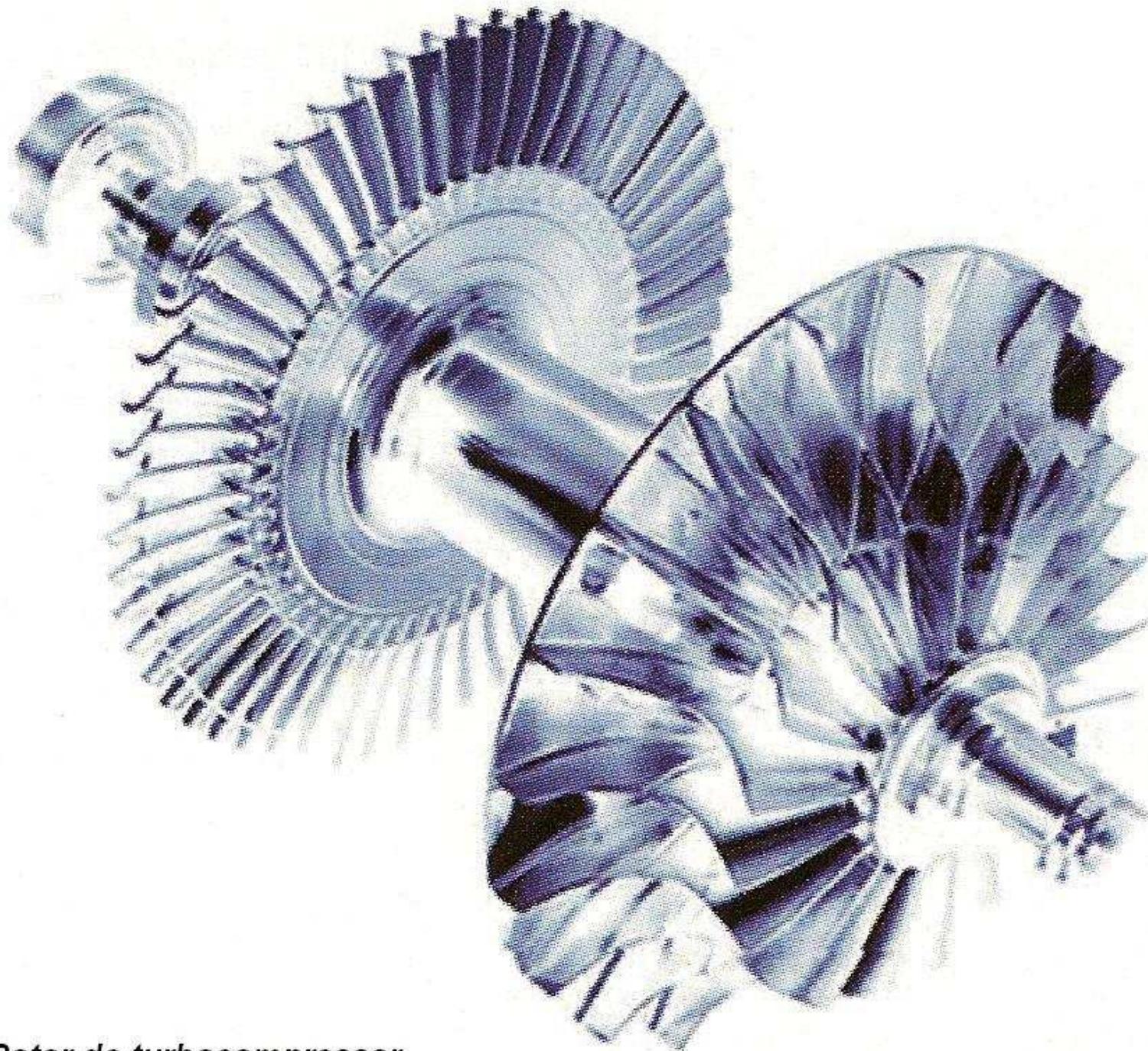
Montagem do elemento filtrante de malha metálica

4.1.4.2 Turbocompressores

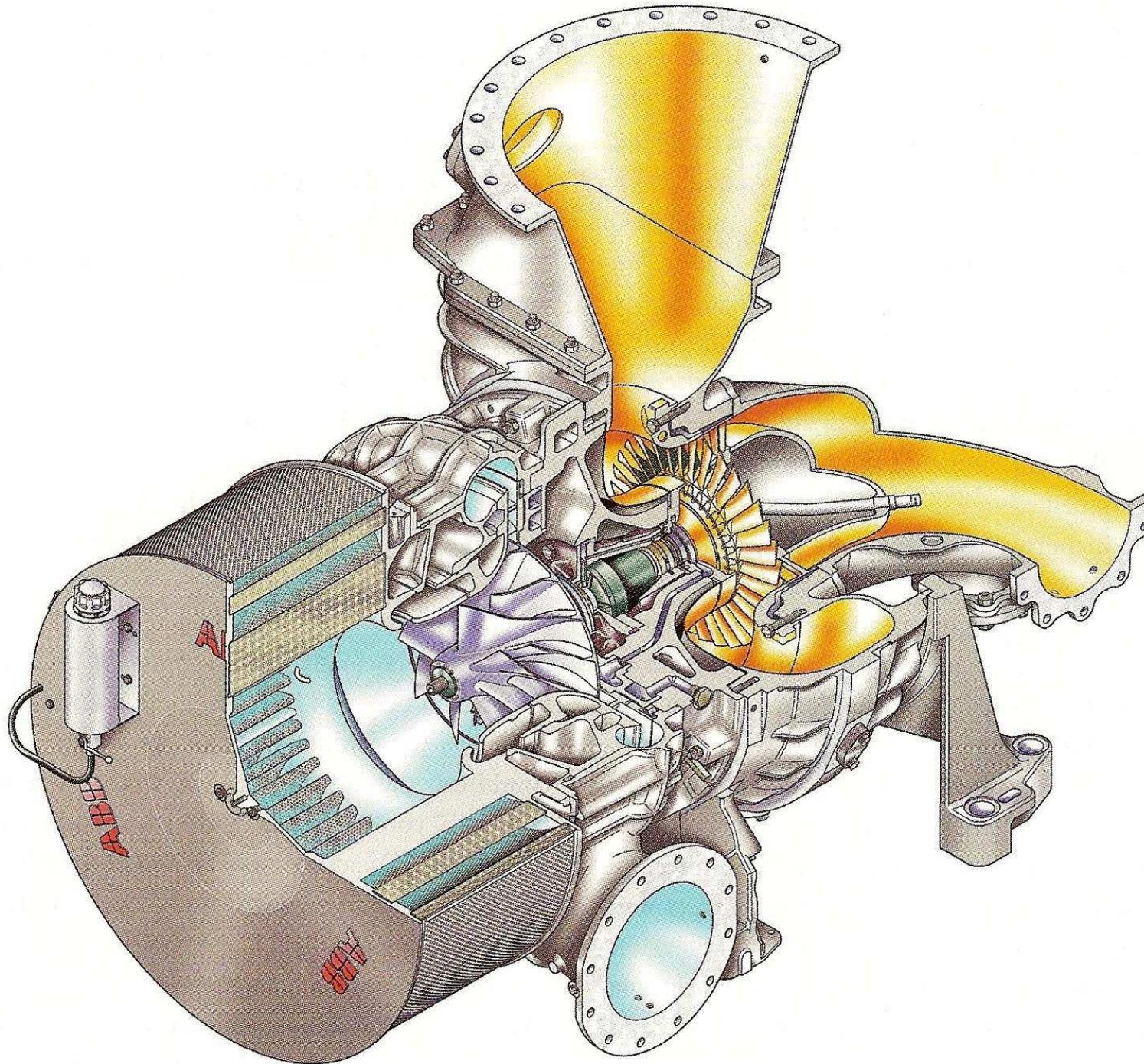
Como já foi referido, a sobrealimentação dos motores diesel actuais é efectuada exclusivamente por turbocompressores accionados pela energia térmica recuperada dos gases de evacuação. Estes, são unidades compactas providas de um estator, que serve de alojamento a um rotor, constituído por um veio motor apoiado em chumaceiras suportadas pelo estator em cujas extremidades é montada uma turbina a gás e um compressor de ar, conforme mostra a figura.



Vista longitudinal em corte de turbocompressor refrigerado por água



Rotor de turbocompressor



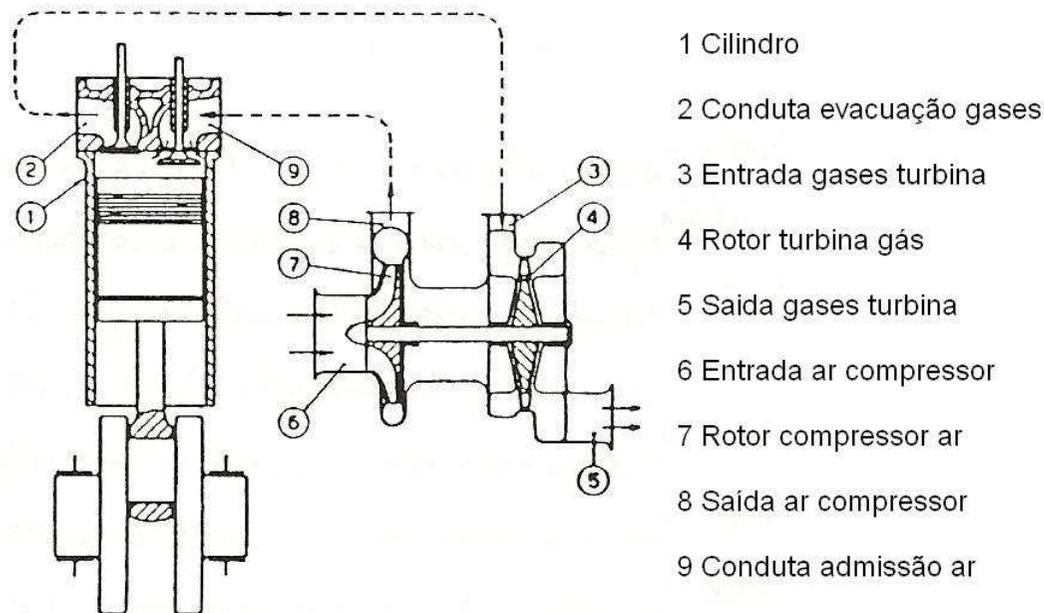
Turbocompressor ABB TPL 76-C em corte

4.1.4.2.1 Funcionamento

Os gases de evacuação do motor são encaminhados para a turbina a gás que aproveita parte da sua energia para impulsionar o seu movimento de rotação e consequentemente do compressor montado na extremidade oposta do mesmo veio. O compressor por sua vez aspira o ar meio ambiente do motor, comprime-o e descarrega-o no arrefecedor de ar de um ou mais estágios, que o encaminha para o colector de admissão (motor de 4 tempos) ou para o colector de ar de lavagem (motor de 2 tempos) a fim de ser introduzido nos cilindros do motor na altura oportuna.

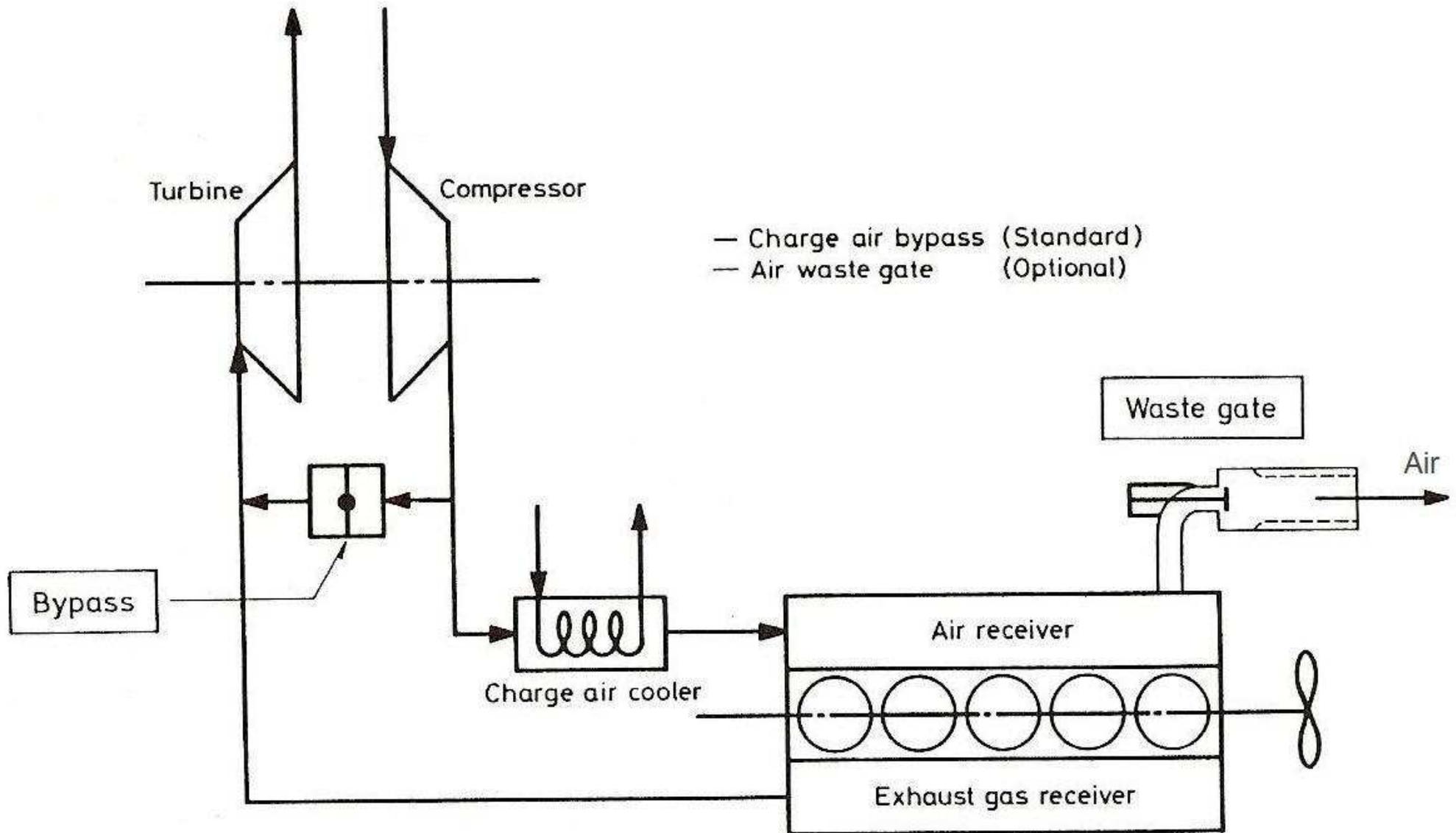
De notar que no caso dos motores diesel de 2 tempos, os turbocompressores funcionam normalmente em série com as bombas de ar de lavagem ou com os compressores auxiliares, cuja acção é preponderante no arranque e baixos regimes de funcionamento e complementar da acção dos turbocompressores ou mesmo nula, nos regimes normais de funcionamento.

MOTOR DE 4 TEMPOS



Sobrealimentação com turbocompressor

MOTOR DIESEL DE 4 TEMPOS



Disposição esquemática da sobrealimentação com "bypass" e "waste gate"

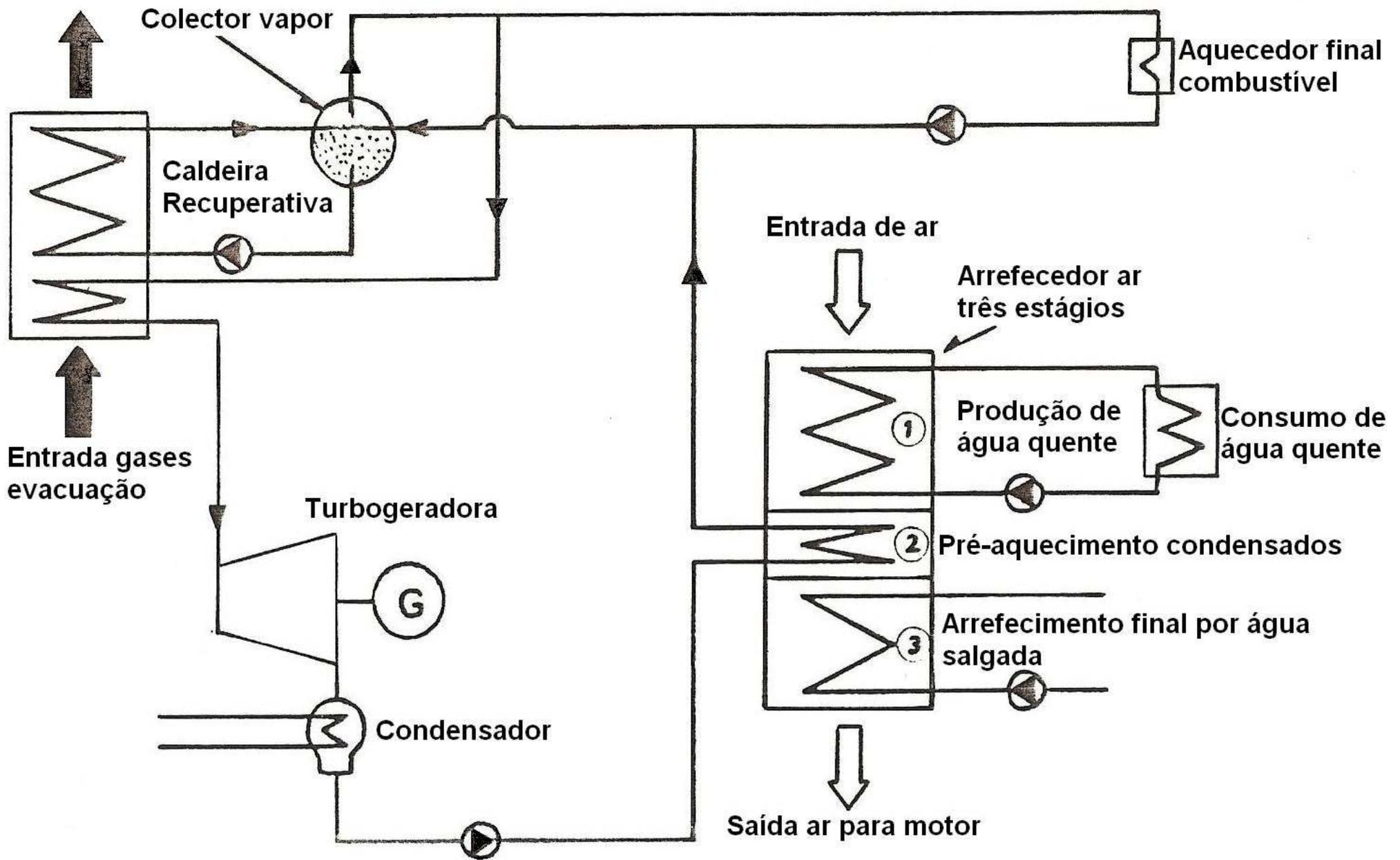
4.1.4.3 Arrefecedores de ar

Utilizam-se para arrefecer o ar de alimentação dos motores diesel sobrealimentados, sendo para o efeito cada um instalado entre o respectivo turbocompressor e o colector de ar de lavagem ou de admissão, consoante se trate de motores diesel de 2 ou de 4 tempos.

