

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DA MARINHA MERCANTE-EFOMM

RÉGIS DAMBOS TEIXEIRA
RENAN FIGUEIRÔA PEREIRA

SISTEMA DE ARREFECIMENTO

RIO DE JANEIRO
2018

RÉGIS DAMBOS TEIXEIRA
RENAN FIGUEIRÔA PEREIRA

SISTEMA DE ARREFECIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas, especializado em Máquinas Marítimas, do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador(a): Eng. Eletric. Seg. Trab. Paulo Pinto

RIO DE JANEIRO

2018

RÉGIS DAMBOS TEIXEIRA
RENAN FIGUEIRÔA PEREIRA

SISTEMA DE ARREFECIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais de Máquinas como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas, especializado em Máquinas Marítimas ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador(a): Eng. Eletric. Seg. Trab. Paulo Roberto Batista Pinto

Paulo Roberto Batista Pinto

Régis Dambos Teixeira

Renan Figueirôa Pereira

Gostaria de dedicar a elaboração deste trabalho aos nossos pais e familiares, forma esta de agradecer por todos os ensinamentos, pelo amor e ao apoio prestado para que conseguíssemos alcançar nossos escopos ao longo de todos esses anos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por ceder a oportunidade de chegarmos até aqui.

Às nossas famílias, que contribuíram da melhor maneira possível para a formação do nosso caráter, educação e por repassar seus conceitos éticos e morais.

Ao nosso orientador, Paulo Roberto Batista Pinto, pelos conhecimentos transmitidos não somente no andamento deste projeto, como ao longo de nossa formação neste Centro de Instrução, pela paciência, compreensão e enorme colaboração proporcionada desde o início do curso acadêmico.

As amizades construídas ao longo desses anos de formação. Ademais, pelas amizades que não se perderam lá fora. Levaremos vocês em nossos corações para sempre.

Aqueles que têm um grande autocontrole, ou que estão totalmente absorvidos no trabalho, falam pouco. Palavra e ação juntas não andam bem. Repare na natureza: trabalha continuamente, mas em silêncio.

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

O processo de combustão produz uma grande diferença de temperaturas entre os gases e as paredes da câmara, além de promover a transferência de parte do calor gerado para as paredes do cilindro e, conseqüentemente, do cabeçote. Os grandes motores de bordo precisam funcionar em uma temperatura ideal, pois se a temperatura estiver muito abaixo do recomendado as peças estarão retraídas, as folgas serão maiores e isso prejudica o rendimento do motor, bem como a vida útil de suas peças. Se a temperatura estiver muito acima do recomendado, as peças estarão dilatadas, o que aumenta consideravelmente o atrito das partes móveis, desgastando rapidamente essas peças. Portanto, o sistema de arrefecimento deve manter os componentes do motor em temperatura médias compatíveis com as características dos materiais. Também garante que as peças não se desgastem excessivamente. Caso esse calor não seja retirado, as paredes do cilindro, do cabeçote e da cabeça do pistão tenderão a atingir temperaturas iguais a medida da temperatura do ciclo, ou seja, entre 600°C e 800°C. Com essa finalidade, o sistema de arrefecimento é constituído por um conjunto de dispositivos eletromecânicos e hidráulicos que tem como função controlar a temperatura dos MCI.

Palavras-chave: Sistema de arrefecimento, Controle de temperatura, Dispositivos eletromecânicos, MCI.

ABSTRACT

The combustion process a large temperature difference between the gases and the chamber walls, as well as promoting the transfer of the heat generated to the walls of the the cylinder and, consequently, the head. The large onboard engines need to operated at an ideal temperature, because If the temperature is too low, the parts Will be retracted, the gaps Will be larger and this Will impair the performance of the engine as the engine as well as the life of your parts. IF the temperature is far above the recommended temperature, the parto of Will be dilated, which considerably increases the friction of the moving parts, quickly wearing these parts. Therefore, the cooling system must keep the engine components at médium temperature compatible with the characteristics of the materials. It also ensures that the parts do not wear out excessively. If this heat is not removed, the walls of the cylinder,the head and the piston head Will tend to reach temperatures equal to the temperature of the cycle, ie between 600° C and 800°C. To this and,the cooling sytema is constituted by a set of electromechanical and hydraulic devices whose function is to control the temperature of the MCI.

Keywords: Cooling systems, Different of temperature, Electromechanical devices, MCI.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES/FIGURAS

Figura 1:	Válvulas de Admissão e Escape	17
Figura 2:	Pistão	18
Figura 3:	Cilindro	22
Figura 4:	Sistema de Resfriamento	26
Figura 5:	Sistema de água doce com circuitos de alta e baixa temperatura	29
Figura 6:	Circuito de Baixa Temperatura	31
Figura 7:	Válvula Termostática	35
Figura 8:	Bomba	38
Figura 9:	Bomba D'água	40
Figura 10:	Ventilador	41
Figura 11:	Vão entre motor e mangueiras	47
Figura 12:	Sistema Convencional de Arrefecimento	48
Figura 13:	Curva característica de um radiador	50

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Carbono
Mn	Manganês
Si	Sílicio
Cr	Crômio
Ni	Níquel

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	TRANSFERÊNCIA DE CALOR	14
2.1	Objetivo	14
2.2	Modos de Transmissão de Calor	14
2.3	O Calor pode ser Transferido por Três Métodos	14
2.3.1	Condução	14
2.3.2	Radiação	15
2.3.3	Convecção	15
2.4	Transferência de Calor no Motor	15
3	LIMITES DE TEMPERATURA	16
3.1	Válvulas	16
3.2	Limites de Temperatura	18
3.2.1	Pistões	18
3.2.2	Cilindros	19
4	SISTEMAS DE ARREFECIMENTO	19
4.1	Circuito Principal de Resfriamento	19
4.2	Circuitos Auxiliares de Resfriamento	20
4.3	Perdas Térmicas pelas Paredes do Cilindro	21
5	PROCESSOS DE ARREFECIMENTO	22
5.1	Circulação de água	22
5.2	Circulação do ar	22
5.3	Circulação de óleo	23
5.4	Resfriamento por Circulação de Ar	23
5.5	Resfriamento por Circulação de Óleo	25
5.6	Resfriamento por Circulação de Água	26
5.7	Resfriamento por Circulação de Água (Através do Radiador Termossifão)	27
5.8	Resfriamento por Circulação de Água Forçada	27
6	PRINCIPAIS CIRCUITOS E TRATAMENTO DA ÁGUA	29
6.1	Circuito de Alta Temperatura	29
6.2	Circuito de Baixa Temperatura	30

6.3	Arrefecimento dos êmbolos	31
6.4	Tratamento da água	32
7	VÁLVULA TERMOSTÁTICA	34
7.1	Tipos de Válvulas Termostáticas	36
7.1.1	Estrangulamento	36
7.1.2	Passo	36
7.1.3	Com Aquecimento	36
7.1.4	Eletrônica	36
8	BOMBA D'ÁGUA	37
8.1	Tipos de bombas d'água	38
8.1.1	Bomba d'água elétrica	38
9	VENTILADORES	40
9.1	Ventiladores Mecânicos	40
9.2	Ventiladores Elétricos	41
10	VASO DE EXPANSÃO	42
11	ADITIVOS	44
11.1	Etileno Glicol	44
11.2	Propileno Glicol	44
12	MANGUEIRAS	46
13	SISTEMA HÍBRIDO	48
14	OBJETIVO E REQUISITO DOS RADIADORES	49
14.1	Dimensionamento dos Radiadores	51
15	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

As máquinas térmicas são divididas em máquinas de combustão externa (no qual o fluido de trabalho está completamente separado da mistura ar/combustível, sendo o calor dos produtos da combustão transferido através das paredes de um reservatório ou caldeira) e máquina de combustão interna (no qual o fluido de trabalho consiste nos produtos da combustão da mistura ar/combustível). As máquinas de combustão interna podem ser do ciclo Diesel, ciclo Otto e ciclo de Brayton (tem outros como wankel). As máquinas do ciclo Diesel e ciclo Otto podem trabalhar segundo o número de tempo motor, em 2 ou 4 Tempos, podendo queimar combustível de baixa e alta volatilidade.

O principal objetivo dessas máquinas é transformar a energia calorífica do combustível em trabalho ou energia mecânica. As consecutivas combustões do motor levam o mesmo a atingir temperaturas de pico dentro da câmara de combustão (2000°C). Fato este que levaria a destruição total do motor caso não houvesse um sistema de arrefecimento que retirasse o calor das paredes da câmara de combustão. Os diversos componentes do motor trabalham a diferentes gradientes térmicos, sendo que as paredes do cilindro não podem ultrapassar a temperatura limite do óleo lubrificante (150°C). Diretamente em contato com a combustão, os pistões trabalham a temperatura de 320°C, o limite do seu material (liga de alumínio). A câmara de combustão atinge em torno 200°C, sendo que outros componentes também ligados a combustão trabalham a temperaturas maiores. Além do calor transmitido do fluido de trabalho durante os cursos de compressão e expansão, uma parcela considerável é transmitida para a estrutura do cilindro e conseqüentemente para o meio refrigerante, durante o processo de descarga, diminuindo a eficiência total da máquina. O atrito do pistão também constitui uma fonte de geração e fluxo de calor. Dessa forma, o fluxo total de calor no sistema de refrigeração é muito maior do que o fluxo de calor dos gases durante o ciclo de trabalho. Diversos são os motivos em manter o motor dentro de uma faixa aceitável de temperatura, a começar pelos materiais utilizados em sua construção. Com isso, o sistema de arrefecimento tem por finalidade impedir que os componentes mecânicos do motor atinjam uma temperatura muito elevada ao contato com os gases da combustão, o que os destruiria.