Actualmente são constituídos por um a três tubulares circulados interiormente por água doce ou salgada de refrigeração e exteriormente pelo ar de alimentação do motor, o qual se escoia através do arrefecedor para o colector respectivo.

Cada tubular corresponde em regra a um estágio que pode permitir recuperar parte do calor, contido no ar devido à compressão a que é submetido no compressor, para aquecer água, para as necessidades de bordo ou efectuar o pré-aquecimento dos condensados da turbogeradora, isto é, da água de alimentação da caldeira recuperativa

Assim o primeiro estágio pode aquecer água, o segundo aquecer os pré condensados e o terceiro proporcionar o arrefecimento final ao ar de alimentação do motor, de forma a ser introduzido nos cilindros à temperatura adequada, tal como pode observar-se na figura a seguir apresentada.



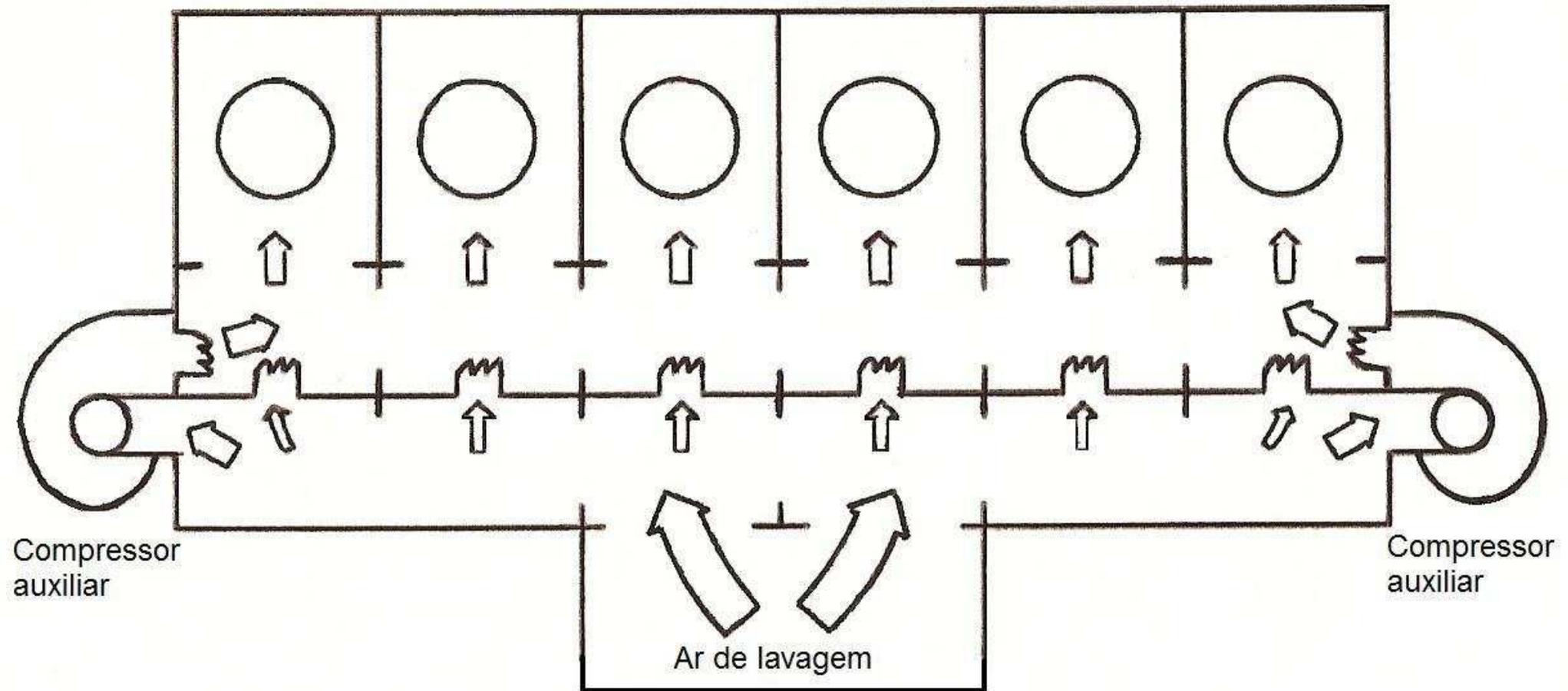
Sistema de recuperação de calor com arrefecedor de ar de sobrealimentação com três estágios⁶⁶

4.1.4.4 Colector de ar de admissão

É o órgão dos motores diesel de 4 tempos que encaminha para os cilindros o ar de admissão que recebe directamente através dos filtros de ar no caso dos motores atmosféricos e através dos arrefecedores de ar no caso dos motores sobrealimentados.

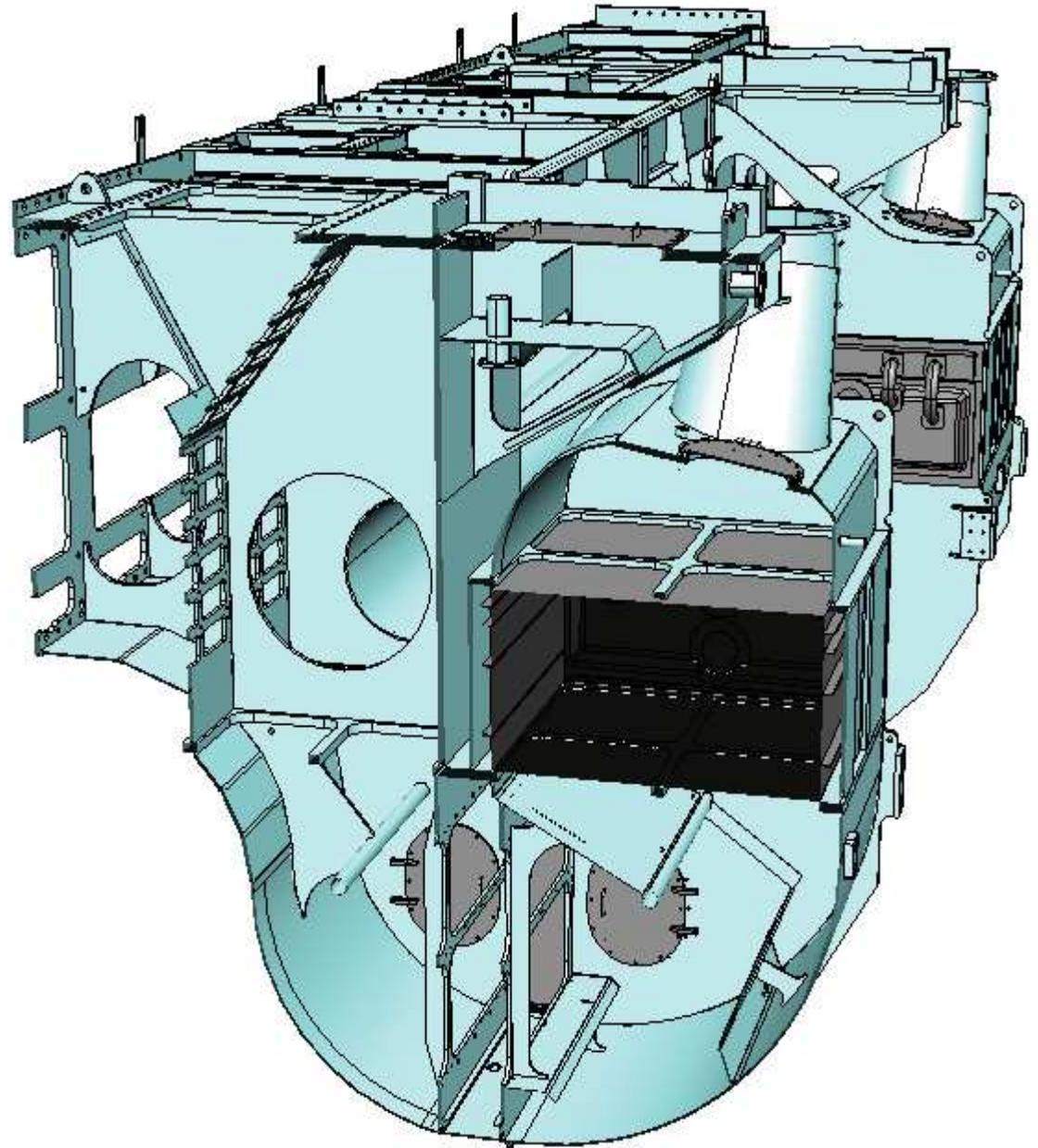
4.1.4.5 Colector de ar de lavagem

É o órgão dos motores diesel de 2 tempos que encaminha para os cilindros o ar que recebe das bombas de ar de lavagem ou dos compressores centrífugos auxiliares e dos turbocompressores através dos arrefecedores de ar.



Colector de ar de lavagem de motor diesel de 2 tempos

Cutaway view of the new underslung air receiver for RTA96C and RT-fl ex96C engines. Scavenge air (yellow arrows) from the turbochargers comes down the cylindrical duct on the right, through the horizontal air cooler, 180° round through the vertically-mounted water separator and exiting left to the engine cylinders.



4.1.4.6 Compressores centrífugos auxiliares

São unidades independentes, constituídas por um compressor de ar centrífugo accionado por um motor eléctrico. Utilizam-se cada vez mais nos motores diesel de 2 tempos, em substituição das bombas de ar de lavagem, para complementar acção dos turbocompressores nos baixos regimes de funcionamento a fim de que fornecer aos cilindros o ar que necessitam para a operação.

Arrancam e param automaticamente em função da pressão de ar verificada no colector de ar de lavagem:

Arrancam quando a pressão no colector de ar de lavagem baixa a um valor insuficiente para alimentar o motor, o que significa que os turbocompressores são incapazes de fornecer ao motor o ar de que necessita, devido ao seu fraco rendimento nos baixos regimes, pelo que a sua acção tem de ser complementada pela entrada em operação dos compressores centrífugos auxiliares;

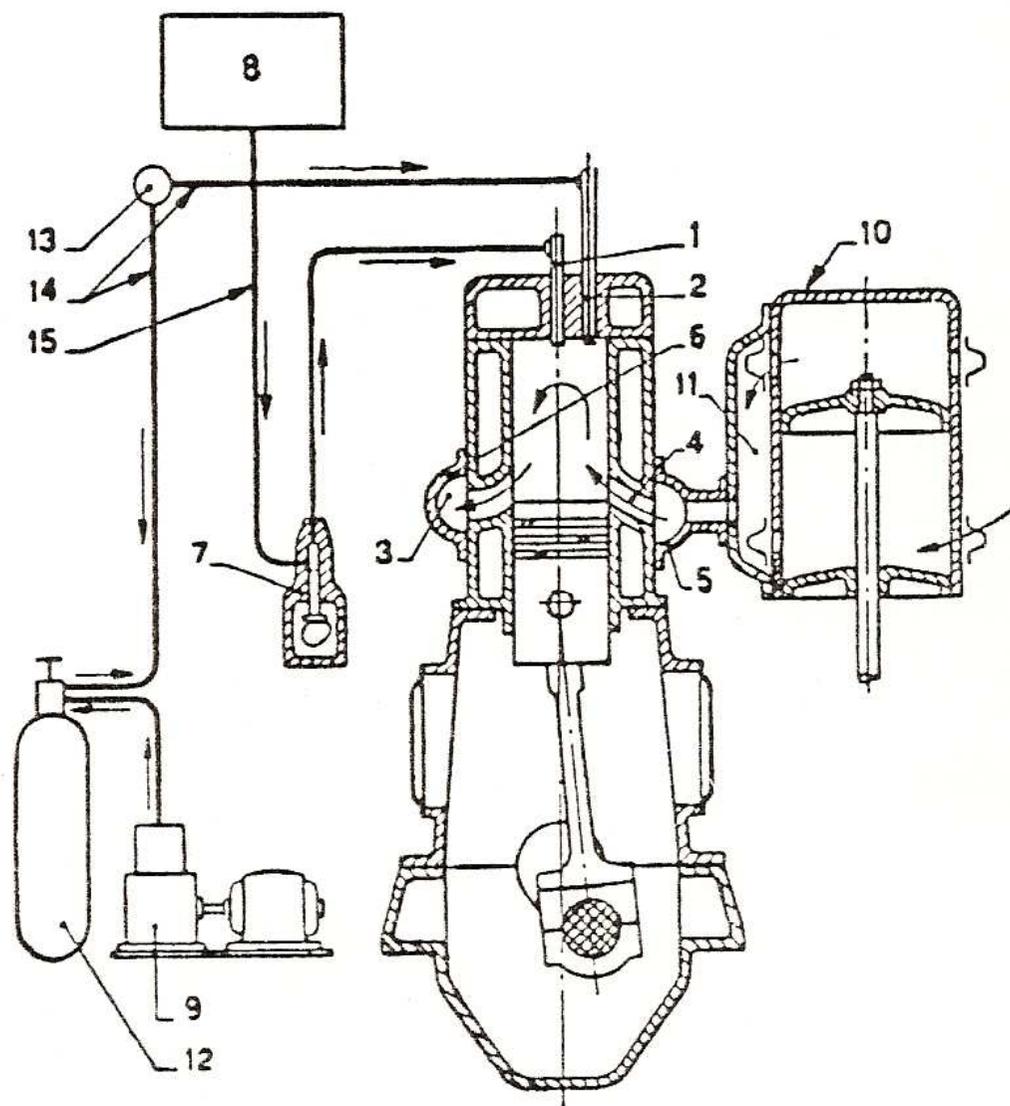
Param quando a pressão no colector de ar de lavagem atinge um valor suficiente para alimentar o motor apenas pela acção dos turbocompressores, pelo que o seu contributo pode ser dispensado, economizando por isso energia.

4.1.4.7 Bombas de ar de lavagem

Ainda são usadas nos motores diesel de 2 tempos mais antigos, para complementar a acção dos turbocompressores nos baixos regimes de funcionamento, por forma a fornecer aos cilindros o ar que necessitam, sendo normalmente desactivadas parcialmente logo que o motor atinge os regimes normais de funcionamento.

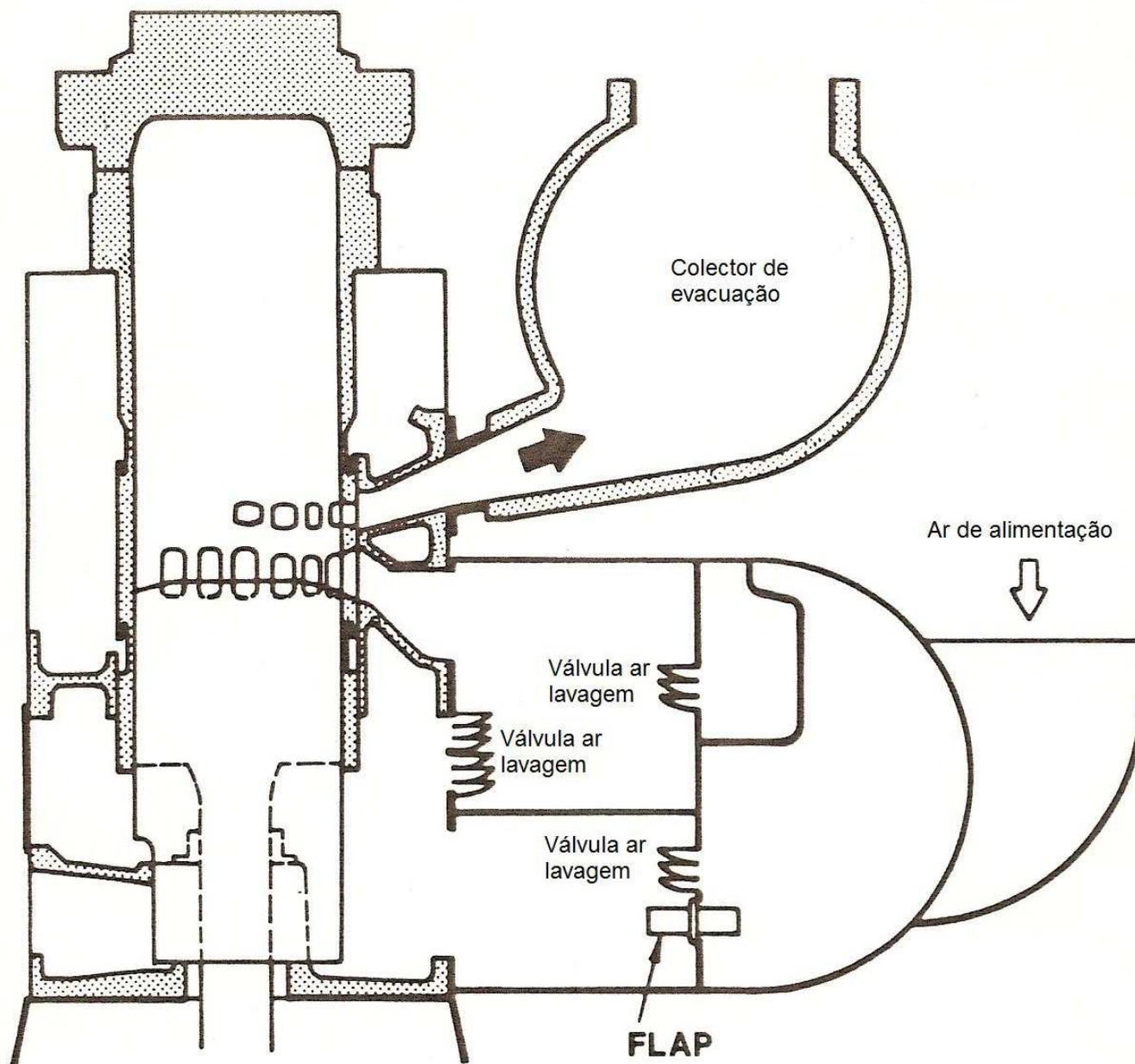
Podem ser constituídas por unidades com cilindros e êmbolos próprios, de simples ou duplo efeito, accionadas pelo motor através de um sistema de transmissão de movimento adequado, normalmente ligado à cruzeta, tal como se apresenta na figura.

- 1 - Injector
- 2 - Válvula ar arranque
- 3 - Janela evacuação
- 4 - Janela admissão
- 5 - Colector ar lavagem
- 6 - Colector evacuação
- 7 - Bomba injeção
- 8 - Tanque combustível
- 9 - Compressor ar arranque
- 10 - Bomba ar lavagem
- 11 - Câmara ar lavagem
- 12 - Reservatório ar arranque
- 13 - Válvula arranque principal
- 14 - Tubos ar
- 15 - Tubos combustível



Motor diesel de 2 tempos sem cruzeta atmosférico

Também podem ser incorporadas nos cilindros do motor, aproveitando para o efeito o próprio êmbolo e a parte inferior do cilindro para constituírem a respectiva bomba de ar de lavagem, tal como sucede no exemplo a seguir apresentado.



Bomba de ar de lavagem incorporada no cilindro do motor

Outra possibilidade, consiste em aproveitar o espaço que fica sob cada cilindro do motor para instalar o cilindro e o êmbolo da bomba de ar de lavagem, sendo este montado na cruzeta, tal como sucede no motor “*BOLNES*” representado na figura.

5 Evacuação de gases dos motores diesel

Como já foi referido, uma eficiente evacuação de gases dos cilindros, depende em boa medida da forma como é efectuada a admissão de ar nos mesmos, dado o efeito benéfico resultante do cruzamento de válvulas dos motores de 4 tempos e da lavagem dos motores de 2 tempos.

5.1 Sistema de Evacuação de Gases dos Motores Diesel de Quatro Tempos

É fundamentalmente constituído pelos seguintes elementos:

Válvulas de evacuação: inseridas nas cabeças dos cilindros do motor de quatro tempos atmosférico e sobrealimentado

Colector de evacuação: ligado às condutas de evacuação dos cilindros e ao silenciador nos motores atmosféricos; ligado às condutas de evacuação dos cilindros e às turbinas de gás dos turbocompressores e à turbina de potência nos motores sobrealimentados.

Turbinas de gás dos turbocompressores: entre o colector de evacuação e o silenciador

Turbina de gás de potência: instalada em paralelo com as turbinas a gás dos turbocompressores, para aumento de potência através da recuperação de energia.

Silenciador: instalado entre as turbinas a gás e a caldeira recuperativa ou inserido nesta.

Caldeira recuperativa: instalada no final da conduta de evacuação após o silenciador.

5.2 Sistema de evacuação de gases dos motores diesel de dois tempos

Este sistema está interligado com o Sistema de Alimentação de Ar, uma vez que só é possível introduzir no cilindro uma nova carga de ar fresco para a realização de um novo ciclo, após uma boa evacuação dos gases de combustão do ciclo anterior. A fim de melhorar a evacuação dos gases do cilindro, procura-se aproveitar o efeito benéfico da Lavagem, a qual ocorre durante o período do ciclo em que os orifícios de evacuação e admissão estão simultaneamente abertos.

O sistema de evacuação de gases é normalmente constituído pelos seguintes elementos:

Janelas ou orifícios de evacuação: situadas na parte inferior da parede da camisa em cerca de metade do seu perímetro nos motores de dois tempos com lavagem transversal ou cruzada e de laço ou em câmara fechada.

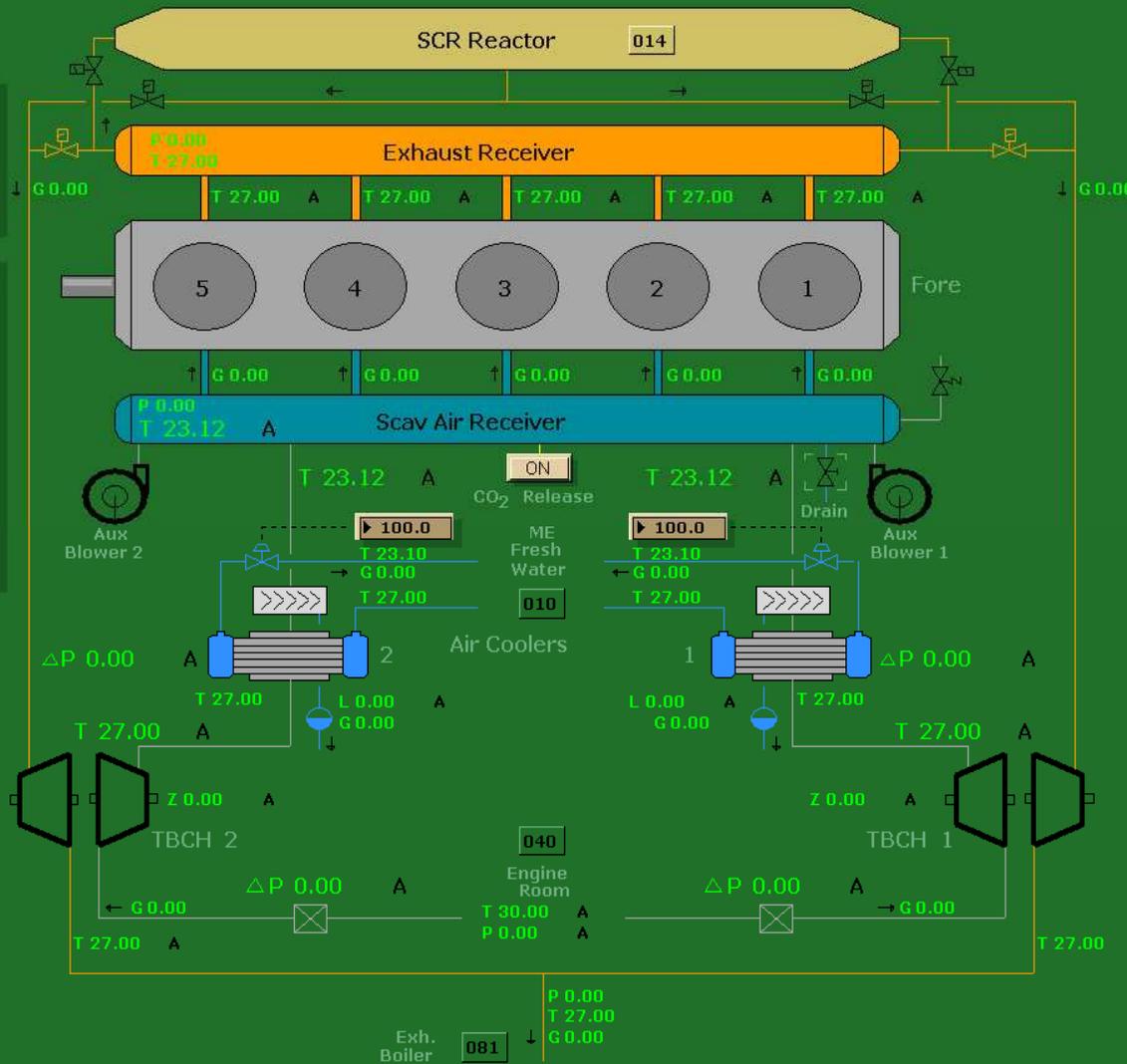
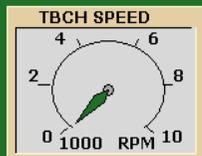
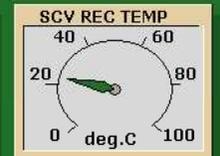
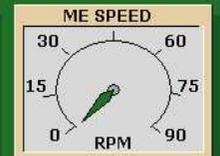
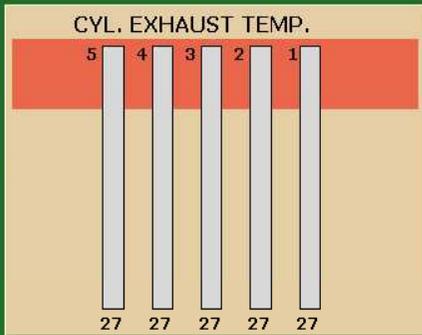
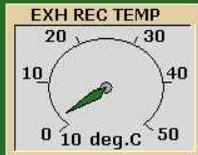
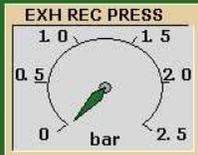
Válvulas de evacuação: situadas em posição central nas cabeças dos cilindros dos motores com lavagem longitudinal ou unifluxo.

Colector de evacuação: entre as condutas de evacuação dos cilindros e as turbinas de gás dos turbocompressores e de potência.

Turbinas de gás dos turbocompressores e Turbina de gás de potência: instaladas em paralelo entre o colector de evacuação e o silenciador ou a caldeira recuperativa quando o silenciador está inserido nesta.

Silenciador: instalado entre as turbinas de gás e a caldeira recuperativa ou em alternativa inserido na **Caldeira recuperativa**, que é montada no final da conduta de evacuação.

ME Turbocharger System



M

V

Unit Conversion

Message Log

Process Directory

Panel Directory

Process Overview

Back

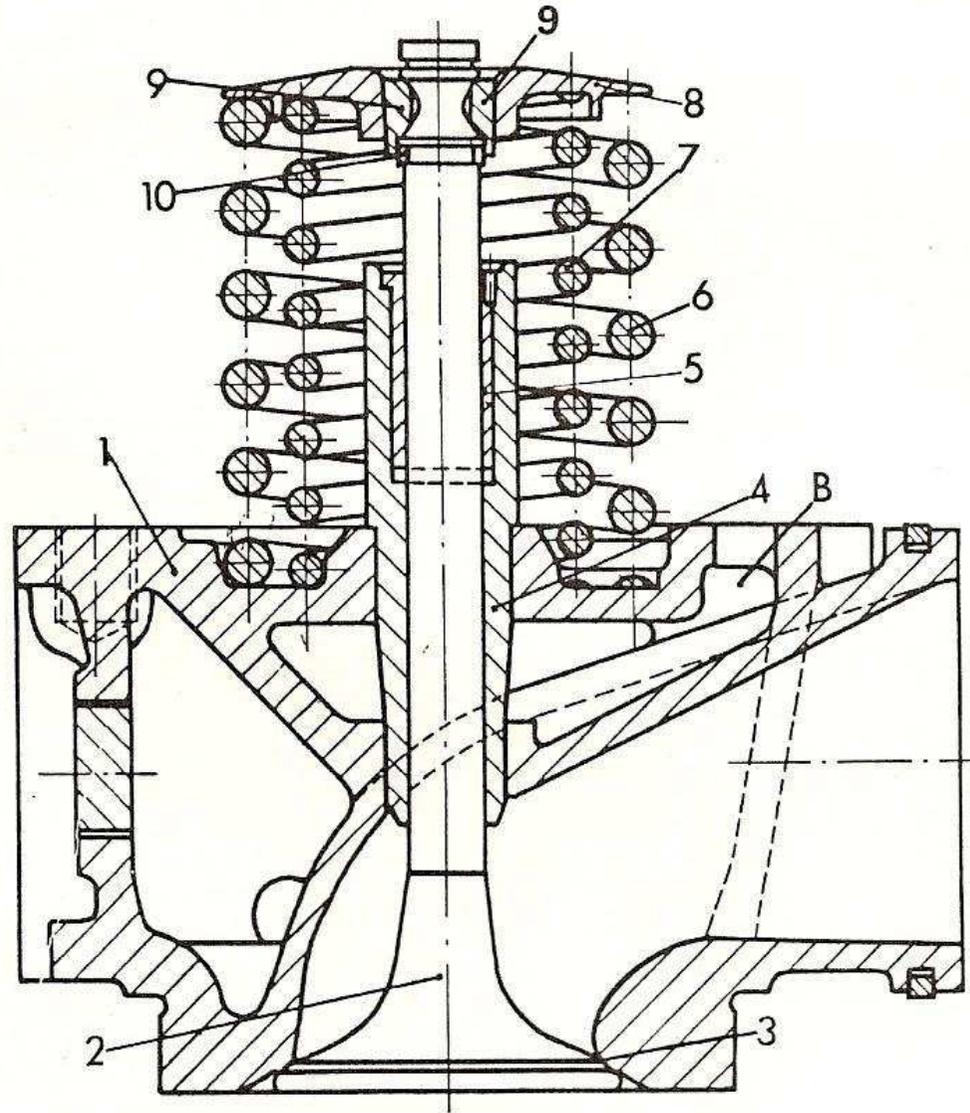
Forward

5.3 Elementos do sistema de evacuação de gases

5.3.1 Válvulas de evacuação

São os órgãos cuja função consiste em permitir efectuar a evacuação segura e eficaz dos gases de evacuação dos cilindros dos motores.

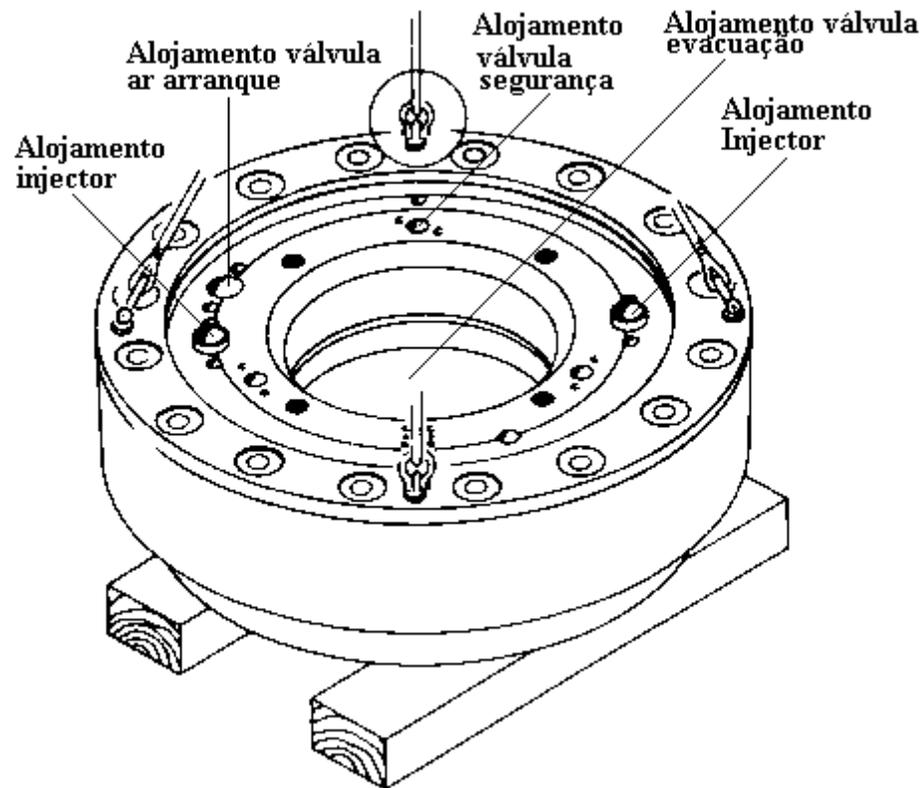
Para o efeito são inseridas nas cabeças dos cilindros, de todos os motores de 4 tempos e apenas nas cabeças dos motores diesel de 2 tempos dotados com lavagem longitudinal, sendo neste caso a evacuação dos gases em regra efectuada através de uma válvula de dimensões apreciáveis, posicionada no centro da cabeça do cilindro.