A importância do sistema de arrefecimento está no fato de que a temperatura interna do motor deve ser tal que: o óleo consiga trabalhar com boa viscosidade, que as folgas internas sejam preenchidas, que a expansão da frente de chama não atinja as paredes da câmara e principalmente, que as temperaturas elevadas da câmara de combustão sejam evitadas, impedindo o efeito nocivo da detonação. Com isso o sistema de arrefecimento trabalha para manter o motor em sua temperatura ideal de funcionamento.

Neste trabalho estudaremos todos os principais componentes do sistema de arrefecimento bem como o seu funcionamento e os mais diversos tipos, tentando esclarecer todo o seu circuito.

2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

2.1 Objetivo

Demonstrar a quantidade de calor removida através do sistema de arrefecimento, para manter a máquina operando dentro das condições estabelecidas pelo fabricante em relação à composição do material que constitui o motor sem que haja deformação plástica.

2.2 Modos de Transmissão de Calor

De acordo com as leis da termodinâmica, a transmissão de calor pode ser definida como a transmissão de energia de uma região para outra, como resultado de uma diferença de temperaturas entre elas. Como existem diferenças de temperaturas em todo universo, os fenômenos de transmissão de calor são tão universais quanto os associados as atrações gravitacionais. Ao contrário da gravidade, entretanto, a transmissão de calor não é governada por única relação, mas por uma combinação de várias leis independentes da física.

A literatura geralmente reconhece três modos distintos de transmissão de calor: condução, radiação e convecção. Estritamente falando, apenas a condução e a radiação devem ser classificadas como processos de transmissão de calor, pois somente esses dois mecanismos dependem, para sua operação, da mera existência de uma diferença de temperatura. O último dos três, a convecção, não concorda estritamente com a definição de transmissão de calor, pois também depende, para sua operação, do transporte mecânico de massa. Mas, como a convecção também efetua a transmissão de energia de regiões de maior temperatura para de menor, o termo “transmissão de calor por convecção” tornou-se geralmente aceito.

2.3 O Calor pode ser Transferido por Três Métodos

2.3.1 Condução

A condução é um processo pelo qual o calor flui de uma região de temperatura mais alta para outra de temperatura mais baixa, dentro de um meio sólido, líquido ou gasoso, ou entre meios diferentes em contato físico direto. Na transmissão de calor por condução, a energia é transmitida por meio de comunicação molecular direta, sem apreciável deslocamento das moléculas.

2.3.2 Radiação

A radiação é um processo pelo o qual o calor é transmitido de um corpo a alta temperatura para um de mais baixa temperatura quando tais corpos estão separados no espaço, ainda que exista vácuo entre eles.

A perda de calor através dos gases de descarga e por radiação depende principalmente da carga do motor e não pode ser controlada diretamente.

A temperatura de funcionamento do motor deverá ser controlada, controlando-se o sistema de resfriamento.

2.3.3 Convecção

A convecção é um processo de transporte de energia pela ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura. A convecção é importante principalmente como mecanismo de transferência de energia entre uma superfície sólida, um líquido ou um gás ou também entre fluidos.

2.4 Transferência de Calor no Motor

1) Convecção

Nos gases de descarga e na água de resfriamento.

2) Radiação

Nas superfícies externas quentes do motor para as partes mais frias da praça de máquinas.

3) Condução

Nos gases da combustão para as paredes do cilindro, êmbolo e destes para a água de resfriamento.

3 LIMITES DE TEMPERATURA

3.1 Válvulas

As válvulas de admissão e escapamento por estarem em contato direto com a combustão, são bastante solicitadas. Os valores médios para as válvulas de escapamento são:

- Haste: (300 a 450) °C;
- Sede: (600 a 820) °C.

Na maioria das vezes, os materiais constituintes dessas válvulas são ligas CrNi que suportam temperaturas de até 800°C. Ultrapassado este limite, ocorrerá, a redução da resistência mecânica e o aumento da corrosão. Para valores acima desse limite são indicadas ligas Co –Stellite ou válvulas com resfriamento interno por Sódio.

As válvulas de admissão são resfriadas pelo ar de admissão e beneficiadas pela área maior em contato com este fluxo, enquanto a temperatura da válvula de escapamento é alta, pois a maior parte da sua superfície está exposta aos gases quentes durante o processo de escapamento, bem como, na combustão e expansão. O caminho a ser percorrido pelo calor, da superfície quente ao fluido de arrefecimento, é grande e o coeficiente de contabilidade térmica k é pequeno, em virtude do material da configuração da válvula e também porque o calor transferido para esta deve passar de uma parte para outra na sede e para a superfície da haste por meio da guia.

A válvula de escapamento apresenta sérios problemas de resfriamento, exigindo, na sua construção, matérias que resistam bem a oxidação, desgaste e fluência. O problema se agrava ainda mais a medida que os projetos de motores elevam as solicitações térmicas com o aumento da potência específica por meio da elevação da rotação. Para atender a essas solicitações crescentes, tem sido realizado melhorias de projetos das válvulas, como também nas suas características metalúrgicas.

Figura 1: Válvulas de Admissão e Escape



Fonte: netkar (2011)

A temperatura média de trabalho de uma válvula de escapamento é da ordem de 800°C. essa temperatura é ainda maior quando se empregam misturas pobres ou ignição atrasada, essa mistura pobre de combustível –ar contribuem para a oxidação e a corrosão da válvula devidas as temperaturas elevadas e ao oxigênio livre. Para atender as condições desfavoráveis de operação, por período prolongado sem apresentar falhas, as válvulas de escapamento são feitas de três matérias distintos:

- Cabeça: material austenítico, resistente a corrosão;
- Periferia: revestido com material de alta dureza stellite;
- Haste: de material martensítico resistente a abrasão.

Normalmente a liga empregada para fabricação de válvulas de escapamento é constituída de: 0,30 – 0,45 C; 0,8 – 1,3Mn; 2,5 -3,25 Si; 17,50 -20,50 Cr e 7,00-9,00 Ni.

Essa liga apresenta uma resistência de 1.200kgf/cm² a 900°C. empregam-se também válvulas de escapamento ocas internamente e parcialmente preenchidas com sódio sólido. O sódio funde a temperatura baixas (95°C) e tem alta condutibilidade térmica. Com o funcionamento da válvula o sódio viaja da haste para a cabeça da válvula, retira calor desta e transfere para a guia da válvula, diminuindo a temperatura média de sua cabeça.

3.2 Limites de Temperatura

3.2.1 Pistões

Os pistões, por estarem também em contato direto com a combustão, são solicitados de forma extrema. Nos motores de grande diâmetro, a temperatura média da cabeça do pistão tende a ser bastante alta, em razão ao grande percurso para o calor escoar através das paredes frias. A troca de calor entre a cabeça do pistão e o fluido de arrefecimento é feita através dos anéis que estão em contato direto com a superfície mais fria. Para evitar temperaturas e tensões térmicas excessivamente altas, os projetos do pistão é alterado de acordo com o tamanho. Há casos em que os pistões possuem um canal resfriador na cabeça, onde o calor é retirado por meio de circulação de óleo lubrificante, que neste caso empregamos também como fluido trocador de calor.

Figura 2 : Pistão



Fonte: italpretes (2014)

Opções alternativas também são empregadas para baixar a temperatura média da cabeça do pistão:

- Redução da relação combustível –ar (motores Diesel) com consequente diminuição da temperatura média do gás;
- Redução da rotação do motor, diminuindo o número de ciclos no tempo.

3.2.2 Cilindros

As camisas ou cilindros também são solicitados de forma extrema. A temperatura de pico do gás queimado pode atingir até 2200°C, enquanto a temperatura máxima do material da parede do cilindro quanto fabricadas com ferro fundido, atingem 400°C e as de alumínio 300°C. junto as paredes o lubrificante trabalha a 180°C pois o fluxo de calor no pico é da ordem de 0,5MW/m² a 10 MW/M². Estas condições podem levar as seguintes consequências:

- Aquecimento da vela: pré-ignição nos MIF (Otto);
- Variação da temperatura de exaustão, interferindo diretamente nas emissões gasosas;
- Temperatura máxima na parede do cilindro requisitando maior potência nas bombas ou ventiladores;
- Alta temperatura dos gases queimados, necessitando de matérias superiores para as válvulas de exaustão.

4 SISTEMAS DE ARREFECIMENTO

4.1 Circuito Principal de Resfriamento

- a) Líquido de arrefecimento
- b) Resfriador com placas
- c) Pressão de trabalho a quente:
- d) Vazão = m³/ h a rpm da bomba, pressão de 1 bar e temperatura do líquido de 90°C, potência de 19.600 kW.
- e) Válvula termostática instalada na região posterior do cabeçote (fechada para temperaturas menores que 87°C ± 2°C).

Um dos aspectos mais importantes a ter em conta nos sistemas de arrefecimento a bordo é a corrosão. Sabendo que a água do mar ataca os metais, e este com as condições de calado do navio pelas suas características químicas provoca uma corrosão acelerada dos sistemas e tubulações, na construção naval moderna procura-se que a água salgada percorra dentro do navio o menor percurso possível, sendo o arrefecimento direto dos órgãos e sistemas efetuado através de água doce tratada e em circuito fechado.

Neste sistema a água do mar é aspirada pelas bombas de circulação de água do mar através das caixas de mar baixa, passa pelos filtros de fundo e circula os arrefecedores de óleo de lubrificação, arrefecedores de ar de lavagem e arrefecedores de água doce de circulação das camisas, descarregando em seguida para o mar.

Quando a água do mar se encontra com uma temperatura baixa (p. ex: quando o navio está navegando em águas muito frias, a válvula termostática faz com que a água do mar entre em recirculação total ou parcial). A aspiração da água do mar pode ser efetuada pela caixa de mar alta de bombordo ou boreste ou pela caixa de mar baixa de bombordo ou boreste.

4.2 Circuitos Auxiliares de Resfriamento

O sistema de óleo de lubrificação destina-se a assegurar:

- a)** Reduzir a fricção e o desgaste;
- b)** Atuar como vedante entre os aros e as camisas evitando a passagem de gases da combustão;
- c)** Arrefecer os componentes internos do motor;
- d)** Limpar o interior do motor de sujidades e resíduos carbonosos.