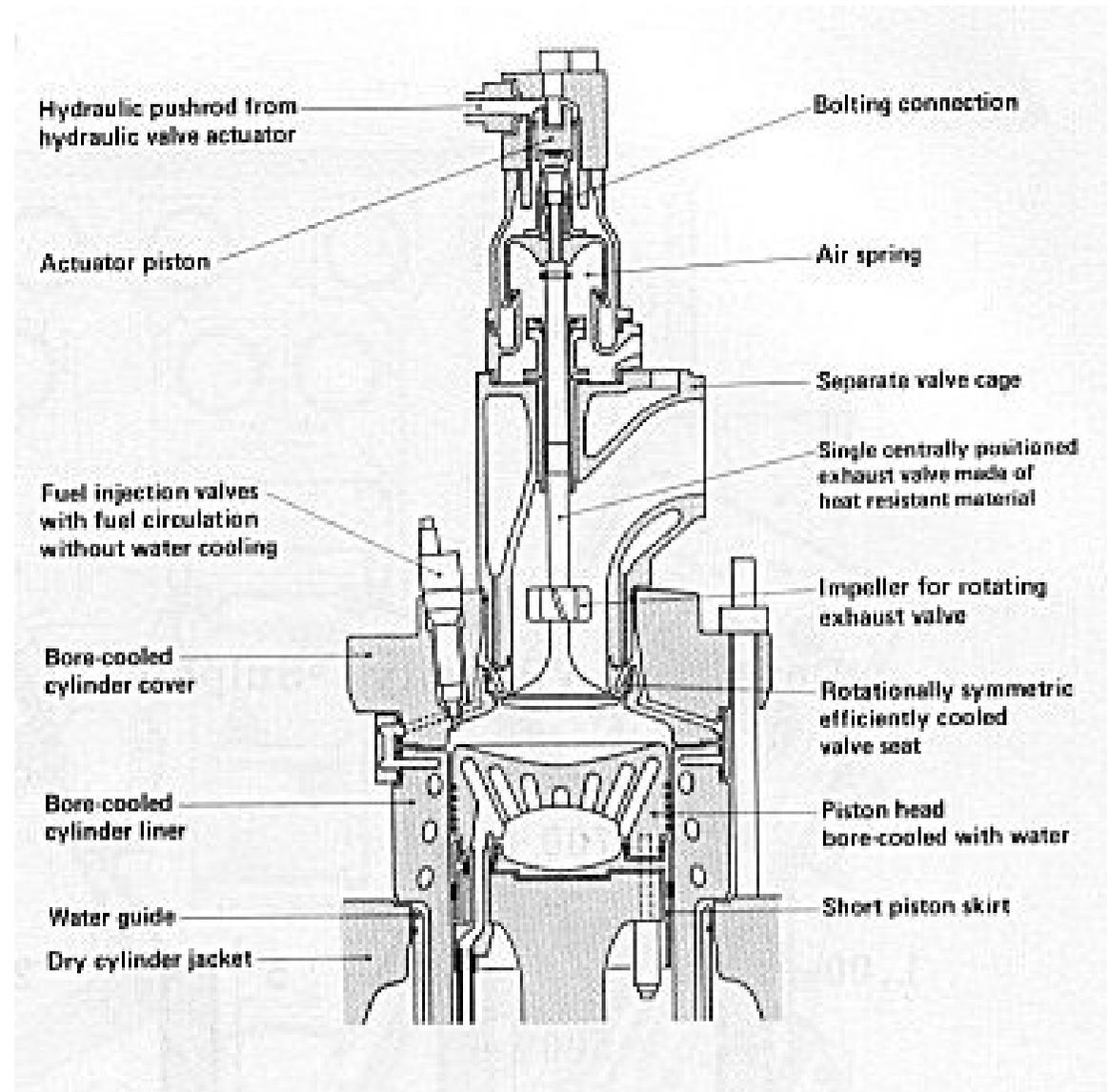
- 1 Cabeça cilindro
- 2 Obturador
- 3 Vedante
- 4 Guia ferro fundido
- 5 Casquilho bronze
- 6 Mola exterior
- 7 Mola interior
- 8 Prato fixação
- 9 Freio

Válvula de motor diesel de 4 tempos

MOTOR DIESEL DE 2 TEMPOS



Cabeça de cilindro

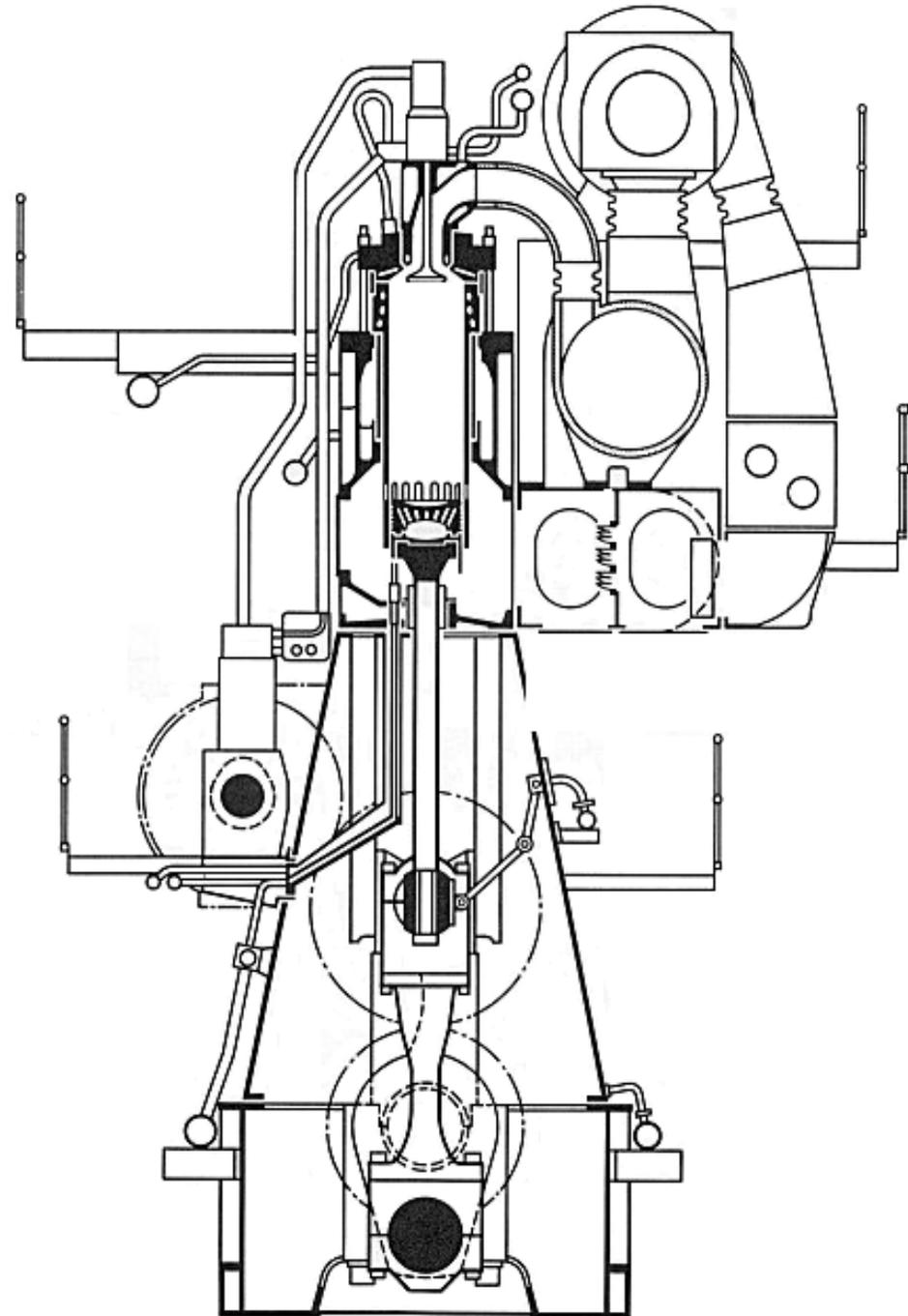


Válvula de evacuação de motor diesel de 2 tempos

5.3.2 Colector de evacuação

É o órgão do motor diesel que recebe os gases evacuados dos cilindros, os quais encaminha através de condutas para as turbinas a gás dos turbocompressores e também quando existir para a turbina a gás de potência,

Muito embora possam apresentar secções transversais com formas geométricas diversas, no caso dos motores diesel de 2 tempos de grandes dimensões e potência elevada, apresentam normalmente uma secção transversal circular, tal como pode observar-se na figura.



5.3.3 Turbinas a gás

Como já foi referido, parte da energia residual dos gases de evacuação é recuperada para accionar as turbinas a gás dos turbocompressores, bem como as turbinas de potência, pelo que são evacuados através destas, de acordo com o regime de funcionamento do motor.

5.3.4 Silenciador

Os gases evacuados das turbinas a gás são enviados para o silenciador a fim de que filtre o ruído decorrente da sua evacuação, reduzindo-o aos valores estabelecidos (máximo de 110 db), sendo depois encaminhados através de uma conduta de evacuação para a caldeira recuperativa, ou no caso de não existir, directamente para a atmosfera através da chaminé do navio.

5.3.5 Caldeira recuperativa

Recebe os gases de evacuação do silenciador ou directamente das turbinas a gás no caso de também desempenhar as funções do silenciador. Recupera uma parte do calor dos gases de evacuação para produzir vapor saturado e sobreaquecido em alguns casos, de acordo com as características da instalação do navio.

6 Alimentação de combustível dos motores diesel

Os motores diesel marítimos podem queimar vários tipos de combustíveis líquidos, tais como destilados e residuais, bem como ainda queimar em simultâneo combustíveis líquidos e gasosos desde que devidamente adaptados para o efeito.

Dada a elevada autonomia requerida para os navios mercantes, é necessário aprovisioná-los com elevadas quantidades de combustíveis, os quais são armazenados nos designados tanques de reserva. Vejamos a título de exemplo a forma como os combustíveis, marine diesel e fuel são armazenados no caso de um navio petroleiro de **185 000 toneladas de porte**.

O fuel é armazenado em quatro tanques de grande capacidade apresentados na figura seguinte com as seguintes designações:

After Bunker Tank 1040 m3 (Tanque reserva de Ré)

Port Bunker Tank 520 m3 (Tanque de reserva de BB)

Stbd Bunker Tank 520 m3 (Tanque de reserva de EB)

Fore Bunker Tank 1040 m3 (Tanque de reserva de Vante)

Dado que o fuel tem de ser devidamente decantado e depurado antes de poder ser consumido pelo motor principal e caldeira de porto, tem de ser sucessivamente trasfegado para os tanques de decantação, à medida que o que lá se encontra vai sendo decantado, depurado e transferido para o tanque de serviço que alimenta estes equipamentos. Para o efeito utiliza-se o sistema de trasfega de combustível (*Fuel Oil Transfer System*).

6.1 Sistemas de trasfega de combustível

De um modo geral, a bordo dos navios mercantes é necessário trasfegar os seguintes tipos de combustíveis:

Marine Diesel (mistura de combustível destilado com residual)

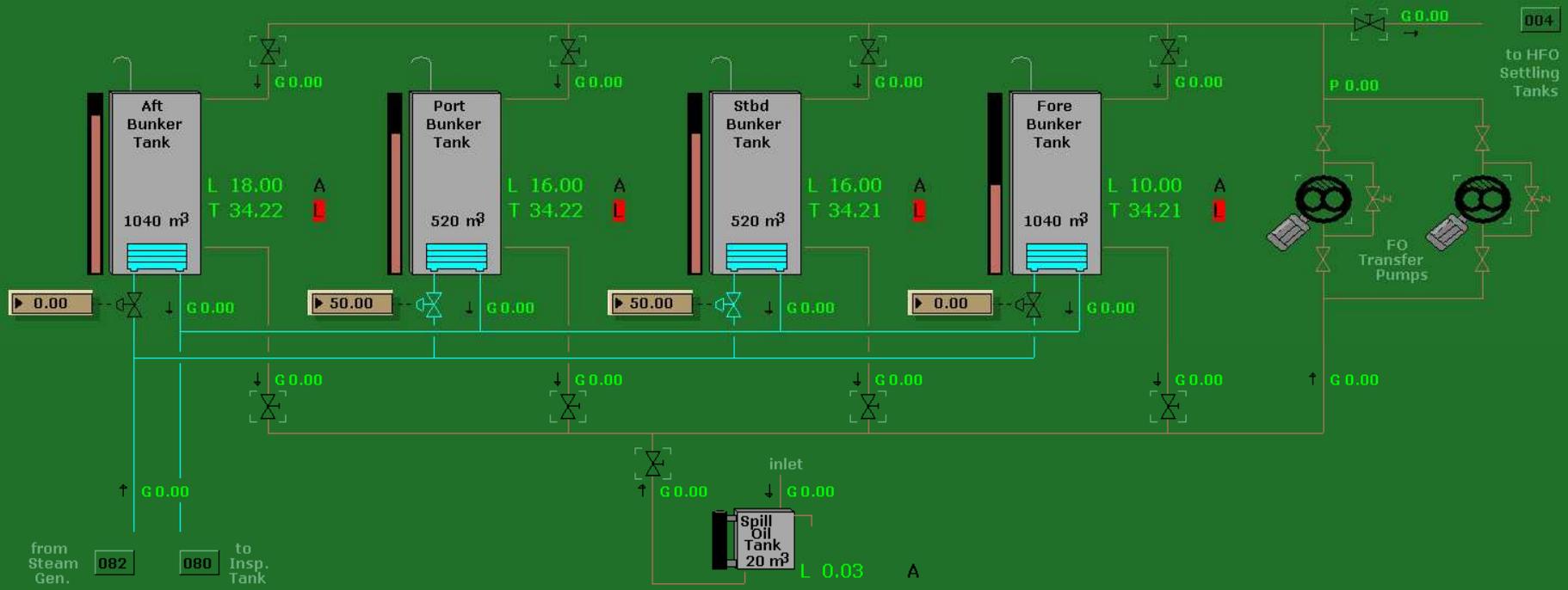
Fuel (combustível residual, mais denso e viscoso)

A trasfega do marine diesel do tanque de reserva para o tanque de alimentação das depuradoras é fácil dado não necessitar de ser aquecido. Porém, o mesmo já não se verifica no caso da trasfega do fuel, dos tanques de reserva para os tanques de decantação, uma vez que apenas se pode efectuar-se após o respectivo aquecimento a mais de 50 °C.

Com efeito para poder ser trasfegado em boas condições, o fuel armazenado nos tanques de reserva tem de ser aquecido através de vapor de água fornecido pelas caldeiras, o qual circula no interior das serpentinas de aquecimento dos referidos tanques. Após a trasfega do fuel dos tanques de reserva para os tanques de decantação, este continua a ser aquecido nestes tanques a temperaturas adequados em função da sua viscosidade.

Os sistemas de trasfega de combustíveis são fundamentalmente constituídos pelas bombas de trasfega, respectiva rede de encanamentos e válvulas. O sistema de trasfega de fuel permite uma série de possibilidades de trasfega, entre os tanques de reserva e entre estes e os tanques de decantação, tal como pode verificar-se através das figuras apresentadas.

Fuel Oil Transfer System



M

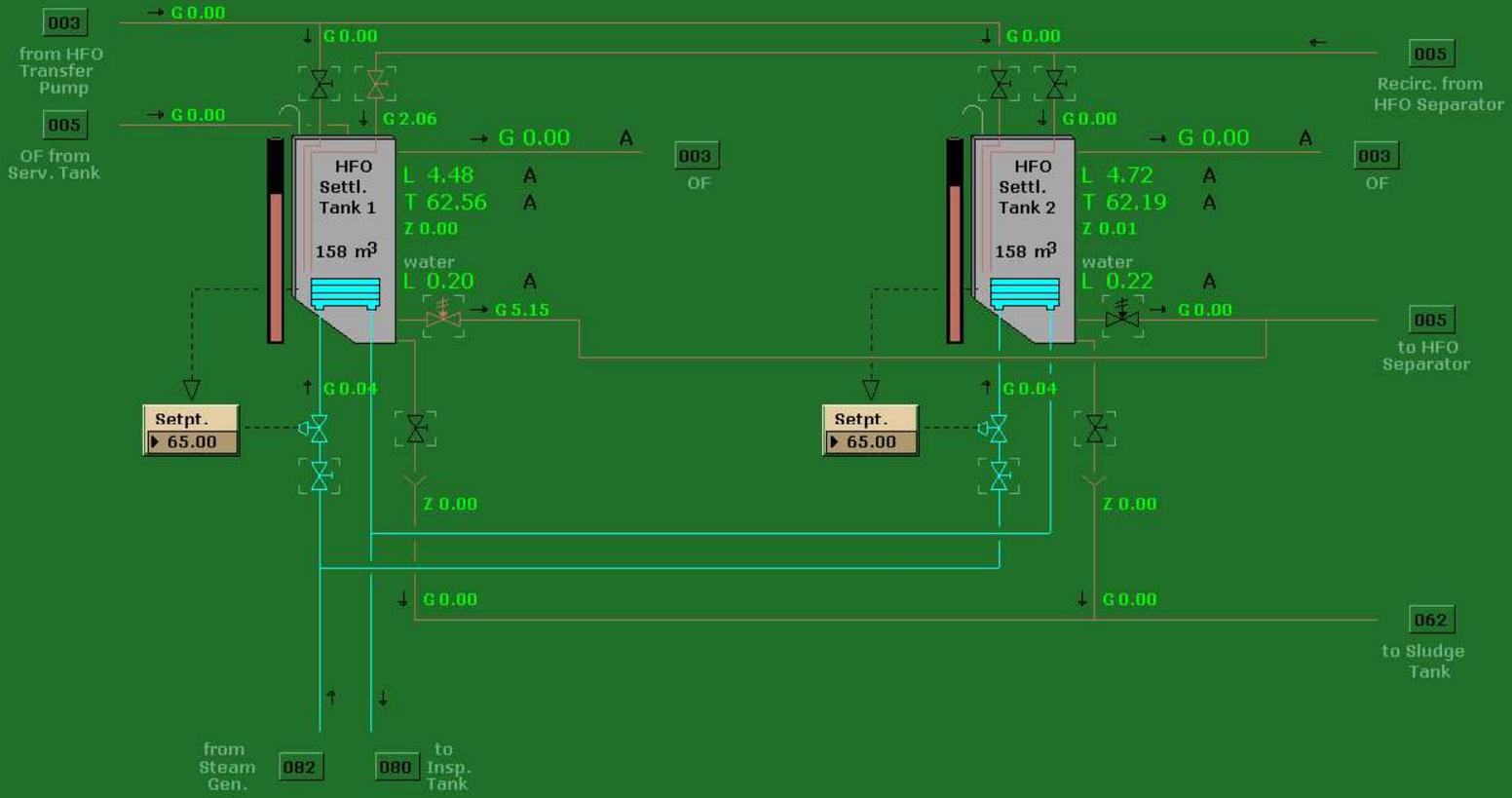
v

L00202 [18.00 m]: Aft bunker tank FO level

6.2 Sistema de decantação de fuel

Tal como pode verificar-se na figura a seguir apresentada, é constituído por dois tanques de decantação dotados das respectivas serpentinas de aquecimento a vapor onde o fuel é aquecido até cerca de 70 °C, a fim de facilitar a decantação dos seus contaminantes mais densos, os quais são drenados para o tanque de resíduos através das respectivas válvulas de purga.

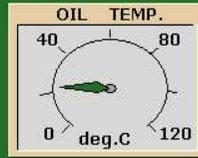
Fuel Oil Settling Tanks



6.3 Sistema de depuração de fuel

Após devidamente aquecido e decantado, o fuel é então aspirado do tanque de decantação através da bomba de alimentação da depuradora, que o faz circular através de um aquecedor de combustível a vapor que lhe aumenta a temperatura para cerca de 110 °C a fim de facilitar a sua depuração, após o que entra na depuradora onde lhe é extraída a água e uma boa parte dos contaminantes, sendo então descarregado já depurado, para os tanques de serviço de fuel, (*Fuel oil service tanks*) também designados por tanques diários de fuel.

HFO Separator 1



Temp. Ctr. AUTO 98.00
MAN 0.00



ALCAP CONTROL

START STOP

- Waiting for speed
- Waiting for temp.
- Discharging seq.
- Draining seq.