Os motores de cruzeta (crosshead engines) possuem dois sistemas independentes; um para as mancais e componentes móveis (movimentos) e outro para os cilindros onde o óleo de lubrificação entra em contato com os gases da combustão.

No primeiro caso, as funções do óleo de motor são as de lubrificar as chumaceiras, arrefecimento dos êmbolos, proteção contra a corrosão e limpeza. Neste caso não é necessária a utilização de aditivos detergentes/dispersantes porque o óleo não entra em contato com os gases da combustão. Também não são necessários aditivos de extrema pressão nem outros, obrigatórios quando se trata de motores de tronco (trunk piston).

Os óleos dos cilindros são mais exigentes. Eles devem ser capazes de neutralizar os ácidos sulfúrico e carbônico formados pelos produtos de combustão como SO_2 e CO_2 ao combinarem com a água. Por outro lado, devem manter o motor

limpo e não se devem deixar carbonizar ou coquizar nas linhas de lubrificação adjacentes a regiões dos cilindros com elevadas temperaturas.

4.3 Perdas Térmicas pelas Paredes do Cilindro

O motor de combustão interna é um conversor de energia química em energia mecânica. Sabe-se que na prática os conversores de energia como motores elétricos, turbinas e geradores elétricos não são perfeitos, portanto, não são capazes de converter totalmente a forma de energia na entrada do sistema para a forma de energia na saída.

A capacidade de conversão é mensurada pela eficiência energética, obtida pela razão da energia entregue pelo sistema pela energia consumida ao mesmo. Considera-se como energia útil convertida pelo MCI aquela responsável pelo acionamento do seu eixo principal.

As perdas energéticas em um motor de combustão interna ocorrem pela perda de calor nos gases de exaustão, no fluido de arrefecimento, no fluido lubrificante e ao ambiente pelas superfícies externas do motor, além de combustão incompleta e do atrito entre partes móveis.

A energia de acionamento de sistemas auxiliares (alternador, eixo de comando de válvulas, bomba de combustível, etc.) é oriunda do trabalho desenvolvido no(s) cilindro(s) do motor. Aproximadamente, apenas 35% da energia química que entra no ciclo de um motor de combustão interna são convertidos em energia útil no eixo de manivelas. Outros 30% da energia do combustível são rejeitados nos gases de exaustão na forma de entalpia e energia química (Pulkrabek, 1997). Considerando esses níveis, quase um terço da energia do combustível deve ser dissipado ao ambiente de alguma forma, seja pelo sistema de arrefecimento e óleo lubrificante ou pelas superfícies externas do motor.

5 PROCESSOS DE ARREFECIMENTO

5.1 Circulação de água

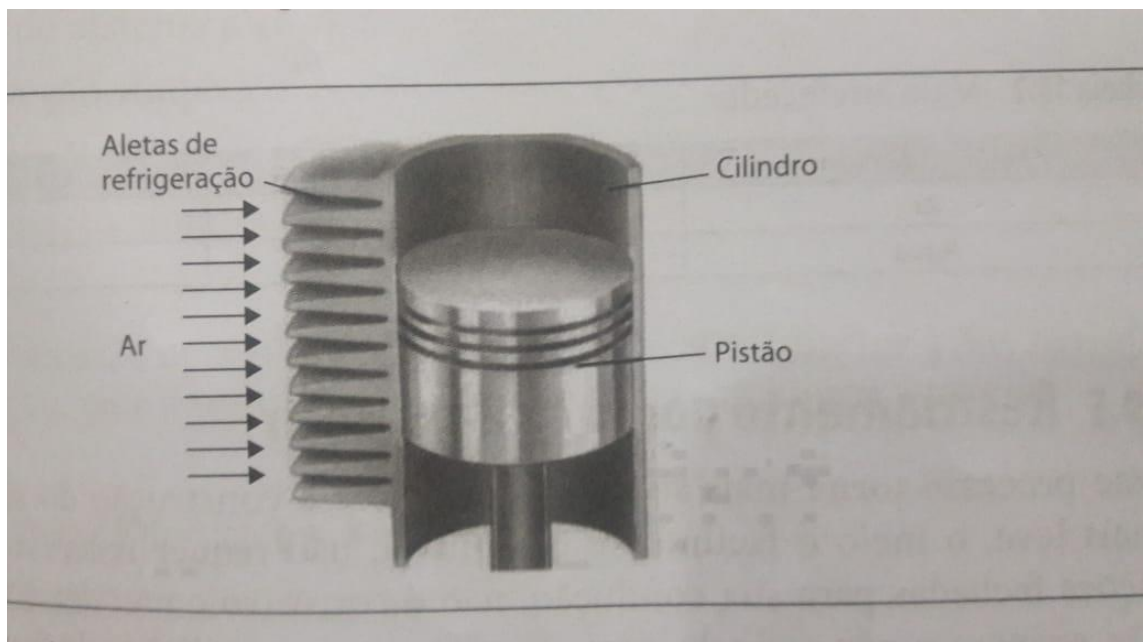
- a) Circulação fechada com torre de arrefecimento;
- b) Circulação aberta com reservatório;
- c) Termossifão;
- d) Circulação forçada.

5.2 Circulação do ar

- a) Livre;
- b) Forçada.

Como o calor retirado do motor é transferido para o ar atmosférico, costuma-se dizer que o arrefecimento por circulação de ar é direto.

Figura 3 : Cilindro



Fonte: Franco Brunetti (2015)

5.3 Circulação de óleo

- a) Forçada;
- b) Complementar a circulação de ar.

Este tipo de arrefecimento é pouco utilizado na atualidade. As principais diferenças entre processos são:

- Detalhes construtivos;
- Condições de operação;
- Temperaturas médias dos componentes.

A quantidade de calor que é transferida por unidade de área da superfície em contato com os gases quentes de um lado e o fluido de arrefecimento do outro vai depender dos seguintes itens:

- Coeficiente de transmissão de calor do lado de ambos os fluidos;
- Condutibilidade térmica do material da parede;
- Espessura da parede;
- Diferença de temperaturas entre o gás e o fluido de resfriamento, em função da teoria da transmissão de calor.

5.4 Resfriamento por Circulação de Ar

Este processo simplifica o projeto e a construção do sistema, sendo mais leve, o meio é facilmente disponível, não requer reservatórios e tubulações fechadas para a condução, não é corrosivo e não deixa incrustações, não evapora e não congela para as mais severas condições do funcionamento motriz.

A baixa massa específica promove a necessidade de um volume muito maior de ar do que a água para retirar uma unidade de calor do motor, pois o ar possui baixo calor específico e conseqüentemente baixa capacidade de transferir calor entre um sistema e sua vizinhança. É bastante empregado em motores aeronáuticos pois evita o aumento de peso com o uso de sistemas de refrigeração acoplados ao motor.

Uma desvantagem é a temperatura não ser uniforme no motor ocorrendo a formação de "pontos quentes", o que pode levar à detonação. Por conta do pior controle da temperatura é aplicado em motores com baixa taxa de compressão e eficiência térmica e com diâmetro de pistão inferior a 80 mm. Nessa aplicação, não

há um dispositivo para controlar a temperatura do motor nas diversas rotações e cargas, cabendo apenas o controle da temperatura por medição.

Componentes:

- Aletas;
- Ventoinha;
- Dutos;
- Defletores.

As aletas localizam-se no cabeçote e nas partes externas dos cilindros com a finalidade de aumentar a superfície de contato entre o motor e o meio arrefecedor (ar). A ventoinha é responsável pela produção de uma corrente de ar entre o meio ambiente e o motor. A peça principal desse sistema pode ser de palhetas, produzindo uma corrente de ar paralela ao eixo de rotação ou axial, em que o ar entra pelo entro e é projetado para a periferia. Os dutos e defletores promovem a condução e a orientação da corrente de ar na direção das aletas de arrefecimento.

Desvantagens do sistema de ar são:

- Difícil controle de temperatura.
- Falta de uniformidade de temperatura no motor.
- Facilmente susceptíveis de superaquecimento.
- Constante limpeza das aletas (principalmente em trabalhos agrícolas).

Nos motores a pistão, esses sistemas consistem em, separar o bloco motor dos cabeçotes, munindo esses elementos de várias aletas, de forma a aumentar a área de contato com o ar movimentado pela ventoinha. O ar é recolhido e canalizado para uma espécie de blindagem que envolve os órgãos a serem resfriados, dentre eles:

- Cabeçotes do motor.
- Bloco motor
- Coletor de escapamento

O acionamento do ventilador pode ser obtido diretamente do virabrequim ou utilizando uma transmissão com correias e polias. Comparando esse sistema com o da água, embora exija menos cuidados de manutenção, ele não permite uma boa

regulagem da temperatura de funcionamento do motor e é mais ruidoso, pois as câmaras d'água funcionam como amortecedores acústicos da combustão. Nos motores resfriados a ar, o óleo lubrificante aquece mais e o resfriamento desses motores deve ser complementado com o circuito de manutenção desses sistemas, tem-se:

- Palhetas dos cilindros: limpeza frequente.
- Ventilador: limpeza das pás e lubrificação dos rolamentos, segundo instruções do construtor, verificando-se a tensão das correias de transmissão.