Manual Discharge
START

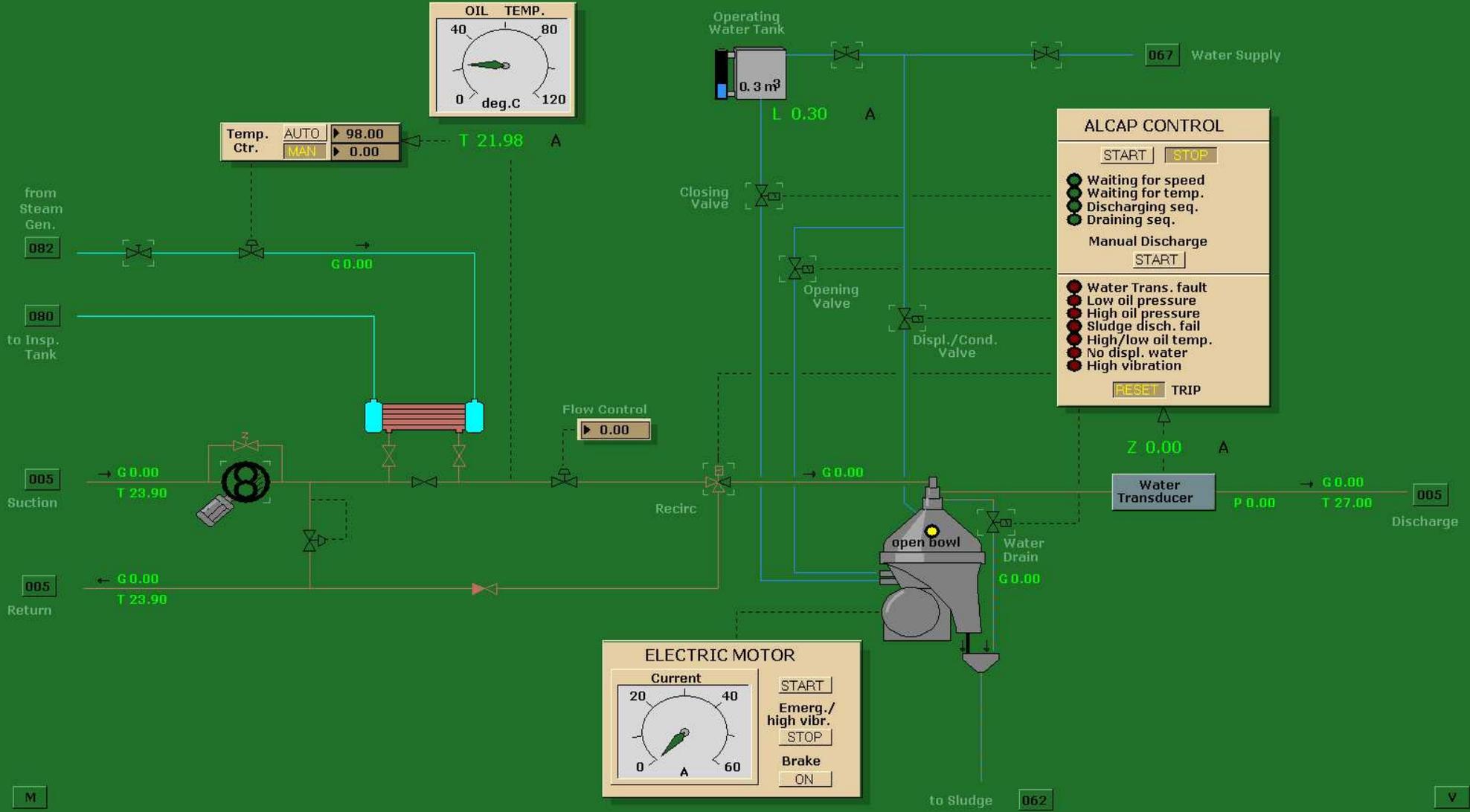
- Water Trans. fault
- Low oil pressure
- High oil pressure
- Sludge disch. fail
- High/low oil temp.
- No displ. water
- High vibration

RESET TRIP

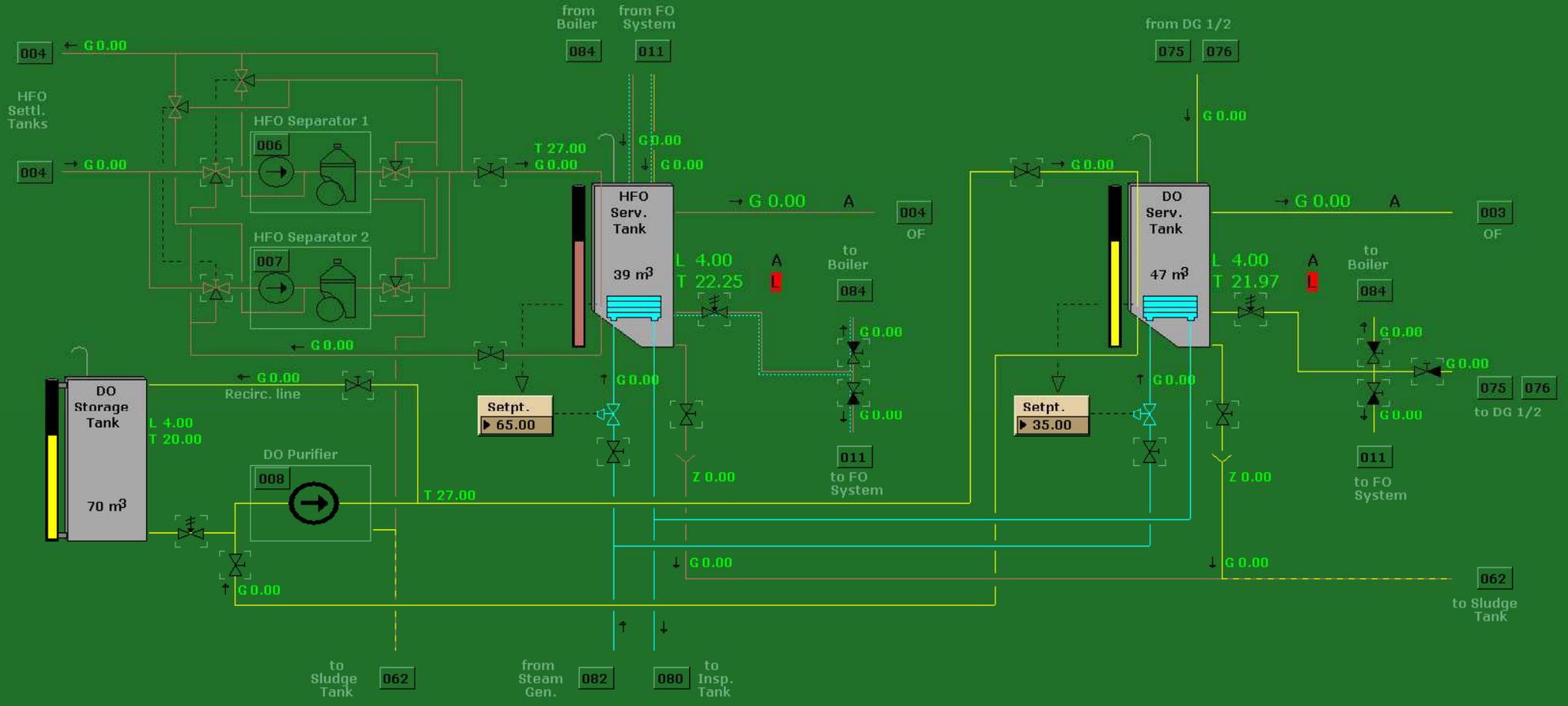
ELECTRIC MOTOR

Current 20 40 60
0 A

START
Emerg./high vibr.
STOP
Brake
ON



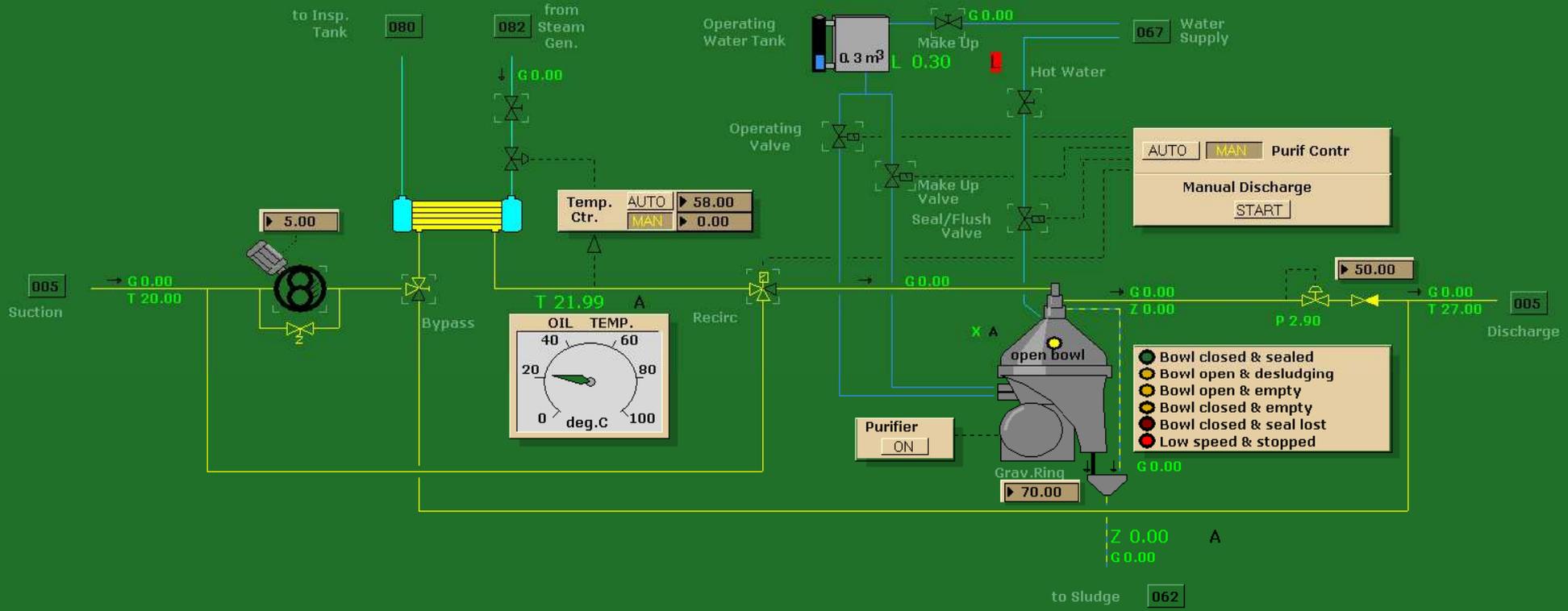
Fuel Oil Service Tanks



6.4 Sistema de depuração de diesel

Dado a melhor qualidade do marine diesel em relação ao fuel, e conseqüentemente o seu menor teor de contaminantes, a sua menor densidade e viscosidade, não necessita de ser decantado antes de ser depurado, razão pela qual é directamente aspirado do tanque de alimentação das depuradoras pela bomba da depuradora, sendo depois ligeiramente aquecido para facilitar a depuração e finalmente depurado, após o que é descarregado no tanque de serviço ou diário de diesel (*DO Service Tank*).

DO Purifier System



Purif Contr

Manual Discharge



- Bowl closed & sealed
- Bowl open & desludging
- Bowl open & empty
- Bowl closed & empty
- Bowl closed & seal lost
- Low speed & stopped

M

v

6.5 Sistema de alimentação de combustível

6.5.1 Generalidades

Os objectivos dos sistemas de alimentação de combustível dos motores diesel, são fornecer o combustível em condições adequadas de pressão e temperatura ao sistema de injeção de combustível, a fim de que este o introduza devidamente pulverizado nos cilindros, por forma a conseguir obter a melhor potência e rendimento.

Os motores diesel marítimos de dois tempos de baixa velocidade, normalmente utilizados como máquinas principais, por razões operacionais e de preservação do meio ambiente, queimam normalmente diesel em manobras e fuel a navegar. O diesel e o fuel, após filtrados e depurados são armazenados nos respectivos tanques de serviço à temperatura adequada.

O fuel, combustível mais denso, viscoso e com maior teor de impurezas requer um tratamento especial no que respeita à eliminação das impurezas e circulação nas tubagens do sistema de alimentação, as quais são revestidas com material isolante e aquecidas através de almofada de vapor a fim de manter o fuel à temperatura conveniente para assegurar a correcta alimentação das bombas de injeção e dos injectores.

Após as manobras de saída de porto, é usual mudar o consumo de combustível das máquinas principais de diesel para fuel, pelo que é necessário efectuar previamente o aquecimento deste à temperatura adequada (110 a 130° C), a fim de obter a viscosidade que permite obter uma boa pulverização.

Pelo contrário, sempre que for necessário passar o consumo de combustível de fuel para diesel, tal como acontece quando nos aproximamos de um porto, é necessário desligar com suficiente antecedência o aquecimento do fuel e aguardar que a temperatura deste baixe para valores convenientes, de modo a obter a viscosidade desejada, a fim de passar o consumo para diesel.

O processo de diminuição de temperatura do fuel deve ser iniciado com tempo suficiente para permitir que todo o que estiver nas tubagens de alimentação seja consumido pelo motor, pois caso tal se não verifique, dado que a sua viscosidade aumenta à medida que arrefece, corre-se o risco do sistema de combustível pode bloquear após a sua paragem e conseqüente arrefecimento do fuel.

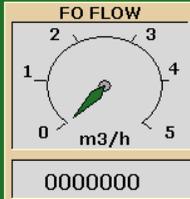
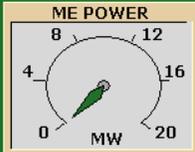
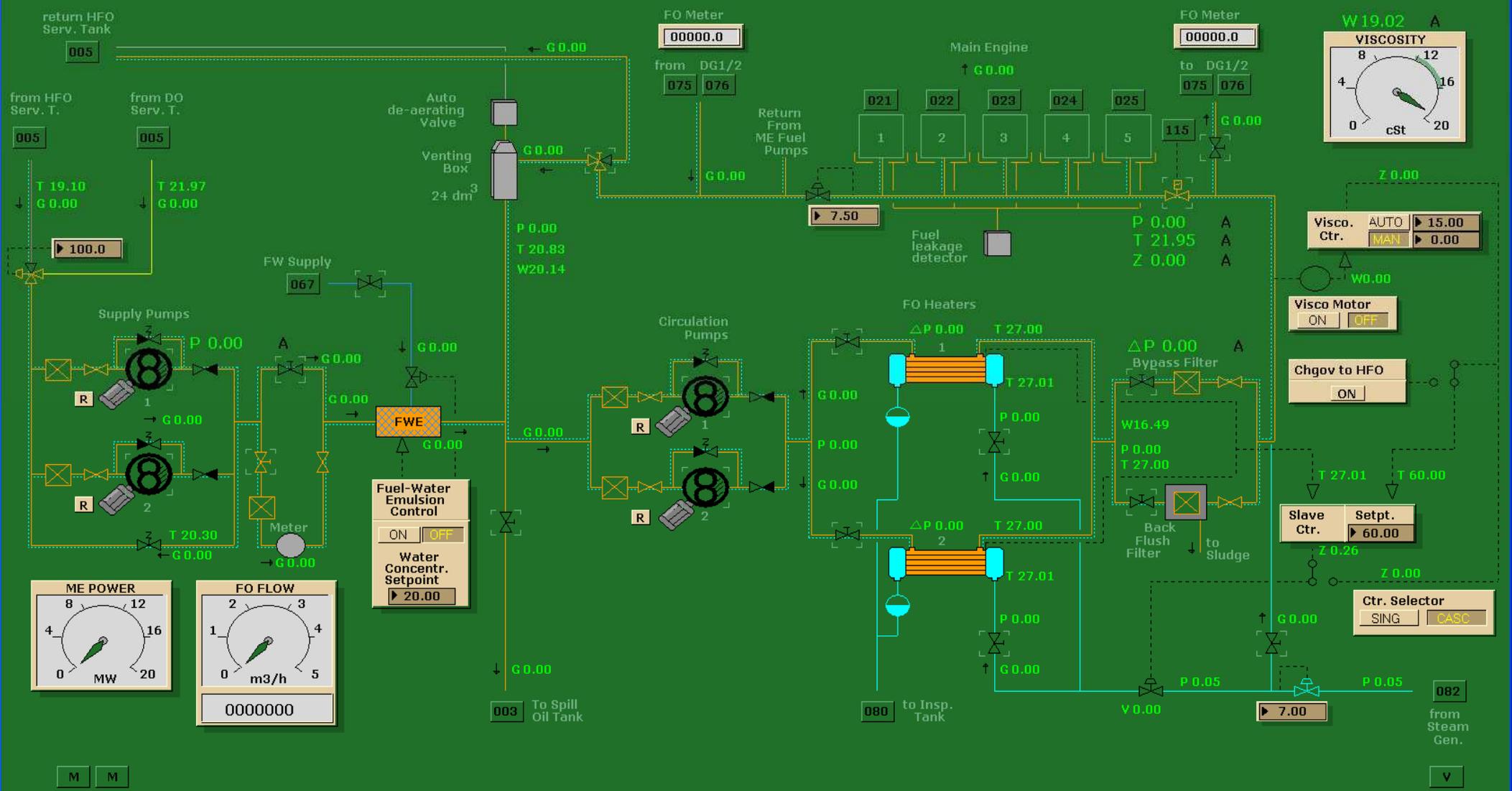
Por outro lado os motores diesel marítimos de quatro tempos de média velocidade, umas vezes utilizados como máquinas principais e outras como auxiliares, queimam normalmente diesel (marine diesel) e por vezes também fuel. Quando queimam fuel adoptam-se procedimentos similares aos descritos para os motores de dois tempos de baixa velocidade.

6.5.2 Constituição do sistema de alimentação de combustível

A constituição do sistema de alimentação de combustível dos motores diesel marítimos pode ser diversa, uma vez que depende por um lado dos tipos de combustível que consomem (marine diesel, fuel, gás), e por outro, da pressão que é necessário assegurar para alimentar em boas condições o sistema de injeção.