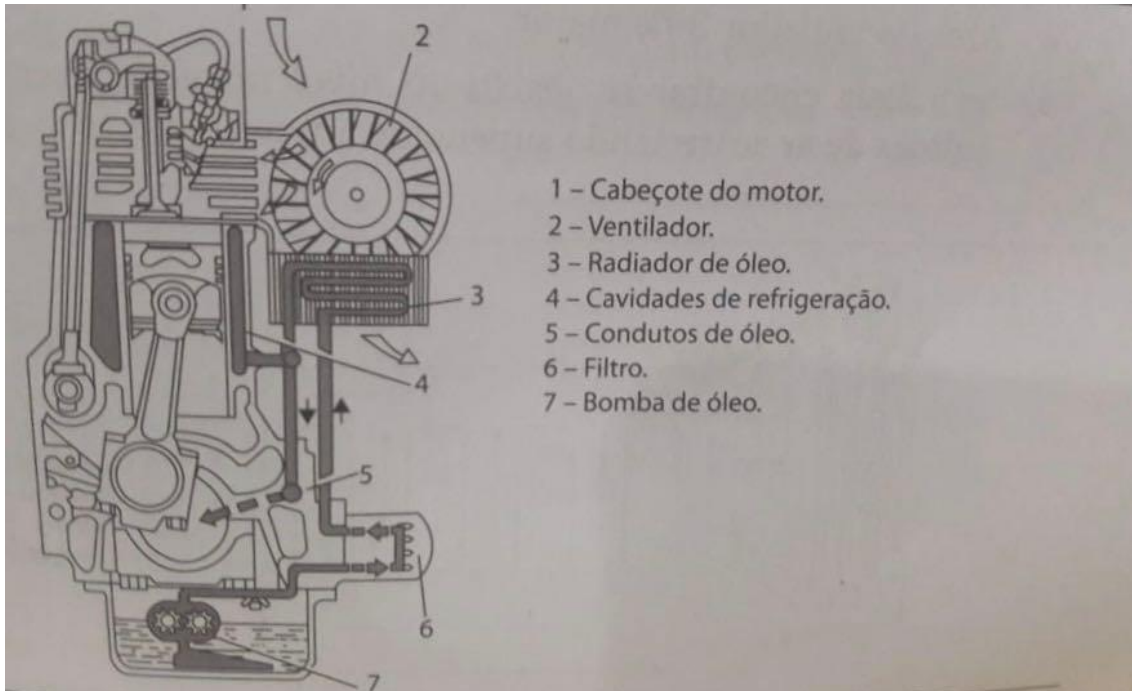
Esse tipo de resfriamento foi muito empregado em motores no início de sua fabricação, em virtude dos vazamentos que ocorriam nos sistemas de resfriamento por circulação de água. Posteriormente, o arrefecimento a ar cedeu terreno para o sistema de circulação forçada de água, devido principalmente à impossibilidade de se obter tanta potência por unidade de cilindrada como se obtém nos motores arrefecidos a água.

Nos motores veiculares há necessidade de emprego de um circulador de ar cujo custo e potência consumida é equivalente ou até maior do que a dos componentes do sistema de resfriamento a água. Todos os cilindros dos motores arrefecidos a água são fundidos em uma única peça e permitem usinagem simultânea, reduzindo o custo de produção a valores menores do que os motores arrefecidos a ar.

5.5 Resfriamento por Circulação de Óleo

Já este processo é utilizado geralmente para complementar o arrefecimento por ar. Embora o circuito de lubrificação já contribua significativamente para o arrefecimento do motor, este pode ser melhorado caso se faça circular o óleo em torno dos cilindros. Nesse caso, a temperatura do óleo deve ser controlada para evitar modificação de suas características químicas e problemas como incêndios.

Figura 4 : Sistema de Resfriamento



Fonte: Franco Brunetti (2015)

5.6 Resfriamento por Circulação de Água

Trata-se do processo mais empregado para o arrefecimento, pois permite o melhor controle da temperatura média dos componentes mais solicitados termicamente, além de manter essa temperatura média em valores mais baixos, proporcionando bom desempenho com relações de compressão mais altas, beneficiando a eficiência térmica do motor, sem ocorrência de detonação.

A temperatura da água deve ser mantida em torno de 90°C, em todos os regimes de trabalho, e essa temperatura deve ser atingida no menor tempo possível. Existe a necessidade de controlar o fluxo de água que circula pelo radiador em cada regime do motor.

O controle é feito por uma válvula termostática colocada entre a saída da água do motor no cabeçote e o radiador. A água entra no motor pelas partes baixas e sai pelas altas de forma a evitar bolhas de vapor, usando ar e água como meios arrefecedores. A água absorve o calor dos cilindros e transfere para o ar por meio de um radiador.

5.7 Resfriamento por Circulação de Água (Através do Radiador Termossifão)

Nesse tipo de caso, não existe a bomba forçando a circulação. O fluxo ocorre através do gradiente de temperatura da água (diferença entre as temperaturas é de aproximadamente 40°C). O sistema deve apresentar reduzida perda de carga, e dessa forma, o resfriamento continua mesmo com o motor desligado. Como principal vantagem pode ser citada a simplicidade de operação.

Dentre as desvantagens:

- Exige camisas e tubulações mais amplas para facilitar a circulação da água (a perda de carga é menor).
- Área do radiador 30% maior
- Se a água estiver abaixo do nível normal, ocorrerá a formação de bolsões de ar acarretando superaquecimento (interrupção de fluxo).

Geralmente empregam-se radiadores feitos com tubos de seção relativamente grande. A caixa superior do radiador deve ter uma capacidade considerável de água evitando que o nível fique abaixo da boca de entrada (por causa da evaporação), o que “interromperia o sifão”.

Esse sistema é utilizado em motores pequenos e compactos, sendo que algumas versões empregam um ventilador para circular o ar através do radiador.

A força que produz a circulação da água é:

- Proporcional à diferença da massa específica média das duas colunas.
- Máxima caso o calor seja fornecido próximo ao fundo da coluna, de tal maneira que a maior parte da coluna contenha água quente e seja retirada próxima do alto da outra coluna.

O radiador deve estar colocado mais alto em relação às camisas d'água do motor. A velocidade de circulação é baixa e por isso deve-se reduzir a perda de carga do sistema ao mínimo possível.

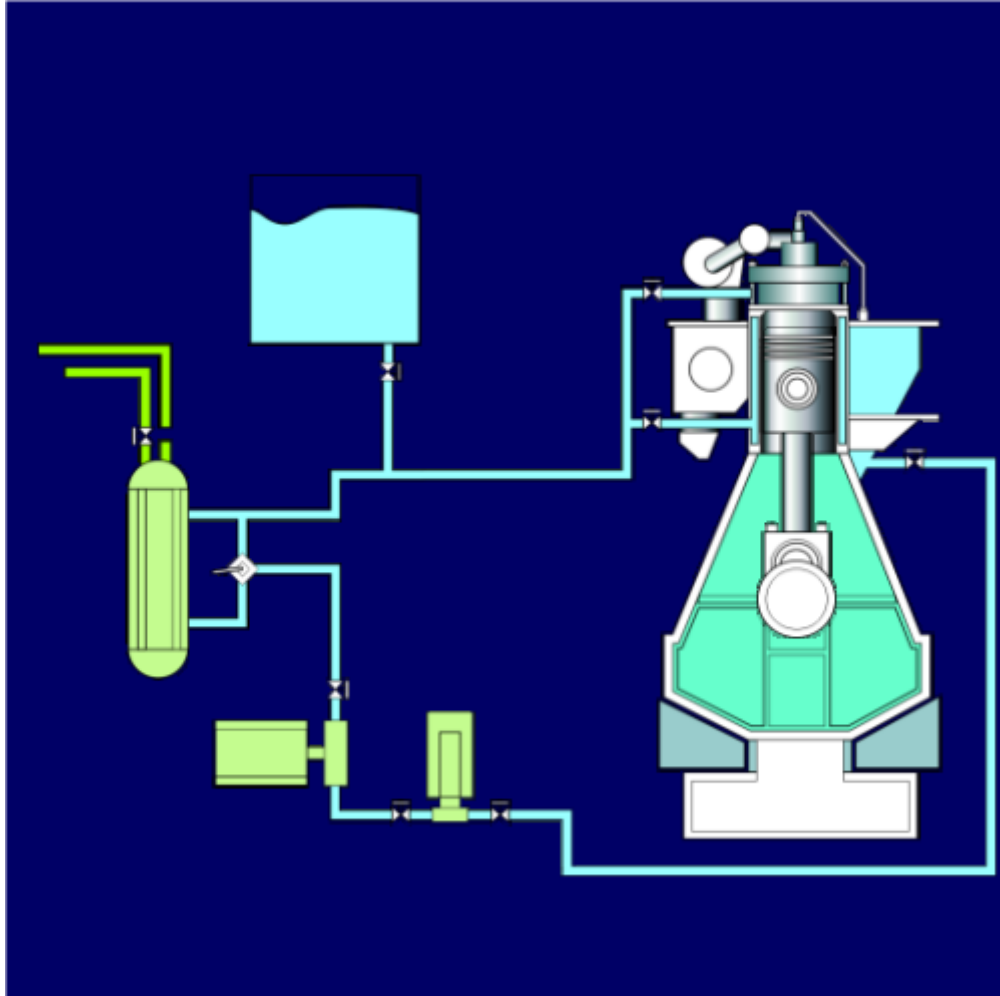
5.8 Resfriamento por Circulação de Água Forçada

Trata-se do sistema mais usual no qual a circulação forçada do meio arrefecedor é promovida por uma bomba centrífuga. Possui uma válvula termostática entre o cabeçote do motor e o radiador para o controle da temperatura.

A quantidade de água do sistema pode ser reduzida consideravelmente, pois neste sistema a água está sob pressão e circula com maior velocidade em relação ao termo sifão.

6 PRINCIPAIS CIRCUITOS E TRATAMENTO DA ÁGUA

Figura 5 : Sistema de água doce com circuitos de alta e baixa temperatura



Fonte: Simulador de máquinas do CIAGA (2018)

O sistema de circulação de água doce consiste em dois circuitos, um de alta temperatura - AT e outro de baixa temperatura - BT. Nesta configuração, a água doce vai circular quase todos os permutadores existentes no navio evitando, desta forma, a ação corrosiva provocada pela água do mar e permitindo uma melhor eficiência energética.

6.1 Circuito de Alta Temperatura

O circuito de alta temperatura (AT) é responsável pela circulação das camisas e êmbolos do motor de propulsão principal (PP).

A água doce comprimida pelas bombas circula o motor e sai passando pela válvula reguladora de temperatura. Se a temperatura estiver abaixo do valor pré-definido no controlador, o controlador posiciona a válvula reguladora de temperatura de forma a que toda a água vá diretamente para a aspiração das bombas. Quando, o motor está trabalhando, a temperatura de circulação atinge o valor estabelecido e o controlador faz com que a válvula reguladora de temperatura comece a dar passagem da água do circuito de baixa temperatura, permitindo manter constante o valor da temperatura do circuito de AT.

O pré-aquecedor tem por finalidade colocar a máquina PP em aquecimento após parada prolongada de forma a prepará-la para entrar em manobras.

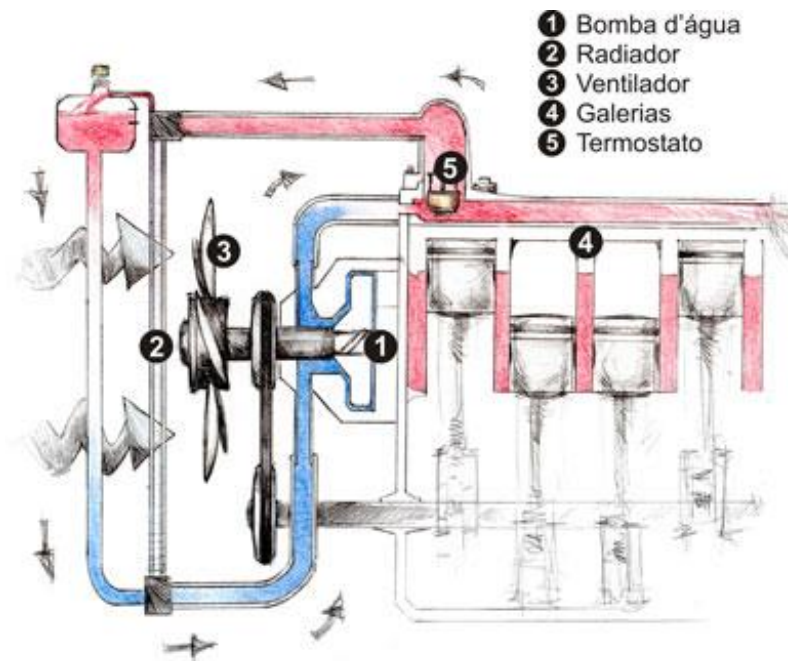
Este pré-aquecimento da água de circulação é efetuado ou à custa de vapor ou através da água de circulação dos Diesel-geradores. O permutador encontra-se instalado no vaporizador/destilador.

6.2 Circuito de Baixa Temperatura

A água doce do circuito de BT é comprimida pelas bombas respectivas, circulando os diversos permutadores intercalados no circuito passando através da válvula de by-pass ou misturando-se com a água do circuito de AT através da válvula reguladora de temperatura.

O controlador recebe o sinal do sensor de temperatura e atua sobre a válvula reguladora de temperatura do circuito de BT fazendo com que a água de circulação passe pelos arrefecedores PP ou pela válvula de by-pass dos arrefecedores em função da temperatura do circuito. Estes arrefecedores permitem transferir o calor da água doce do circuito de BT para a água do mar.

Figura 6 : Circuito de Baixa Temperatura



Fonte: oficinabrasil (2012)

6.3 Arrefecimento dos êmbolos

Numa prática mantida durante muitos anos e ainda hoje seguida por alguns construtores, o arrefecimento dos êmbolos é efetuado através da circulação de óleo de lubrificante.

Com o desenvolvimento de novos motores de grandes dimensões e potências, com o correspondente aumento da quantidade de calor a dissipar, passaram a ser usados sistemas de arrefecimento dos êmbolos que utilizam água doce, dado que a água remove o calor de forma mais eficiente.

Como o calor específico da água é cerca do dobro da do óleo de lubrificante, basta cerca de metade da quantidade de água para remover a mesma quantidade de calor. As dimensões e as potências das bombas são, neste caso, correspondentemente reduzidas. Quando a água doce é utilizada no arrefecimento dos êmbolos, o sistema de circulação é independente do sistema de circulação do motor.

Os sistemas de arrefecimento são também frequentes para as válvulas de injeção de forma a prevenir sobreaquecimentos. Se a válvula injetora está

sobreaquecida, o combustível que entra em contato com ela pode carbonizar, causando o encravamento do bico do injetor.

6.4 Tratamento da água

A água doce de circulação deverá ser destilada ou desalinizada de forma a evitar os efeitos corrosivos e a deposição de sais que reduziriam o efeito de transferência de calor, causando o sobreaquecimento dos êmbolos e dos cilindros, acelerando o desgaste e em algumas situações, causando o “grimpamento” dos anéis de segmentos dos êmbolos. É importante que os sistemas de circulação sejam mantidos livres de ferrugem e outros contaminantes que se depositariam de maneira não uniforme podendo provocar pontos quentes (“hot spots”) nas camisas ou blocos, que dariam origem a tensões inesperadas que podem provocar falhas nos materiais.

Como as películas lubrificantes não podem ser mantidas nas áreas sobreaquecidas, os processos de desgaste dos anéis e das camisas são muito acelerados. Para prevenir estas anomalias, são adicionados à água de circulação produtos inibidores que têm por missão depositar uma película nas superfícies metálicas com que contatam e que protege contra a corrosão e ataque erosivo.

A erosão é causada normalmente por fenômenos de cavitação na camisa ou nas superfícies do motor. Este fenômeno ocorre quando a vibração linear provoca a formação de bolhas de vapor. Quando os inibidores geram a película, é esta que é afetada pela cavitação em lugar do próprio metal.

Para que o programa de tratamento da água seja efetivo terá que garantir as seguintes condições:

- a)** O sistema de arrefecimento deve estar limpo para que o inibidor seja capaz de proteger as superfícies das câmaras de circulação;
- b)** O fluído arrefecedor deve ser verificado periodicamente quanto à alcalinidade, teor de crómio e cloretos;
- c)** O inibidor deve ser mantido ativo de acordo com as prescrições do fabricante;
- d)** O fluído arrefecedor deve estar limpo e livre de sais minerais e com baixo teor de gases dissolvidos; e

e) O sistema de arrefecimento deverá ser inspecionado periodicamente de forma a detectar e eliminar fugas ou entradas de ar ou gases.

7 VÁLVULA TERMOSTÁTICA

A válvula termostática controla o fluxo de água que circula pelo radiador em cada regime do motor. Encontra-se instalada entre a saída da água do motor no cabeçote e o radiador.

Quando o motor está frio, a válvula está totalmente fechada, impedindo a circulação de água no radiador e forçando a que ela circule apenas em circuito fechado, pelo motor, através de uma derivação existente no bloco. Seguindo esse procedimento, o aquecimento é mais rápido, e quando é alcançada a temperatura desejada, ela abre permitindo que haja o resfriamento do fluido de arrefecimento.

A faixa de temperatura da água de resfriamento varia de um motor a outro e em um mesmo motor, de acordo com o combustível que for empregado.

A temperatura da água nos motores Otto fica compreendida entre:

- 75°C a 90°C (gasolina)
- 85°C a 95°C (etanol)

Essas variações são obtidas através do tipo de válvula termostática a ser utilizada.

A válvula termostática é importante para o desempenho do motor, pois este não deve trabalhar frio por muito tempo. Caso ocorra a respectiva situação não desejada, podem ocorrer os seguintes inconvenientes:

- Condensação do vapor de combustível devido às baixas temperaturas das paredes da câmara.
- Combustível condensado provoca a lavagem do lubrificante das paredes do cilindro, acelerando o desgaste do motor.
- Formação de vernizes e gomas que prendem os anéis do pistão.
- Combustão incompleta em proporção com o aumento de combustível
- Promoção da contaminação do óleo lubrificante com prejuízo de suas propriedades e conseqüentemente do motor.

A válvula termostática é um componente imprescindível ao sistema de arrefecimento, não podendo ser eliminada sob quaisquer circunstâncias, contudo, quando apresentar defeitos deverá ser imediatamente substituída.

O componente termostático nada tem a ver com a temperatura ambiente: Ele apenas regula a temperatura conforme o regime do motor. A temperatura ambiente está ligada à área do radiador, que por sua vez:

- Deve ter área suficiente para evitar que a água de resfriamento não atinja a temperatura de ebulição nas condições climáticas mais desfavoráveis.
- Em normas brasileiras, o radiador deverá ser dimensionado para a temperatura do ar ambiente a 50°C.

Para evitar tensões térmicas no motor, a diferença de temperatura da água na saída do motor e na entrada do mesmo deve estar próxima de 5°C.

Figura 7 : Válvula Termostática



Fonte: atlanticparts (2007)

7.1 Tipos de Válvulas Termostáticas

7.1.1 Estrangulamento

Quando este tipo de válvula alcança a temperatura desejada, permite a passagem do fluxo de água em direção ao radiador. O controle é feito através de um bulbo metálico com parafina, ou éter, ou uma mola bimetálica. Nestas válvulas o movimento de abrir e fechar ocorre em função da temperatura, e a histerese nesse processo permite grandes variações na temperatura do refrigerante

7.1.2 Passo

As válvulas termostáticas de passo permitem a seleção entre o radiador e uma nova passagem pelo motor. Seu comportamento é diferenciado em relação à válvula de estrangulamento.

7.1.3 Com Aquecimento

O funcionamento da válvula termostática com aquecimento é semelhante à operação de uma válvula comum, exceto pelo fato de que a cera pode ser aquecida também por uma resistência do tipo PTC. Isso significa que a válvula termostática pode funcionar tanto pela água aquecida do motor quanto pelo acionamento do aquecedor.

Neste caso, a proposta é trabalhar com temperaturas diferentes em função do combustível utilizado pelo funcionamento do motor.