Na figura a seguir apresentada pode ver-se a constituição típica de um sistema de alimentação de combustível de um motor diesel marítimo principal de dois tempos de baixa velocidade.

Fuel Oil System



Visco. Ctr. AUTO MAN

Setpoint: 15.00

Visco Motor ON OFF

Chgvo to HFO ON

Slave Ctr. Setpt. 60.00

Ctr. Selector SING CASC

M M

V

6.5.3 Funcionamento do sistema de alimentação de combustível

Como pode ver-se no sistema apresentado, durante as manobras, as bombas de alimentação de baixa pressão do sistema, aspiram o diesel contido no respectivo tanque de serviço através dos respectivos filtros e enviam-no via contador de combustível e respectivas tubagens para a alimentação das bombas de circulação de média pressão a cerca de 2 a 4 bar.

As bombas de circulação de média pressão recebem o combustível das bombas de alimentação através dos respectivos filtros e enviam-no através do aquecedor de combustível, viscosímetro e filtros finais para o sistema de injeção de alta pressão, a uma pressão de 6 a 9 bar.

A função dos filtros do sistema é obviamente reter as impurezas sólidas do combustível que excedam determinadas dimensões, a fim de evitar danos nas bombas e o entupimentos dos minúsculos orifícios dos injectores, enquanto o viscosímetro assegura o controlo da viscosidade do combustível, a qual é função do aquecimento a que o mesmo é submetido no respectivo aquecedor, uma vez que o aumento de temperatura proporciona a diminuição da viscosidade.

A navegar, tudo decorre de forma similar, residindo a principal diferença no facto do combustível que alimenta o motor ser o fuel, que como já vimos tem de ser adequadamente aquecido para poder ser queimado em boas condições pelo motor, sendo também neste caso o retorno do excesso normalmente efectuado para o tanque de mistura, da forma já descrita.

7 Ar comprimido necessário aos motores diesel marítimos

7.1 Introdução

Os motores diesel marítimos dadas as suas características peculiares necessitam de dispor de ar comprimido a pressões adequadas e em quantidade suficiente para a satisfação das seguintes necessidades:

Controlo remoto do funcionamento

Accionamento pneumático de válvulas de evacuação (motores 2 tempos)

Arranque através da introdução de ar comprimido nos cilindros

Acoplamento de geradores acoplados aos motores

Para a satisfação destas e outras necessidades, como adiante veremos, as instalações de máquinas marítimas dispõem de dois sistemas de ar comprimido que operam a pressões distintas:

Sistema de ar comprimido de serviço ou auxiliar (pressão de 7 bar)

Sistema de ar comprimido de arranque ou principal (pressão de 30 bar e 40 bar)

7.2 Sistema de ar comprimido de serviço (auxiliar)

Normalmente fornece o ar necessário para as seguintes necessidades de serviço dos navios mercantes:

Controlo remoto de motores diesel e outros equipamentos

Sistema de manobra do motor principal

Dispositivos de acoplamento de geradores de corrente ao MP

Sistema de tratamento dos gases de evacuação

Movimentação de embarcações salva vidas

Apitos pneumáticos

Limpeza exterior de tubulares de caldeiras de porto e recuperativas

Almofadas pneumáticas dos hidroforos de água doce e salgada

Ejectores de ar

Ferramentas pneumáticas

Limpeza de peças metálicas, filtros de diversos tipos etc.

Desobstrução de tomadas de aspiração de água do mar, tubagens, etc.

Tal como pode ver-se na figura, este sistema é normalmente constituído por um compressor auxiliar de um ou dois estágios que aspira o ar do meio envolvente, através de filtros, o qual comprime nos cilindros.

Após comprimido o ar é arrefecido por meio de água doce ou salgada, a fim de ser enviado para o reservatório de serviço ou auxiliar de ar comprimido onde fica armazenado à pressão de 7 bar para posteriores utilizações. Os arrefecedores e o reservatório de ar de serviço devem ser purgados com frequência para extracção da água condensada a qual é prejudicial para o funcionamento dos equipamentos utilizadores.

De notar que muito embora este sistema disponha de compressor próprio, o reservatório de ar comprimido de serviço pode também ser carregado através do ar armazenado nos reservatórios de ar de arranque mediante a sua passagem através de uma válvula redutora que lhe diminui a pressão de 30 para 7 bar.

A fim de garantir a segurança de operação o compressor e o reservatório de ar de serviço são munidos de válvulas de segurança e de manómetros indicadores de pressão.

Existem igualmente purgas de água condensada em vários pontos do sistema, nomeadamente nos arrefecedores e no reservatório de serviço.

A fim de ser utilizado nos sistemas de controlo remoto, o ar de serviço passa por um dispositivo onde é filtrado, seco e a pressão reduzida ao valor adequado de cerca de 2 bar.

Na figura a seguir apresentada pode visualizar-se um sistema típico deste tipo, cujos elementos componentes estão os componentes devidamente identificados.

7.3 Sistemas de ar comprimido de arranque (principal)

7.3.1 Generalidades

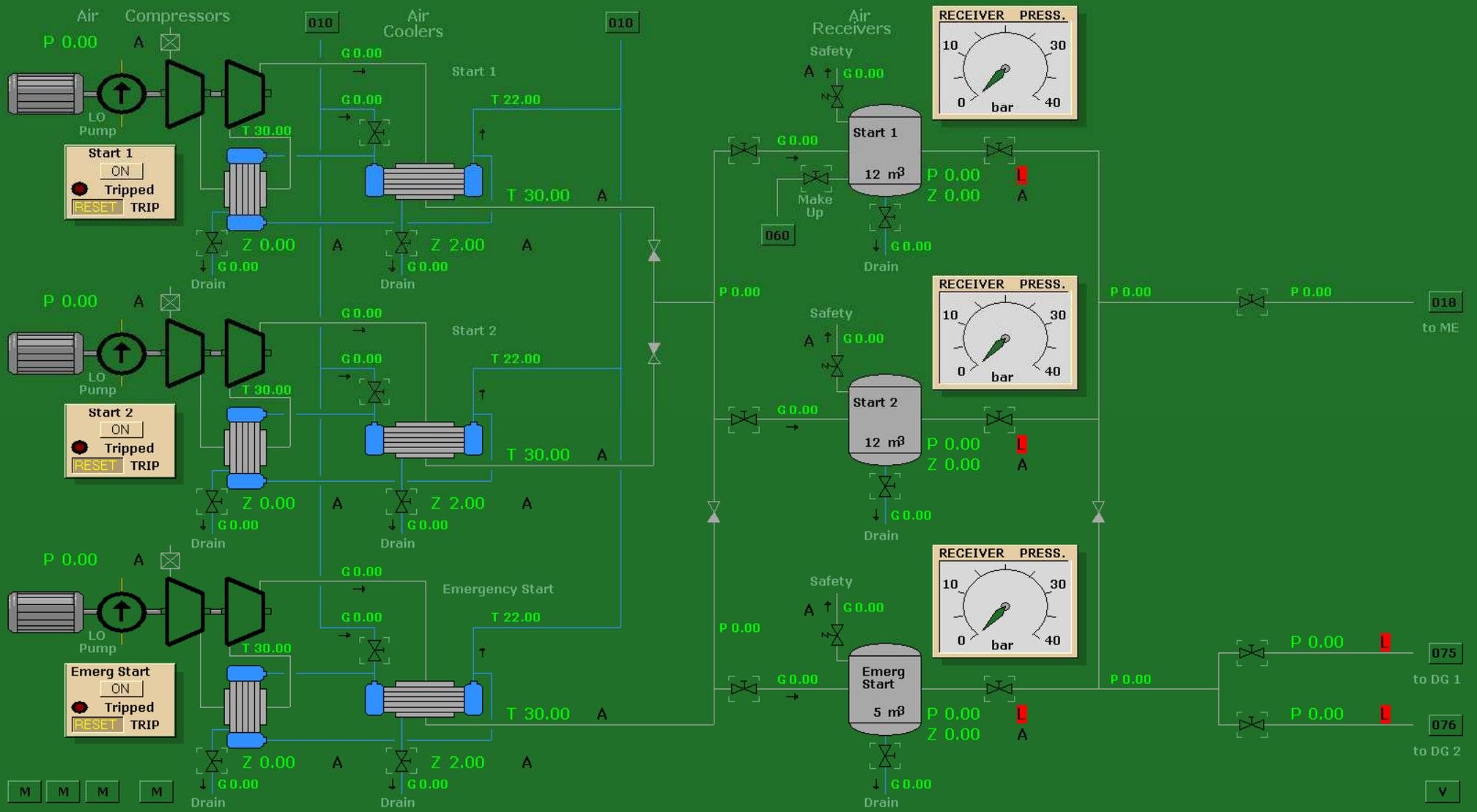
O arranque dos motores diesel de pequenas dimensões e potência, é relativamente fácil, basta recorrer a um sistema que utiliza um motor eléctrico alimentado por uma bateria de corrente contínua de baixa tensão e o respectivo interruptor, tal como é usual nos motores dos automóveis, etc.

Porém quando se trata de motores de média e grande potência e dimensões, como são os utilizados nos navios na produção de energia eléctrica e na propulsão, as dificuldades para obter o impulso necessário para o motor arrancar, são muito maiores, pelo que é necessário recorrer a **sistemas** que disponham de uma fonte de energia com maior potencial, tal como o ar comprimido, o qual para o efeito é armazenado em reservatórios de aço, cilíndricos à pressão de cerca de 30 bar, designados por **reservatórios de ar de arranque** ou **garrafas de ar de arranque**.

Estes reservatórios de ar de arranque, são carregados por compressores de ar capacidade elevada, a fim de existir sempre ar disponível para ser introduzido em cada um dos cilindros do motor de uma forma sequencial igual à sua ordem de inflamação, durante um determinado deslocamento angular do veio de manivelas correspondente à fase de expansão do ciclo de funcionamento.

Os compressores de ar de arranque são em regra independentes, accionados electricamente, no entanto por vezes também são acoplados ao motor a fim de serem accionados por este

Start Air System



O carregamento dos reservatórios de ar de arranque do sistema efectua-se da seguinte forma: o ar é aspirado da atmosfera envolvente de cada compressor, através de filtros, entra no cilindro de baixa pressão, depois passa por um arrefecedor circulado por água doce ou salgada para diminuir a sua temperatura, entra no cilindro de alta pressão, é novamente arrefecido agora no arrefecedor de alta pressão, após o que entra no **reservatório de ar de arranque**.

No que respeita à forma como os sistemas de ar de arranque dos motores diesel podem ser operados temos:

Sistemas de ar de arranque operados manualmente

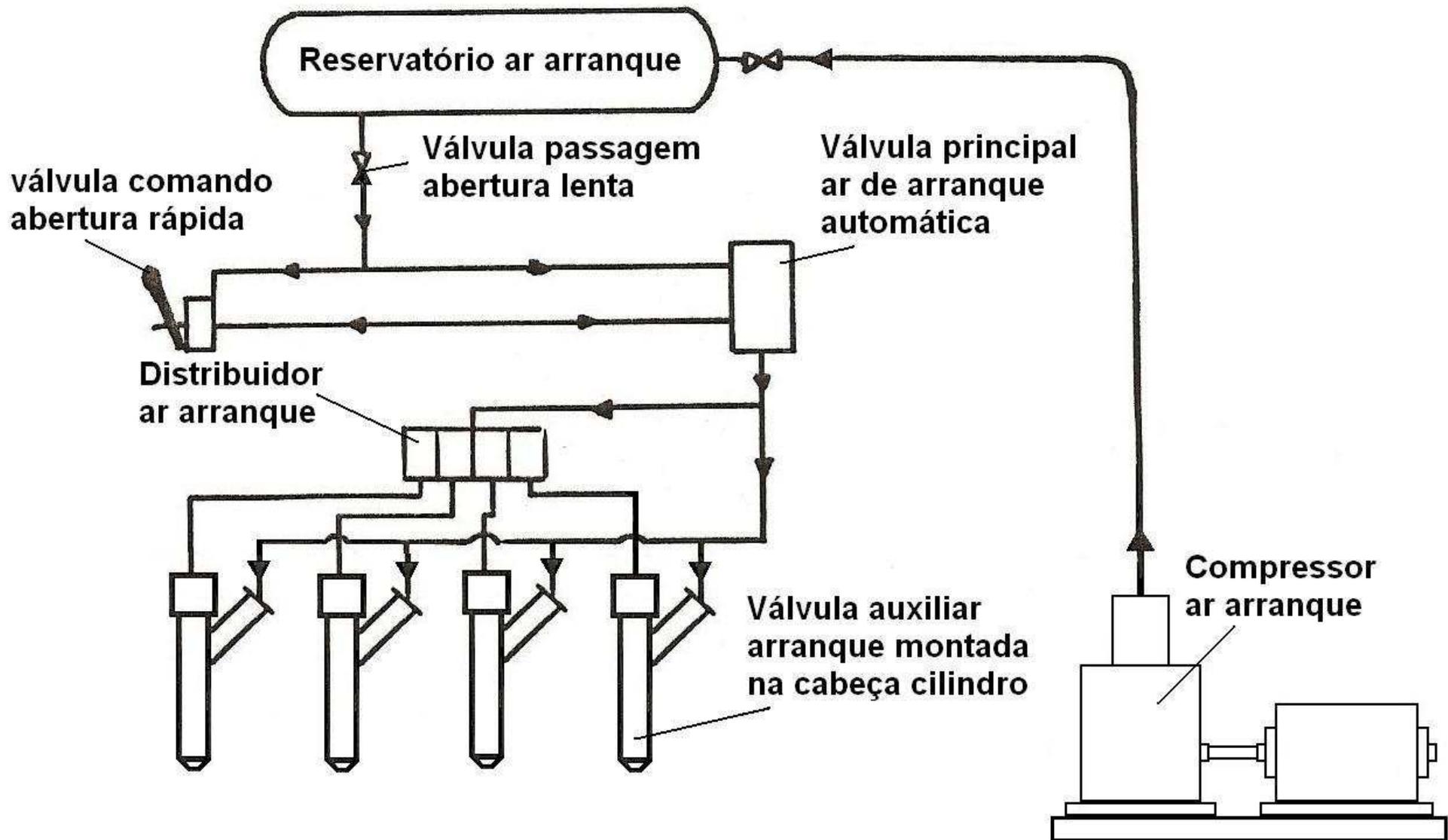
Sistemas de ar de arranque operados por controlo remoto

7.3.2 Sistema de ar de arranque operado manualmente

Trata-se de um sistema tradicional, cuja eficiência no que respeita ao consumo de ar relativo a cada arranque do motor depende essencialmente da experiência e habilidade do operador. Dado tratar-se de um sistema muito sensível por vezes a quantidade de ar introduzida em cada um dos cilindros é de tal modo exagerada que provoca o disparo frequente das respectivas válvulas de segurança.

Este sistema têm vindo a ser progressivamente preterido, pelo que os novos motores diesel marítimos já são na generalidade equipados com o sistema de ar de arranque operado por controlo remoto.

Na figura a seguir apresentada pode observar-se o esquema simplificado de um sistema de ar de arranque operado manualmente.



Sistema de ar de arranque operado manualmente

7.3.2.1 Funcionamento do sistema de ar de arranque operado manualmente

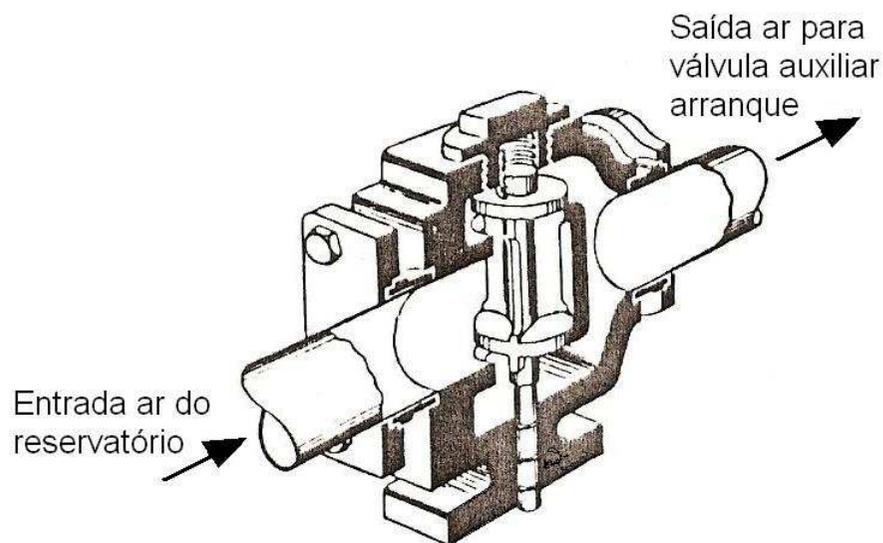
A função do sistema é introduzir de uma forma sequencial similar à ordem de inflamação do motor, em cada um dos seus cilindros, através da respectiva válvula auxiliar de ar de arranque, a quantidade de ar comprimido a cerca de 30 bar, necessária para obter o impulso que possibilite o arranque do motor.

Uma vez carregados da forma anteriormente descrita, à pressão de cerca de 30 bar , os reservatórios de ar de arranque, estão reunidas as condições para iniciar o processo de arranque do motor. Para o efeito abre-se lentamente a válvula de saída do reservatório de ar de arranque a ser utilizado. Este ar que deve estar isento de água e óleo, escoar-se simultaneamente para a válvula manual de comando de abertura rápida carregada por mola de reposição da posição de fechada e para a válvula automática principal de ar de arranque.