7.1.4 Eletrônica

Os benefícios de uma válvula termostática eletrônica são que o fluxo de refrigerante para o trocador de calor pode ser uma função de qualquer variável do sistema com uma restrição mais baixa, o que significa que as perdas de bombeamento são menores e a bomba d'água consome menos energia. Um sistema PID ou outras estratégias de controle podem ser empregadas para ajudar a manter a temperatura do refrigerante em torno de 2% da temperatura ajustada e, com isto, levando à redução no consumo de combustível de 2% e de emissões (menos CO e HC).

8 BOMBA D'ÁGUA

Promove a circulação da água no interior do motor e trata-se de uma bomba centrífuga de rotor aberto, com o acionamento normalmente realizado por correia ou engrenagem a partir do virabrequim. A carga manométrica destas bombas está em torno de 10m, o que corresponde a 20% acima da perda de carga do motor, de forma a permitir o adequado escoamento ao longo da vida deste. Essas bombas pela sua geometria trabalham com rendimento de 70% a 75%. É adequado lembrar de problemas de cavitação na bomba, nos dutos e junto às camisas.

Outros detalhes a serem considerados são:

- Velocidade máxima nos dutos - velocidade máxima aproximadamente 4m/s.
- RPM da bomba
- Potência necessária para o acionamento

A bomba d'água gira na mesma rotação que o motor, sendo responsável por impulsionar e direcionar o líquido de arrefecimento (água+aditivo) nas diversas galerias do motor, inicialmente, em um pequeno circuito, ou seja, o líquido percorre parte do motor até atingir a temperatura ideal de funcionamento quando próximo da zona crítica de temperatura, e depois no circuito completo, quando a válvula termostática abre para que o fluido possa percorrer um circuito maior, envolvendo o radiador, para que este possa auxiliar no arrefecimento (resfriamento), voltando então o líquido arrefecido ao motor para que possa dar sequência ao ciclo.

Os componentes de uma bomba d'água são:

- Cubo
- Rolamento
- Carcaça
- Selo mecânico
- Rotor

O selo mecânico é responsável pela vedação do eixo da bomba d'água, por meio do atrito entre os anéis de grafite e a cerâmica, ou outro sistema, de modo a garantir sua vedação.

Nos motores automotivos e equivalentes, a bomba geralmente é montada na parte dianteira do motor e gira sempre que o motor está funcionando. É acionada pelo motor por meio de uma correia (que também é responsável pelo: alternador, direção hidráulica, etc.). Composta de uma caixa, geralmente feita de ferro fundido ou alumínio e um rotor montado sobre um eixo com uma polia presa ao eixo do lado de fora do corpo da bomba. O fluido refrigerante será centrifugado pelo rotor e terá pressão suficiente para percorrer o circuito que passa pelo bloco do motor e pelo radiador.

8.1 Tipos de bombas d'água

8.1.1 Bomba d'água elétrica

Figura 8 : Bomba



Fonte: dutramaquinas (2009)

Tem por objetivo a redução no consumo de combustível, é operada pela ECU quando há necessidade do motor, variando vazão e rotação. Proporciona a redução no tamanho do radiador em 30%.

As bombas convencionais de arrefecimento são projetadas para atender às necessidades de fluxo de carga máxima do motor e estima-se que o fluxo líquido de

arrefecimento correto seja entregue em apenas 5% do tempo. Em baixas rotações com altas cargas, o fluxo de fluido é reduzido. Em altas rotações do motor com cargas baixas, o fluxo de entrada refrigerante pode ser excessivamente elevado, com consumo de combustível desnecessário.

Benefícios da bomba elétrica:

- Operação é independente da rotação do motor.
- Não há perdas pelo acionamento via correias.
- Velocidade de bombeamento pode ser uma função de qualquer variável do sistema.
- Vazão mínima de fluido é assegurada em todos os regimes.
- Radiação de trocador de calor pode ser maximizada antes do preenchimento com fluido refrigerante.

9 VENTILADORES

Os sistemas de ventilação estão divididos pela forma de acionamento:

- Mecânico
- Elétrico
- Viscoso

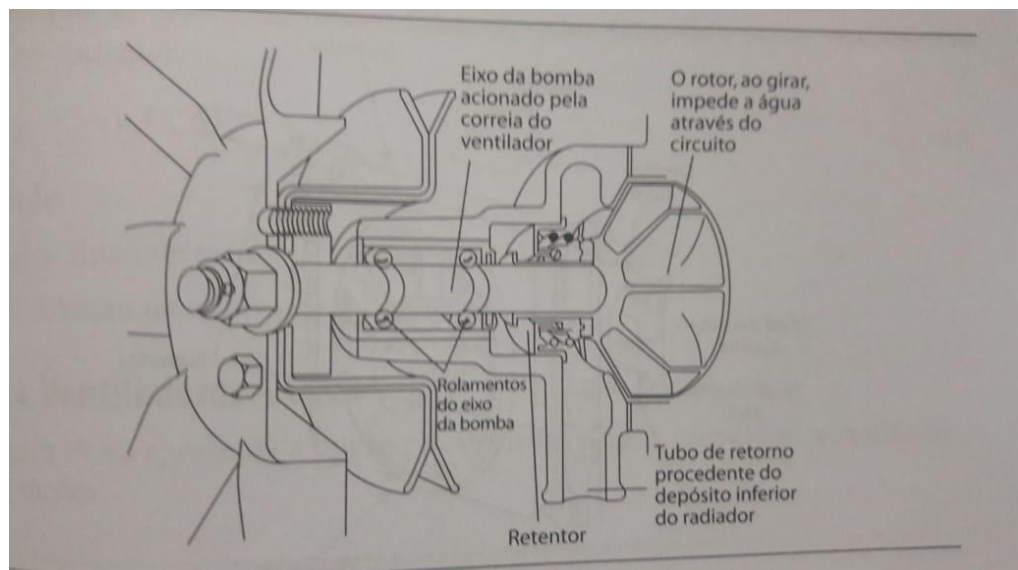
Um defletor deve ser instalado entre o ventilador e o radiador com um afastamento mínimo de 10cm entre ventilador e radiador. E a folga entre o defletor e o radiador deve variar entre 0,6 a 1,25 cm.

9.1 Ventiladores Mecânicos

Estes ventiladores são acionados por correia e montados na bomba d'água. Suas respectivas desvantagens são:

- Ligado permanentemente independente da carga térmica.
- Atrito da correia.
- Consumo de potência e combustível.
- Como vantagem, não param por defeito no termosensor, comum em motores antigos e em locais quentes como o Rio de Janeiro.

Figura 9 : Bomba D'água



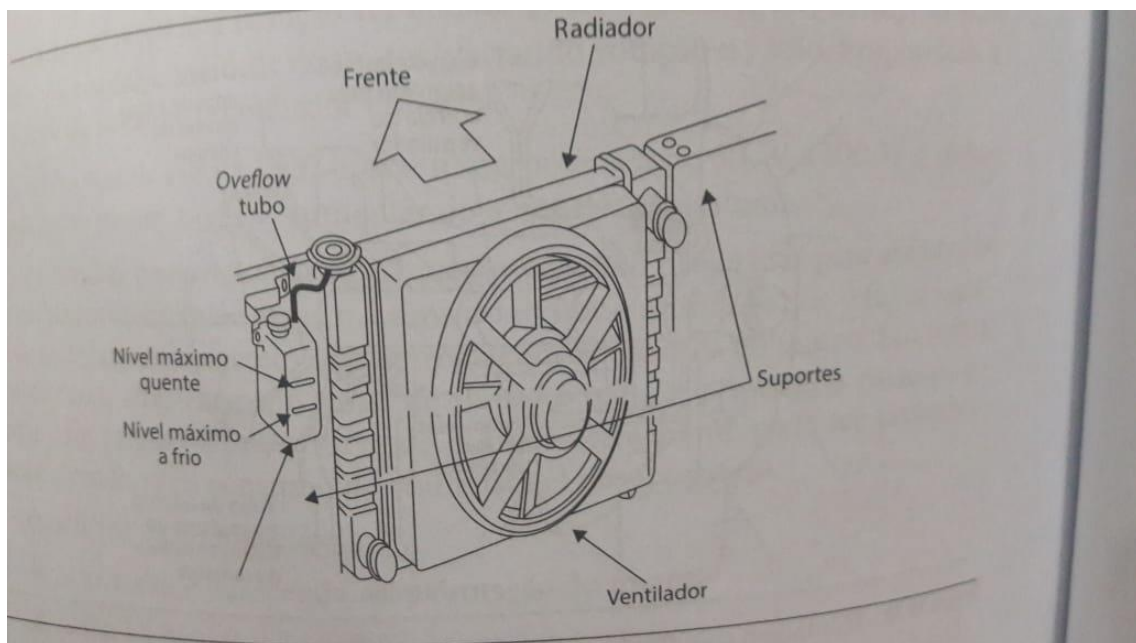
Fonte: Franco Brunetti (2015, p.401)

9.2 Ventiladores Elétricos

A maioria dos veículos de passageiros atuais utilizam ventiladores acionados por um motor elétrico. Esse conjunto inclui o motor do ventilador, o ventilador e o defletor, sendo que algumas montagens fazem uso de dois ventiladores.

Esses ventiladores são acionados apenas quando a temperatura atinge um limite calibrado, podendo ter duas ou mais velocidades:

Figura 10 : Ventilador



Fonte: Franco Brunetti (2015, p.403)

Vantagem:

- Não consomem potência do motor.

Desvantagem:

- Balanço elétrico do veículo.

Podem ser montados na frente ou atrás do radiador e são controlados por relés os quais são energizados pela ECU.

10 VASO DE EXPANSÃO

Esse vaso possibilita visualizar o nível do líquido refrigerante, não permitindo perdas por evaporação, pois a água se encontra sob pressão, tornando seguro o funcionamento do motor a 100°C.

O volume varia em função da dilatação e contração da água, não devendo ser inferior ao nível mínimo requerido quando o motor está frio, e nem superior à marca de nível máximo quando o motor está quente. Os vasos de expansão têm uma válvula que funciona como segurança no caso de uma sobrepressão no sistema e de respiração do ar para compensar a contração da água no resfriamento.