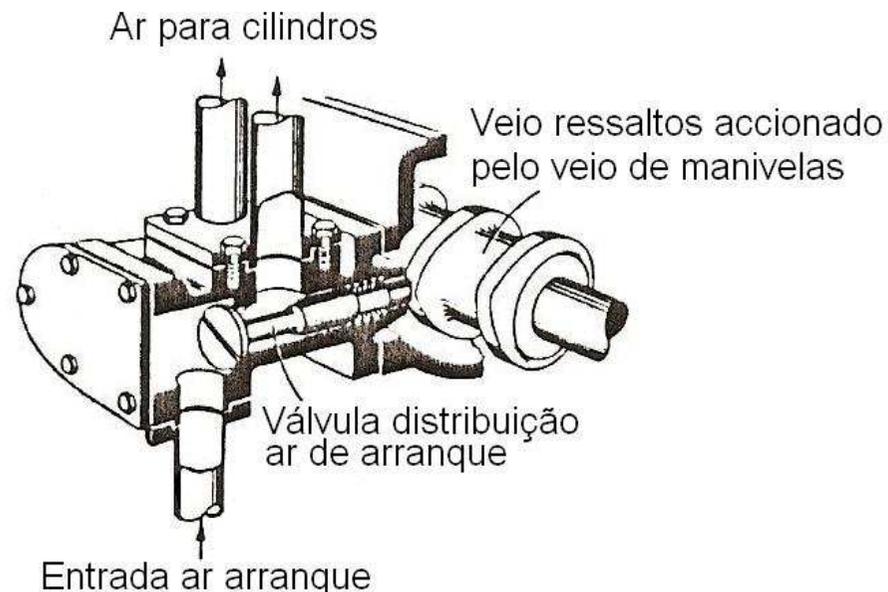
Normalmente existem dispositivos que bloqueiam o funcionamento destas duas válvulas quando o virador do motor está engrenado, as alavancas de comando das bombas de injeção de combustível incorrectamente posicionadas ou se verifique alguma anomalia nos sistemas essenciais do motor.

Quando a válvula manual de comando de abertura rápida é accionada pelo operador, permite a passagem de ar para a parte inferior da válvula automática principal de ar de arranque e então esta abre deixando passar o ar comprimido directamente do reservatório para o distribuidor de ar de arranque e para as válvulas auxiliares de ar de arranque montadas nas cabeças dos cilindros.

Nas figuras pode ver-se uma válvula principal e um distribuidor de ar de arranque, ambos em corte.



Válvula principal de ar de arranque em corte

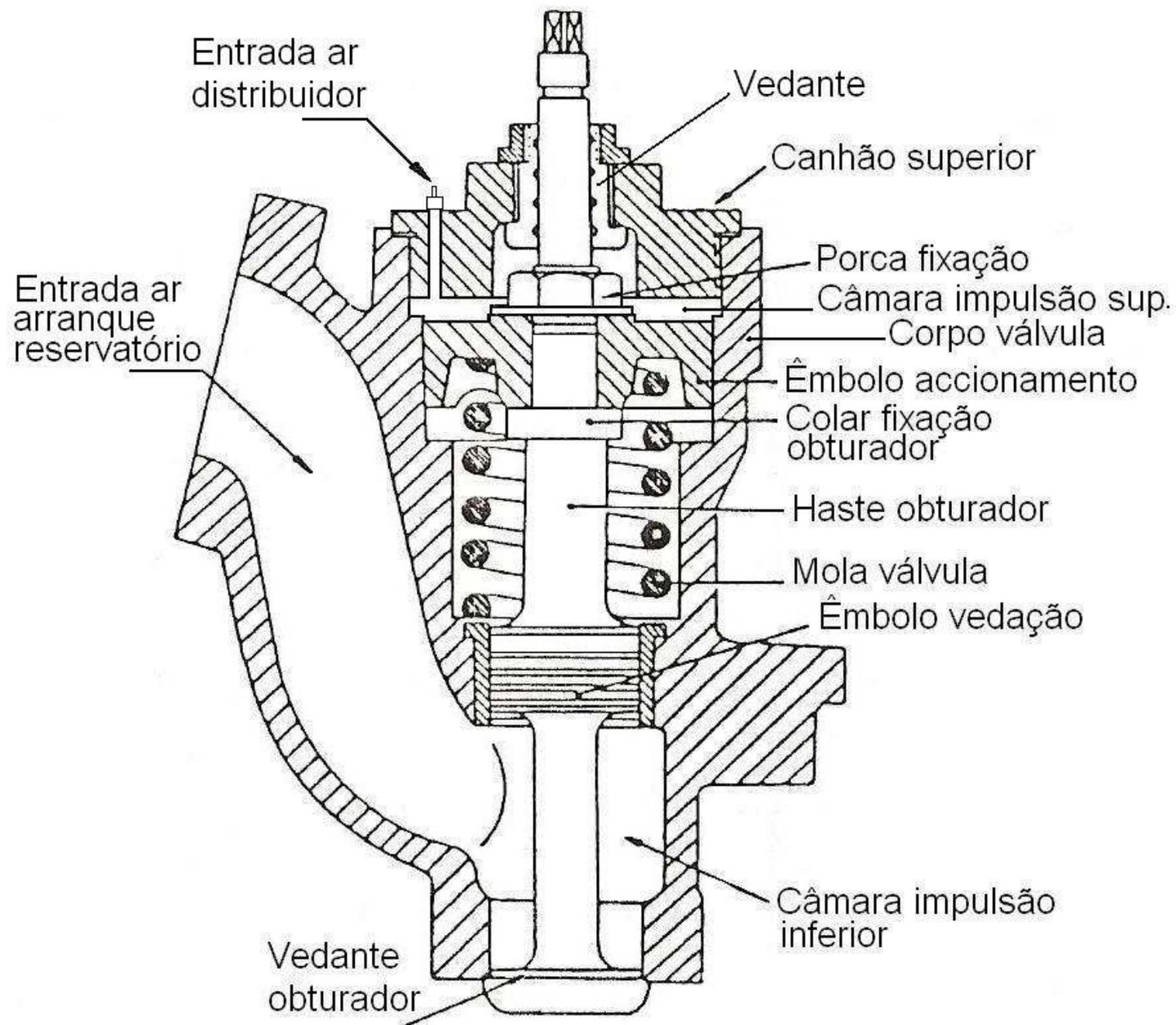


Distribuidor de ar de arranque em corte

Dado que existe sempre uma válvula do distribuidor de ar de arranque relativa a um cilindro, aberta devido ao posicionamento do veio de ressaltos do distribuidor, a pressão exercida pelo ar comprimido da câmara de impulsão superior no êmbolo de accionamento do obturador da válvula auxiliar de ar de arranque, combinada com a pressão exercida pelo ar comprimido da câmara inferior ligada directamente ao reservatório de ar de arranque, no obturador da mesma, faz com que a válvula auxiliar de arranque abra, e o ar comprimido oriundo do reservatório seja introduzido em cada um dos cilindros à medida que o veio de manivelas do motor vai rodando, sincronizado como o veio de ressaltos do distribuidor de ar de arranque por ele comandado.

De salientar, que as molas das válvulas auxiliares de ar de arranque tendem a mantê-las fechadas, a fim de que abram apenas para deixar passar o ar comprimido para os cilindros quando as manivelas orrespondentes, já tenham ultrapassado o PMS, isto é, se encontrem posicionadas a cerca de 5° de deslocamento angular após o mesmo e fechem quando já estejam posicionadas perto do PMI, um pouco antes do início da evacuação.

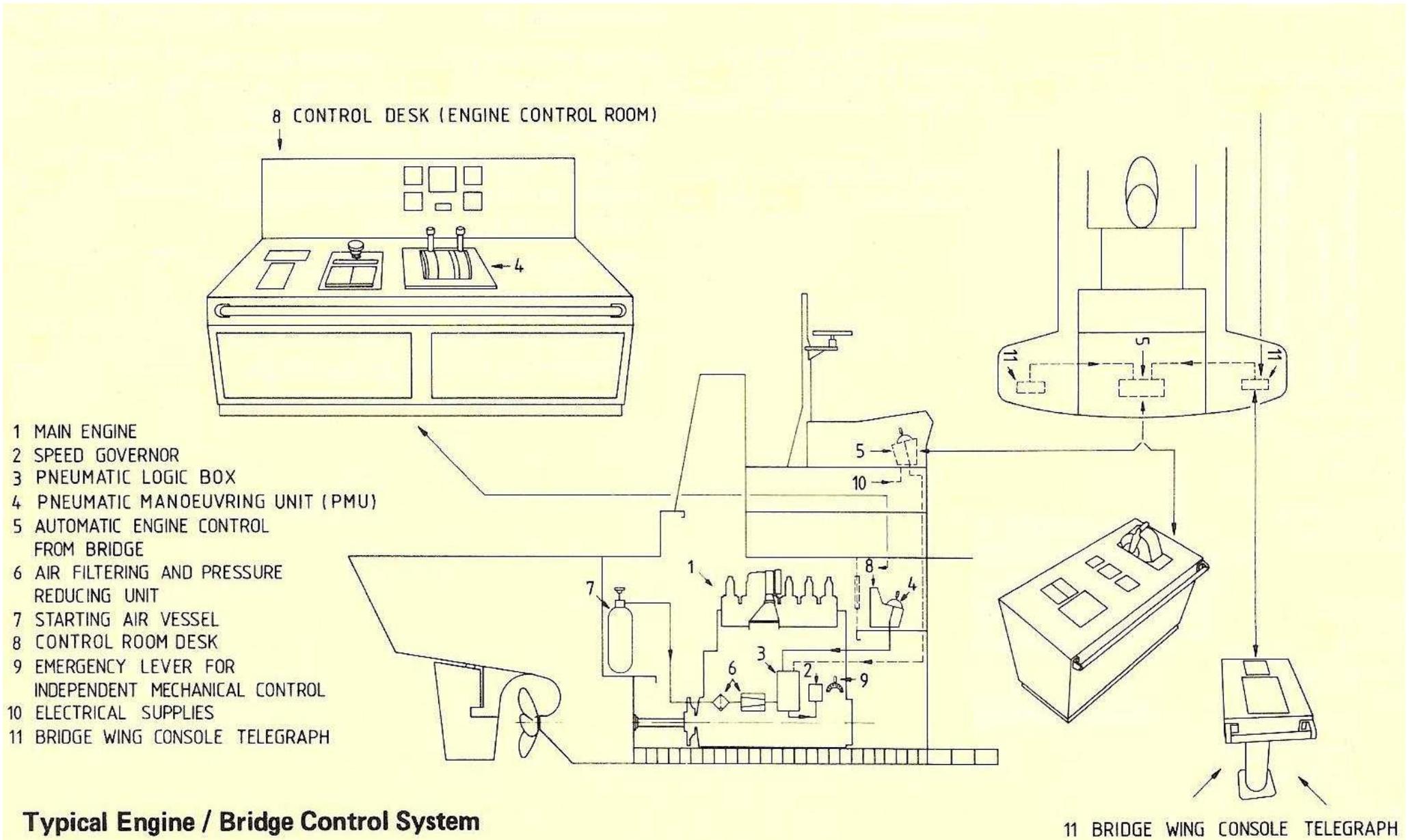
O funcionamento da válvula auxiliar de ar de arranque de cada cilindro pode ser facilmente apreendido através da análise da figura.



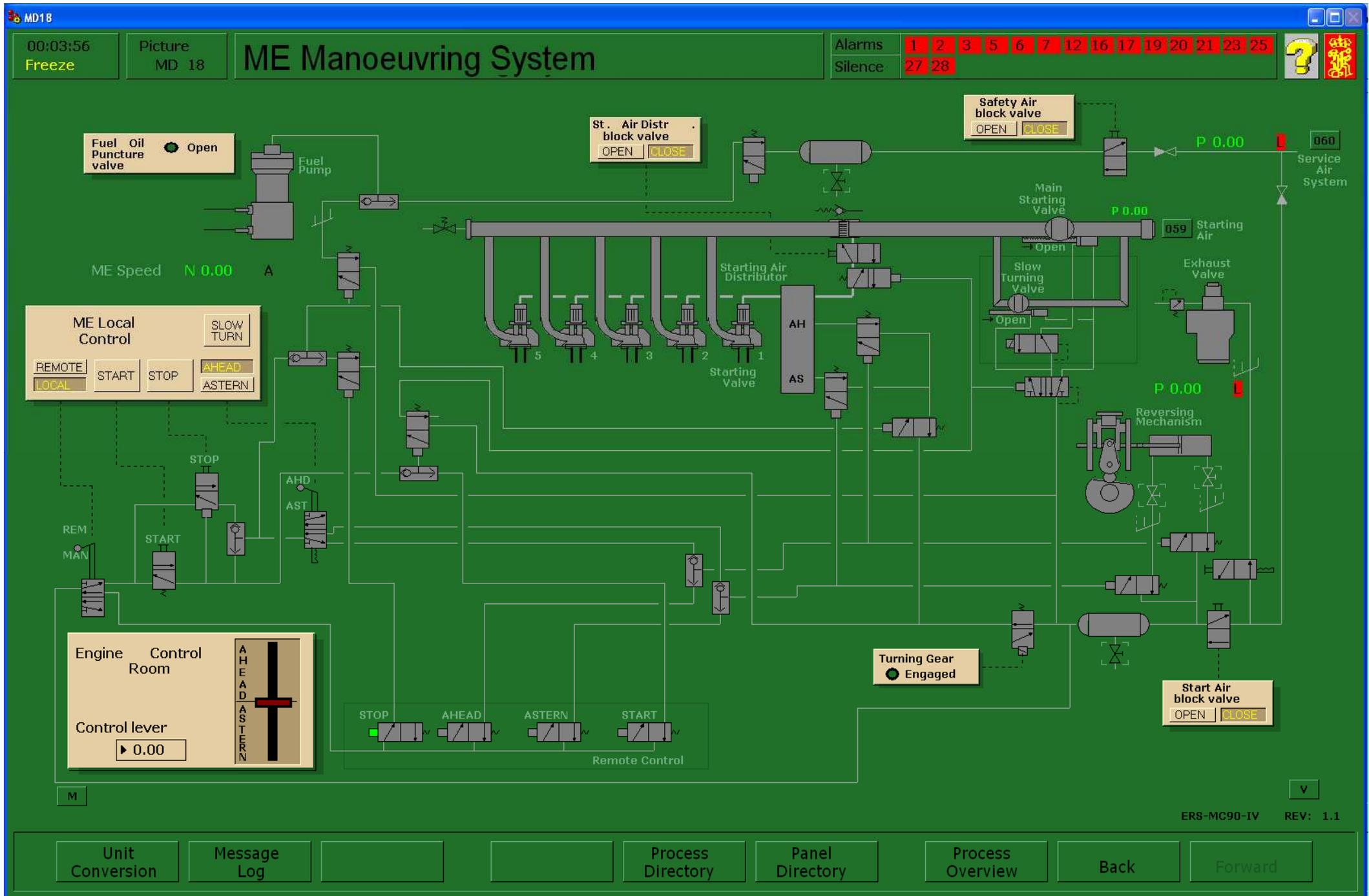
Válvula auxiliar de ar de arranque

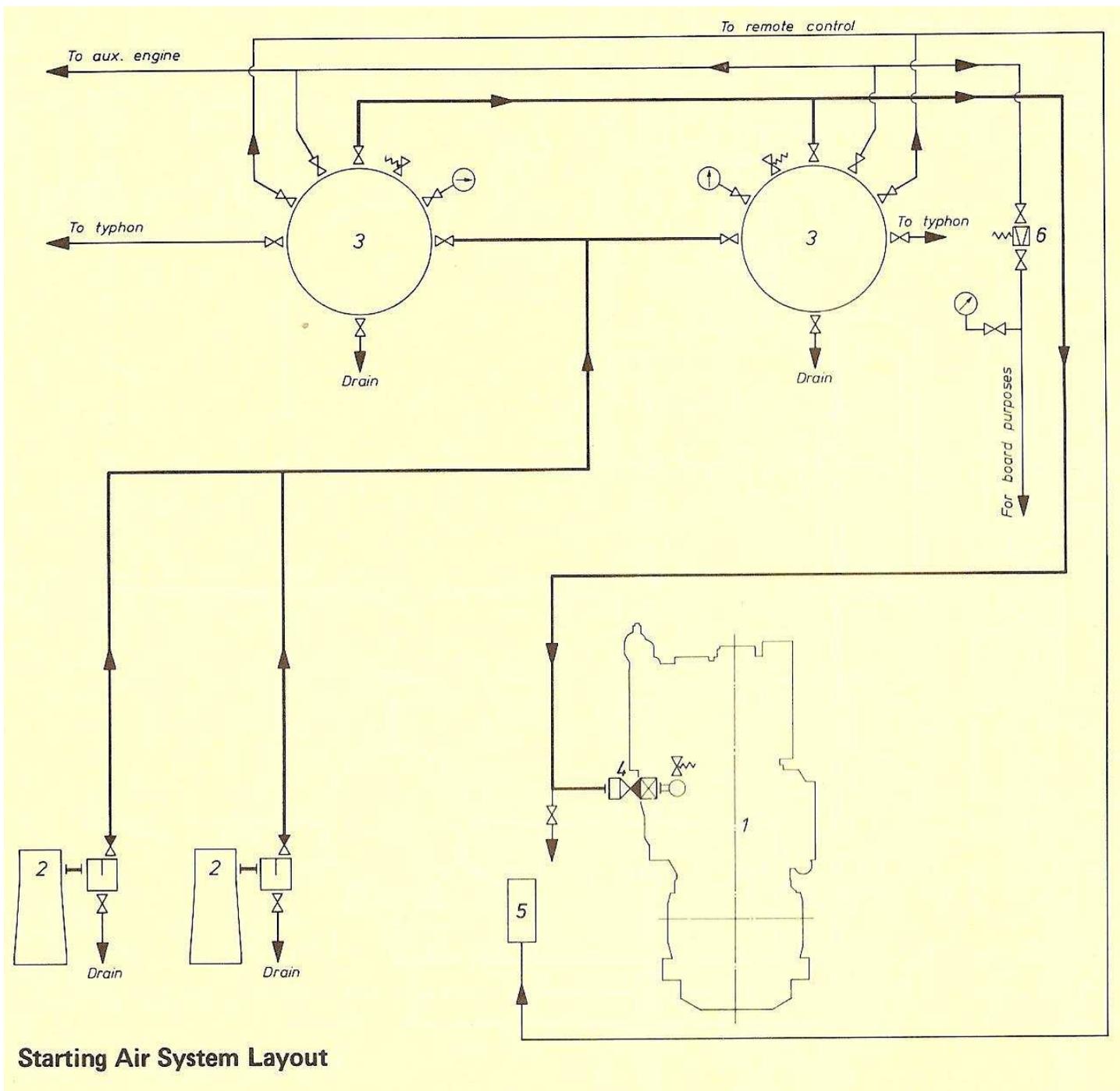
7.3.3 Sistema de ar de arranque operado por controlo remoto

Na figura abaixo apresentada, podem visualizar-se os componentes utilizados no controlo remoto do sistema de ar de arranque de um motor diesel marítimo de dois tempos bem como a sua disposição relativa.