Trata-se de recipiente suplementar destinado a recolher o excesso de volume de água que sofreu expansão ao esquentar. Pode ser pressurizado ou selado (praticamente elimina o fenômeno de vaporização). É um compensador para as dilatações que a solução arrefecedora sofre, isto é, quando a temperatura da solução sobe, fazendo-a expandir-se no sistema, o excesso é conduzido ao vaso de expansão. Quando há diminuição na temperatura e na pressão, no processo de resfriamento do motor, há uma depressão e a água retorna novamente para o radiador. A adição de etileno glicol, na proporção 50/50 - eleva o ponto de ebulição para 108°C (com o sistema sendo pressurizado em 1 bar ou 15 psi, elevando o ponto de ebulição para 129°C). Como está sob pressão, a temperatura na qual o líquido começa a ferver é consideravelmente maior. Essa pressão, aliada ao maior ponto de ebulição do etileno glicol, permite que o refrigerante possa chegar com segurança a temperaturas superiores a 250°C.

Quando a pressão do sistema de arrefecimento atinge o ponto onde a tampa deve liberar esse excesso de pressão, uma pequena quantidade de refrigerante é sangrada fora. Existe um sistema para capturar refrigerante liberado e armazená-lo em um tanque de plástico. Quando o motor estiver em temperatura normal de funcionamento, o refrigerante do tanque de reserva retorna ao sistema.

A tampa de pressão eleva o ponto de ebulição da água possuindo molas calibradas que estabelecem pressões no sistema entre 0,5 e 1 kgf/cm², o que nos dá os parâmetros de fervura d'água por volta dos 112°C no nível do mar.

Uma segunda válvula é responsável pelo alívio da pressão interna, por intermédio do trabalho das molas calibradas na tampa do reservatório.

Material:

- Normalmente usam-se polietileno de alta densidade
- Sem carga mineral, de forma a conferir uma flexibilidade maior.
- Fabricado por sopro.

11 ADITIVOS

O refrigerante que percorre o interior das canalizações do motor e equipamentos deve ser capaz de resistir a temperaturas bem abaixo de zero, sem congelamento, e também deve ser capaz de lidar com as temperaturas do motor acima de 120°C sem ferver. O fluido deve conter também inibidores de ferrugem e um lubrificante.

O líquido de arrefecimento em veículos é uma mistura de etileno glicol (uma espécie de anticongelante) e água, em uma proporção recomendada de 50%-50%. Em determinados climas onde as temperaturas podem ir abaixo de zero, é permitido ter até 75% de anticongelante e 25% de água.

11.1 Etileno Glicol

Na proporção de 50/50, eleva-se o ponto de ebulição para 108°C. Quando o sistema estiver pressurizado em 15 psi, o ponto de ebulição é elevado para 129°C.

11.2 Propileno Glicol

Esse aditivo dá menor proteção nas mesmas temperaturas, apesar disso, é menos tóxico. O fluido refrigerante é uma mistura entre anticongelante e água.

O anticongelante diminui o ponto de congelamento e aumenta o ponto de ebulição. Também protege o sistema contra a ferrugem e corrosão, sendo que a vida é determinada pelo pacote de aditivos contra a corrosão.

Os fluidos com pacotes mais antigos - IAT - devem ser trocados a cada dois anos. Os mais recentes OAT/HOAT possibilitam trocas a cada cinco anos;

- IAT- Tecnologia de aditivos orgânicos
- OAT- Tecnologia de ácidos orgânicos
- HOAT- Tecnologia híbrida de ácidos orgânicos.

Estes fluidos não devem de maneira nenhuma ser misturados. Os aditivos contêm inibidores de corrosão (Silicatos, fosfatos e boratos), controladores de pH (aumentam o ponto de ebulição, evitam a corrosão eletrolítica, reduzem o ponto de congelamento, e mantem o equilíbrio ácido-alcalino), e tintura que servem para

distinguir a presença do anticongelamento e os tipos. Apesar do anticongelante propriamente puro apresentar maior viscosidade, ele não flui perfeitamente, e acaba diminuindo a taxa de transferência de calor.

12 MANGUEIRAS

Existem diversas mangueiras de borracha para conectar os componentes do sistema de arrefecimento em sistemas como os dos DGEs. As principais delas são as mangueiras do radiador superior e inferior.

Em veículos automotores, duas mangueiras adicionais proporcionam o fornecimento do líquido refrigerante quente do motor para o núcleo do aquecedor do habitáculo. Um desses tubos pode ter uma válvula de controle de aquecimento, fixada em linha para bloquear o refrigerante quente, entrando no núcleo do aquecedor quando o ar-condicionado encontra-se acionado. Outra mangueira chamada tubo de derivação é utilizada para circular o líquido refrigerante através do motor, evitando o radiador quando o termostato está fechado. Há também mangueiras para o regulador do GNV em alguns motores.

Essas mangueiras são feitas para suportar a pressão dentro do sistema de arrefecimento. Sendo assim, estão submetidas à possibilidade de desgaste, e eventualmente, podem exigir a substituição como parte da rotina de manutenção. As mangueiras do radiador principal geralmente são moldadas ao redor de obstáculos sem cotovelos. Existe uma pequena mangueira de borracha que vai do radiador para o vaso de expansão.

Tubos e conexões não podem estar abaixo ou serem menores que a entrada e saída do motor. O diâmetro deve ser o mais econômico possível, porém o maior possível, garantindo uma velocidade máxima de aproximadamente 4m/s.

As mangueiras devem também ser flexíveis o suficiente para que possam acomodar movimentos relativos entre componentes e utilizar reforços em mangueiras demasiadamente longas.

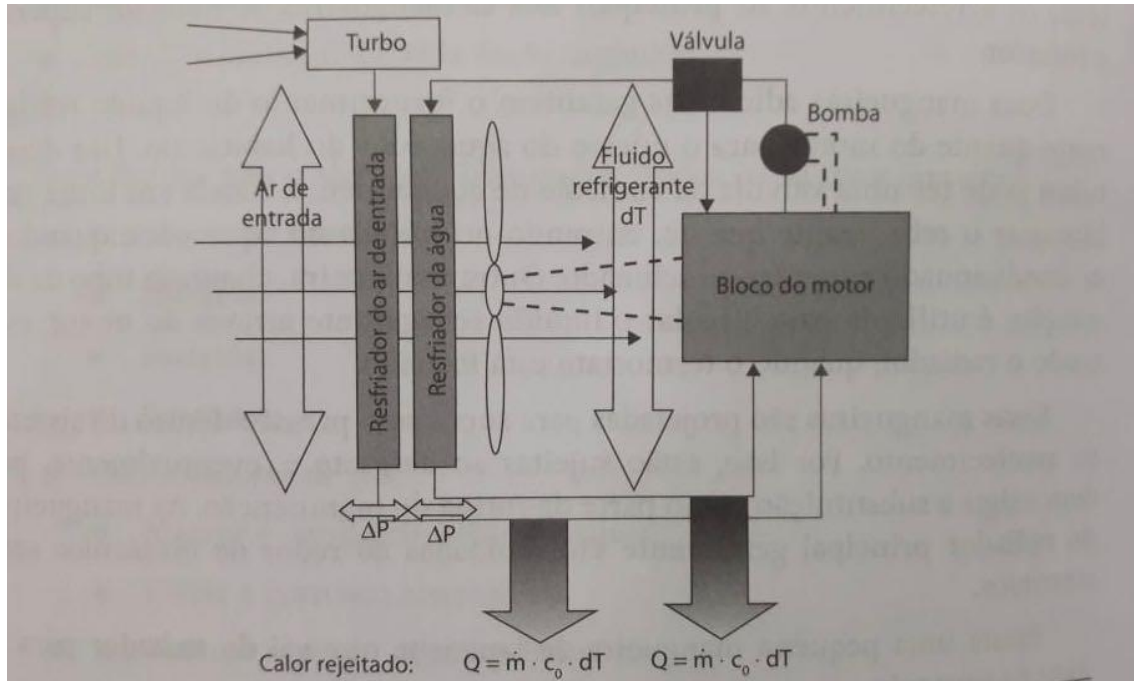
Figura 11 : Vão entre motor e mangueiras



Fonte: Franco Brunetti (2015, p.409)

13 SISTEMA HÍBRIDO

Figura 12: Sistema Convencional de Arrefecimento



Fonte: Franco Brunetti (2015, p.410)

O sistema de resfriamento híbrido (ou elétrico) tem como vantagens em relação ao sistema convencional de arrefecimento:

- Aumento da rejeição de calor.
- Redução da potência de atrito.
- Temperatura do óleo pode ser aumentada para reduzir atrito.
- A temperatura do MCI pode ser levantada, o que aumenta a eficiência da combustão.
- Ventilador e consumo de energia da bomba são reduzidos.
- Menos restrições impostas pelos trocadores de calor e válvulas;
- O tamanho do trocador de calor pode ser menor.
- Há o controle total do sistema.
- Regulamentos de emissões.
- Remoção de cargas parasitas.
- Possibilita o arrefecimento dos respectivos subsistemas: Óleo motor, óleo transmissão (de forma independente), EGR, e como conseqüentemente, todos os componentes operam na sua melhor temperatura.

14 OBJETIVO E REQUISITO DOS RADIADORES

Os radiadores devem transferir o calor rejeitado do motor, da transmissão e de outros componentes (como o EGR, intercooler direto, refrigerador de óleo da direção, etc.) para o ar ambiente (em torno de 1/3 da energia gerada na combustão).

Garantem o resfriamento em condições extremas de temperaturas ambientes, a utilização com alta durabilidade e por tempo prolongado, influenciam pouco no layout e na aerodinâmica do veículo.

Atualmente, os radiadores são normalmente compostos por uma rede de tubos e alhetas feitas com ligas de alumínio, montadas na sua extremidade em coletores que têm a função de alojar uma guarnição (elemento de vedação) e os tanques plásticos (que podem conter outros trocadores de calor), que fazem a interface com as mangueiras do veículo.

Os radiadores podem ser classificados de acordo com o processo produtivo, das seguintes maneiras:

- Brasados, para conjunto de tubos chatos (soldados ou apenas dobrados), conectados a aletas formadas (em formatos "V", paralelas, e offset com janelas perpendiculares ao fluxo de ar, por meio de fusão e conexão física dos materiais. Possuem alta densidade de trabalho.)

- Mecânica para conjunto de tubos (trefiados em diversos formatos como redondos, ovais ou chatos e que podem conter turbilhonadores internos) conectados às aletas estampadas com janelas perpendiculares ao fluxo de ar, por meio de expansão mecânica dos tubos. Possuem menor densidade de trabalho.

Há ainda outra classificação para os radiadores: Quanto ao fluxo d'água no seu interior, eles podem também ser classificados como "Down-Flow, Cross-Flow e U-FLow", de acordo com o fluxo de arrefecimento.

Algumas dimensões e nomenclaturas importantes para os radiadores são:

- Altura da matriz - Distância entre os coletores no sentido do fluxo do fluido de refrigeração;

- Profundidade da matriz - Distância entre as duas faces do radiador no sentido de passagem do fluxo de ar;

- Largura da matriz - Distância entre as extremidades da matriz no sentido perpendicular à profundidade e à altura;

- Pitch - Distância entre dois tubos consecutivos; e

- Densidade de aleta - Medida em "aletas ("fins") por decímetro" nos radiadores mecânicos e "convolução por decímetro" nos radiadores brasados.

Ainda serão adotados:

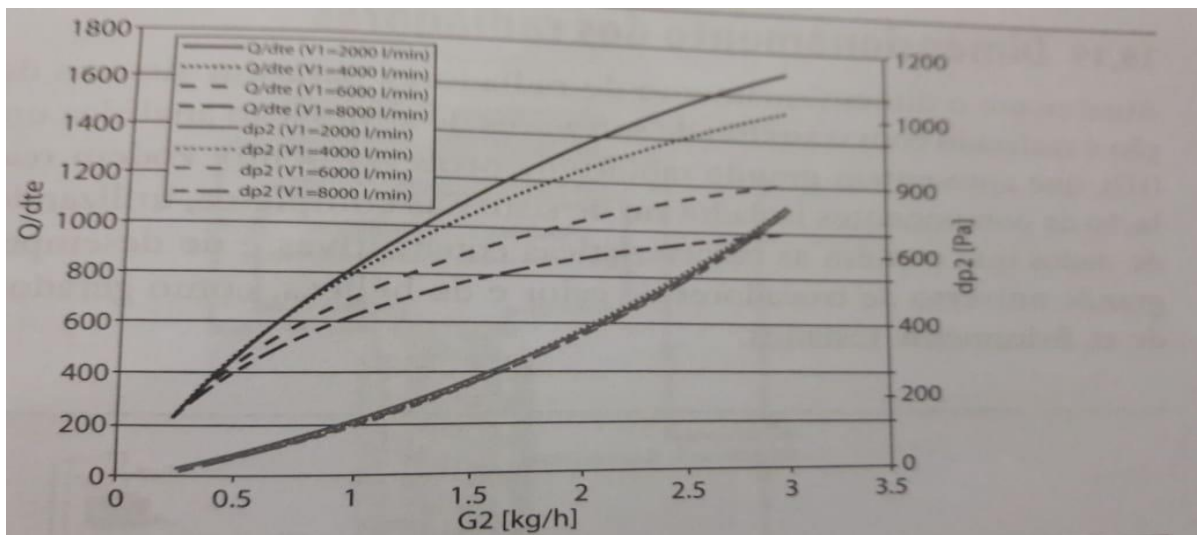
- Lado do fluido de refrigeração; e
- Lado ar.

O desempenho de um radiador específico é normalmente representado graficamente em um diagrama da razão da troca térmica pelo diferencial de temperaturas de entrada X a vazão em massa de ar externo, para diversas curvas de vazão do fluido de arrefecimento.

A perda da carga de um radiador específico é normalmente representada graficamente em um diagrama de perda de carga do lado ar X a vazão em massa de ar externo.

Os critérios construtivos que afetam a definição do dimensionamento de um radiador específico são definidos como:

Figura 13 : Curva característica de um radiador



Fonte: Franco Brunetti (2015, p. 419)

- Perda de carga do lado do fluido de refrigeração - afetado pela quantidade de tubos (diâmetro hidráulico total) e pela geometria do tubo (altura e profundidade).

- Perda de carga do lado de ar - afetado pela densidade e geometria da aleta (altura, espessura, desenho das janelas e profundidade).

Os critérios de dimensão dos radiadores por meio da altura da matriz x largura da matriz x profundidade da matriz afetam o desempenho e a perda de carga do radiador.

14.1 Dimensionamento dos Radiadores

Atualmente, o dimensionamento dos radiadores para um sistema de refrigeração é realizado com o auxílio de softwares de simulação analítica unidirecional, que apresentam enorme rapidez de processamento. Podem realizar a simulação de componentes isolados ou de sistemas completos, usando um banco de dados que contém as características construtivas e de desempenho de um grande universo de trocadores de calor e de hélices, como geradores de fluxo de ar, fisicamente testados.

Os parâmetros de entrada para o dimensionamento dos radiadores em um sistema podem envolver:

- Vazão do ar frontal ao sistema de arrefecimento, crítica num projeto de grupogeradores por serem estacionários.
- Condensador (a rejeição térmica e perda de carga do lado ar).
- Radiador de ar - a pressão e temperatura de saída do turbocompressor.
- Radiador de água - a rejeição térmica do motor para o líquido de arrefecimento e vazão de bomba d'água.
- Ventilador - a rotação e curva característica do ventilador.
- Os parâmetros de controle do veículo ou outro sistema: Perda de carga admissível dos componentes, a máxima dimensão permitida do conjunto e a rotação do regime de funcionamento.

Com os dados teóricos, a simulação do radiador (padrão máster do banco de dados contendo os adimensionais de troca térmica) é realizada, definindo suas características geométricas e sua dimensão.

No começo do desenvolvimento de novos veículos, os detalhes do comportamento dos trocadores de calor instalados no sistema, bem como a

influência do ambiente no cofre do motor, não são conhecidos em detalhe e são normalmente estimados por meio de simulações de CFD, ou estimados por similaridade com outros veículos.

A validação dos modelos matemáticos ocorre por meio de protótipos de radiadores construídos e testados em condições de aplicação no veículo em campo de prova ou túnel de vento. Nestas condições, podem ser medidas as interferências reais das perdas de carga do sistema e do veículo, tais como influências (recirculação de ar quente no cofre do motor, que afetam o desempenho do sistema como um todo).

Com as informações dos testes em veículo, o modelo matemático pode ser calibrado e diferentes soluções podem rapidamente ser avaliadas. No caso em questão, para o aumento da troca térmica no sistema, pode ser utilizado um ventilador mais potente, aumentando o fluxo de ar externo através do mesmo radiador, ou aumentando a capacidade de troca térmica do radiador por meio da mudança de sua construção geométrica para o mesmo ventilador. Esse projeto recebe grande influência do local onde será utilizado, por isso temos a necessidade de correções ao vendermos unidades para diversas regiões do planeta.

15 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desta maneira, como estudado acima, o motor de combustão interna é uma máquina complexa que possui suas peças com funcionamento interligadas, de maneira que um mal funcionamento ou lubrificação de qualquer componente poderá comprometer todo o seu desempenho ou até mesmo levar a ruína da máquina. Um exemplo disso é o resfriamento excessivo, que faria com que o combustível não se vaporizasse suficientemente para formar uma mistura homogênea o qual teria como consequências a combustão imperfeita e desperdício de combustível, além da possibilidade da diluição do óleo no cárter e também o funcionamento irregular e tendência de parar o motor, sem contar com o aumento das perdas mecânicas devido ao aumento da viscosidade do óleo quando a temperatura cai abaixo dos valores mínimos.

Deste modo, é de extrema importância que todos seus sistemas sejam bem dimensionados e perfeitamente equipados com elementos que permitam que a mesma trabalhe em suas melhores condições e assegurem o não comprometimento das peças e também do operador, sendo assim demonstrado a importância do sistema de arrefecimento. Responsável por regular e controlar temperaturas consideradas ideais seja do ar, produtos ou equipamentos. Portanto, quando o sistema de arrefecimento trabalha na temperatura ideal, o motor terá maior durabilidade, menor desgaste e atrito, maior economia de combustível, menos manutenção, emitirá menos poluentes e aumentará seu desempenho que é o objetivo esperado daqueles que o manuseiam.

REFERÊNCIAS

BARROS, José Eduardo Mautone.; COELHO, José Guilherme. Universidade Federal de Minas Gerais. **Transferência de Calor**. 2010. Disponível em: < http://www.mautone.eng.br/apostilas/laboratorio_termica/TransferenciaCalor > Acesso em: 18 jun. 2018.

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna** – Volume II. Instituto Mauá de Tecnologia. 3ª reimpressão, 2015. Editora Edgard Blücher Ltda.

ENGINE SELECTION GUIDE. MAN B & W 60-35 ME-B-TII

ESCOLA NAUTICA INFANTE D. HENRIQUE. **Tecnologia Marítima**; SILVA, João Emilio C. < <https://www.enautica.pt/> > Acessado em 01 jul. 2018.

GOLDEMBERG, C. et al. **A evolução do carro elétrico**. IPEA – USP, 2002.

KREITH, Frank. **Princípios da Transmissão de Calor**. Tradução da 3ª edição americana. Editora Edgard Blücher LTDA. – 1977

PROJECT GUIDE. MAN B & W STONE - C8 – TII

QUEIROZ, J. **Introdução do veículo híbrido no Brasil: evolução tecnológica aliada à qualidade de vida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.