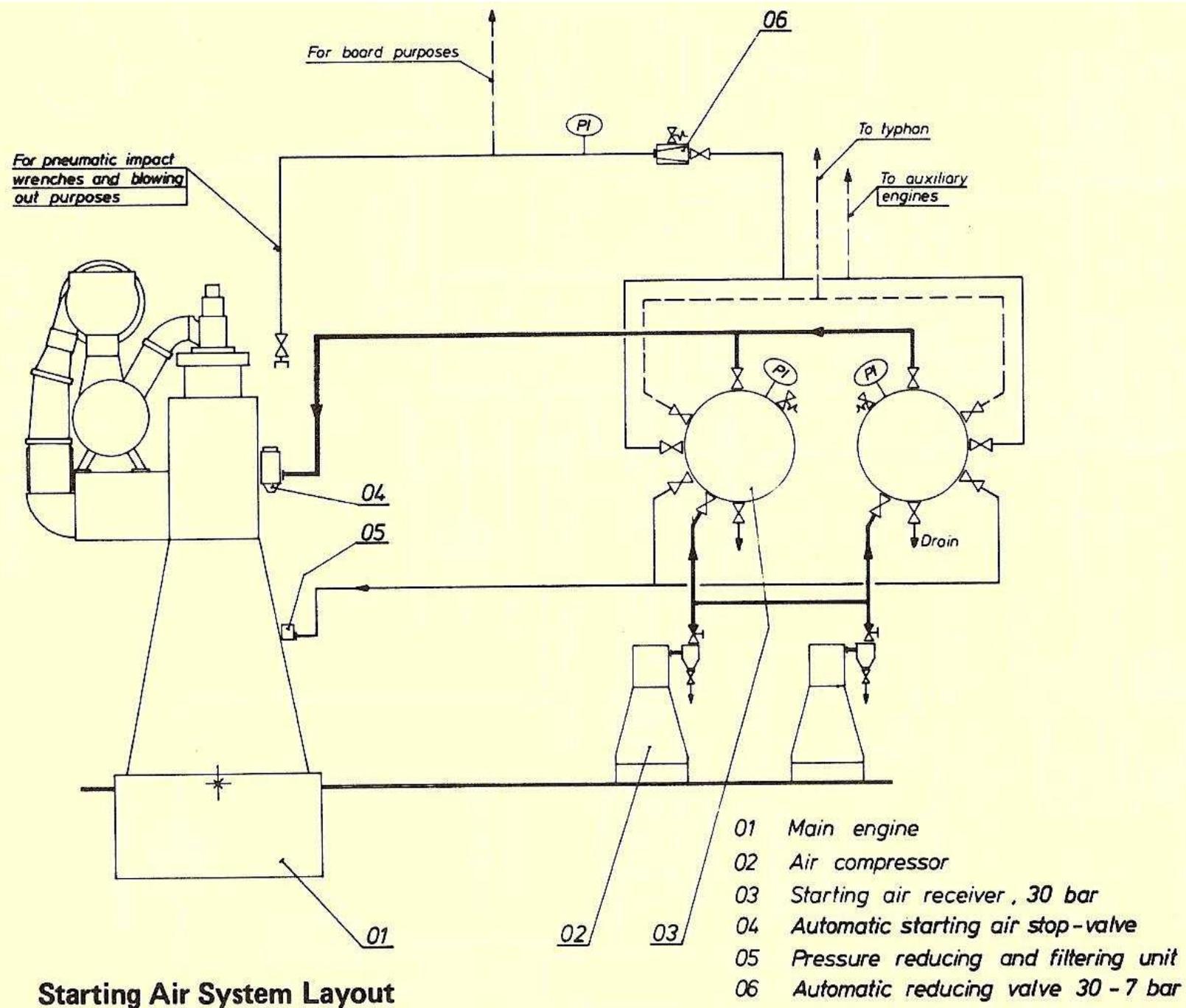
Na figura a seguir apresentada pode ver-se um sistema típico de manobra onde está inserido o sistema de inversão de marcha de um motor diesel marítimo de 2 tempos reversível.





Starting Air System Layout

Sistema de ar de arranque de um motor diesel marítimo de 4 tempos



Starting Air System Layout

Sistema de ar de arranque de um motor diesel marítimo de 2 tempos

8 Inversão de marcha dos motores diesel marítimos

8.1 Generalidades

Dada a necessidade que os navios têm de operar para vante e para ré, neste último caso em regra apenas durante as manobras de acostagem e fundear, têm de ser providos com sistemas que lhes confirmam essa capacidade.

Para o efeito os motores diesel marítimos que propulsionam os navios mercantes podem ser dotados com sistemas com capacidade para inverter o sentido de marcha dos navios dos seguintes tipos:

Sistema de inversão de marcha de motor reversível

Sistema de inversão de marcha de motor irreversível

8.2 Sistema de inversão de marcha de motor reversível

Utiliza-se normalmente quando o navio é propulsionado por um motor diesel marítimo de dois tempos de baixa velocidade de rotação (até 250 rpm). O motor, a linha de veios e o hélice, rodam no mesmo sentido e à mesma velocidade de rotação.

A reversibilidade do motor permite-lhe rodar tanto para a direita como para esquerda, tendo como referência que o observador está colocado a ré do navio e voltado para a proa. U motor reversível tem por isso capacidade para accionar um hélice em qualquer dos sentidos de rotação referidos, pelo que normalmente acciona um hélice de passo fixo que apresenta como vantagens a sua maior simplicidade, baixo custo, menor manutenção e maior fiabilidade quando comparado com um hélice de passo variável equivalente.

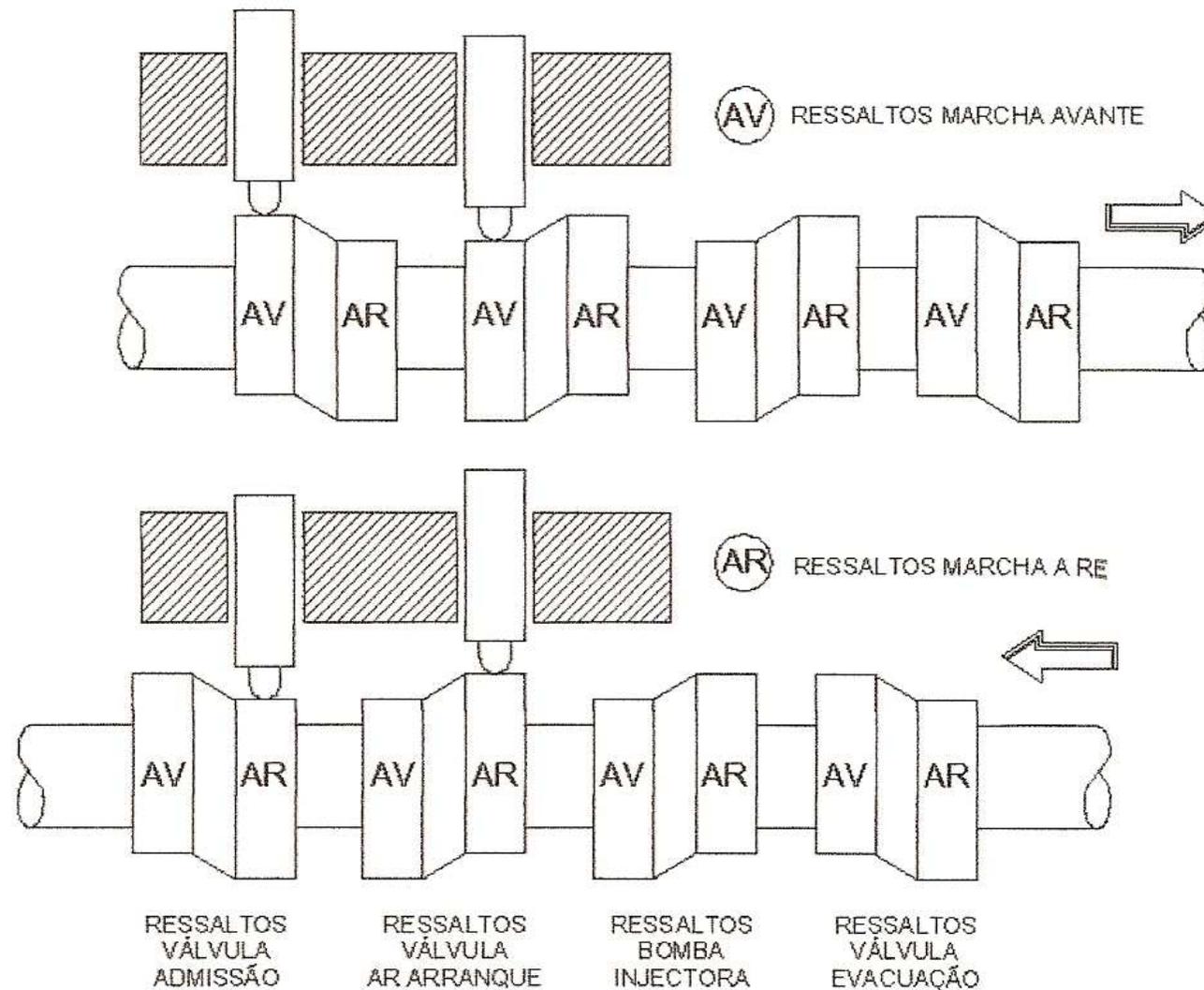
A reversibilidade dos motores diesel marítimos de dois tempos de baixa rotação convencionais, obtém-se mediante a alteração da regulação da distribuição, dado a inversão do sentido de rotação do motor implicar a alteração súbita das fases do ciclo de funcionamento e conseqüentemente do início e fim da abertura e fecho das válvulas de evacuação dos motores com lavagem longitudinal, bem como do início e fim da injeção de combustível nos cilindros e ainda da distribuição do ar de arranque introduzido nos cilindros para o arranque do motor.

A alteração da regulação da distribuição dos motores diesel de 2 tempos convencionais pode ser efectuada utilizando os seguintes métodos:

Veio de distribuição do motor susceptível de deslocamento longitudinal, com conjunto duplo de ressaltos ligados por uma rampa;

Veio de distribuição do motor susceptível de deslocamento angular com conjunto simples de ressaltos;

Uma solução semelhante para o veio de ressaltos do distribuidor de ar de arranque.



INVERSÃO DE MARCHA POR DESLOCAMENTO LONGITUDINAL DO VEIO DE RESSALTOS

Nos motores diesel marítimos de dois tempos de baixa rotação mais modernos que em certos casos já nem sequer possuem veios de distribuição, as operações de alteração da distribuição são efectuadas através de dispositivos de controlo remoto de circuitos hidráulicos e pneumáticos controlados por computadores.

8.3 Sistema de inversão de marcha de motor irreversível

Este sistema é normalmente utilizado, quando a máquina principal do navio é um motor diesel marítimo de quatro tempos de média velocidade de rotação (> 250 rpm e < 1000 rpm). O mais usual nesta situação, é o motor transmitir a potência ao hélice através de uma caixa de engrenagens redutoras e uma linha de veios, para que todos rodem no mesmo sentido e a velocidade de rotação do hélice seja inferior à do motor, a fim de aumentar o seu rendimento propulsivo.

A inversão de marcha de um navio propulsionado por um motor com as características referidas, é obtida com toda a simplicidade sem necessidade da sua paragem, mediante a alteração do passo do hélice.

Para o efeito recorre-se ao controlo remoto de sistemas pneumáticos e hidráulicos que efectuam a rotação das pás do hélice de modo a que este possa operar na posição neutra de passo zero, bem como nas posições de passo para a marcha a vante e para a marcha a ré do navio.

Muito embora o custo, a complexidade e as despesas de manutenção deste sistema sejam maiores do que as referentes ao sistema de inversão de marcha de motor diesel reversível que recorre a um hélice de passo fixo, tem contudo a vantagem de aumentar a capacidade de manobra do navio e de apenas necessitar de um sistema de ar de arranque de menor capacidade e por isso de menor custo.

9. Sistema de produção de vapor auxiliar

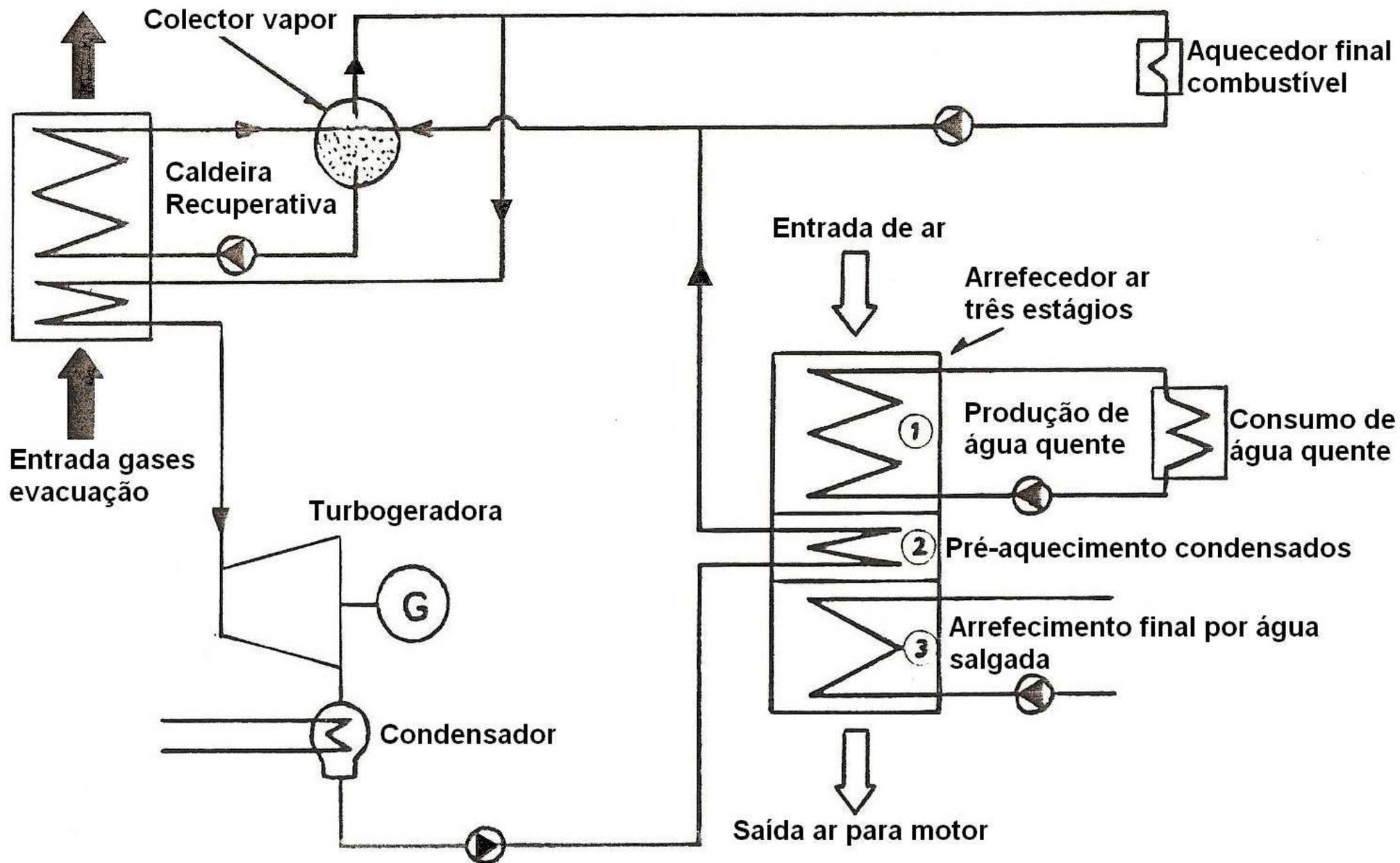
O aquecimento de água, combustível, óleo lubrificante, etc., no caso dos navios mercantes propulsionados por motores diesel, efectua-se de acordo com a operação do navio da seguinte forma:

Em porto através de uma caldeira auxiliar com queimador alimentada por diesel ou fuel;

A navegar através de um sistema de recuperação de energia que aproveita o calor do ar de sobrealimentação e dos gases de evacuação dos motores principais, a fim de satisfazer as necessidades da instalação de máquinas marítimas e em alguns casos dada a sua capacidade excedentária também pode produzir vapor para alimentar uma turbogeradora, produzindo assim energia eléctrica sem acréscimo de custos.

Este sistema de recuperação de energia é por isso extremamente útil, uma vez que permite recuperar energia que de outro modo seria pura e simplesmente desperdiçada. Além disso o investimento adicional que é necessário realizar é recuperado em relativamente pouco tempo.

Na figura seguinte apresenta-se um sistema típico de recuperação de energia utilizado nas actuais instalações de máquinas marítimas dos navios propulsionados por motores diesel de dois tempos, de baixa velocidade e grande potência.



Sistema de recuperação de calor com arrefecedor de ar de sobrealimentação do motor diesel principal com três estágios, caldeira recuperativa e turbogeradora para produção de electricidade

O vapor produzido através do calor recuperado por este sistema, é normalmente utilizado da seguinte forma:

Vapor saturado: aquecimento do fuel dos tanques de reserva, decantação e de serviço de combustível; aquecimento do fuel e diesel a serem depurados; extinção de incêndios no colector de ar de lavagem dos motores diesel e sopradores de fuligem da caldeira recuperativa; outras necessidades de bordo tais como aquecimento de alojamentos, lavandaria, cozinha, etc; alimentar o sobreaquecedor da caldeira recuperativa para produzir vapor sobreaquecido;

Vapor sobreaquecido: aquecimento final do fuel antes de ser injectado nos cilindros dos motores; alimentação da turbogeradora.

A pressão do vapor saturado e sobreaquecido, produzidos por este tipo de sistemas de recuperação de calor, é normalmente da ordem dos 15 bar e a temperatura do vapor sobreaquecido da ordem dos 350 °C.