



**MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL
FORÇA AÉREA PORTUGUESA
CENTRO DE FORMAÇÃO MILITAR E TÉCNICA**

Curso de Formação de Oficiais – RC
Curso de Formação de Sargentos – QP
Curso de Formação de Praças – RC

COMPÊNDIO

MOTORES ALTERNATIVOS

EPR: CAP António Fernandes

CCF 332-3

Julho 2008





**MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL
FORÇA AÉREA PORTUGUESA
CENTRO DE FORMAÇÃO MILITAR E TÉCNICA**

CARTA DE PROMULGAÇÃO

JULHO 2008

1. O Compêndio de "Motores Alternativos" é uma Publicação "NÃO CLASSIFICADA".
2. Esta publicação entra em vigor logo que recebida.
3. É permitido copiar ou fazer extractos desta publicação sem autorização da entidade promulgadora.

O COMANDANTE

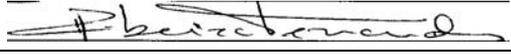
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'V. Manuel Alves Francisco', is written over a horizontal line.

Vítor Manuel Alves Francisco

COR/PILAV

REGISTO DE ALTERAÇÕES

IDENTIFICAÇÃO DA ALTERAÇÃO, Nº DE REGISTO, DATA	DATA DE INTRODUÇÃO	DATA DE ENTRADA EM VIGOR	ASSINATURA, POSTO E UNIDADE DE QUEM INTRODUZIU A ALTERAÇÃO

Cursos:	Curso de Formação de Oficiais – RC Curso de Formação de Sargentos – QP Curso de Formação de Praças – RC
Nome do Compêndio:	Motores Alternativos
Disciplina:	Propulsão
Data de elaboração:	Abril 2008
Elaborado Por:	CAP/TMMA António Fernandes; ASPOF/TMMA Carlos Granjeiro; SAJ/ MMA José Gomes
Verificado Por:	Gabinete da Qualidade da Formação
Comando G. Formação:	TCOR/ EGAER Lourenço Saúde 
Director de Área:	MAJ/ TMMEEL Abílio Carmo 
Director de Curso:	CAP/ TMMA António Fernandes 
Formador:	SAJ/ MMA José Gomes

ATENÇÃO:

Esta publicação destina-se a apoiar os formandos a frequentarem os Cursos de Formação de Oficiais, Sargentos e Praças na disciplina de Propulsão.

Não pretendendo ser uma publicação exaustiva do curso em questão, apresenta-se como uma ferramenta de consulta quer durante a duração do curso, quer após a sua conclusão.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	7
MOTORES ALTERNATIVOS.....	9
PRINCÍPIOS DA TERMODINÂMICA	9
Princípio da Conservação da Energia (Mayer)	9
Princípio de Carnot.....	9
Rendimento Térmico	9
Classificação das Máquinas Térmicas	10
Quanto ao Órgão Onde se Realiza a Combustão.....	10
Quanto ao Movimento da Peça Motora.....	10
Quanto à Forma como se Processa a Combustão.....	10
Quanto à Combustão nos Motores Alternativos.....	10
MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA	10
Ciclo	10
Admissão	11
Combustão	11
Expansão.....	11
Escape.....	11
Definições.....	11
DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DOS MOTORES DE QUATRO TEMPOS.....	12
Ciclo	12
Admissão	12
Compressão.....	13
Explosão/expansão.....	13
Escape.....	13
Diagrama Teórico.....	14
Diagrama Prático.....	16
MOTORES A DOIS TEMPOS	17
Ciclo	17
Admissão	17
Compressão.....	17
Ignição	18
Expansão.....	18
Admissão/Escape	18
Vantagens dos Motores de Quatro Tempos para Aplicações Aeronáuticas	19
CONFIGURAÇÃO DOS MOTORES AERONÁUTICOS CONVENCIONAIS.....	19

Motor em Linha	19
Motor em V	20
Motor em Duplo V	21
Motor de Cilindros Opostos ou “Flat Twin”	21
Motor em X	21
Motor em Estrela ou Radial	22
ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DO MOTOR CONVENCIONAL	22
Cárter	23
Constituição do Cárter	24
Cilindro	25
Função	25
Constituição	25
Princípios construtivos do Cilindro	26
Métodos de Refrigeração dos Cilindros de Alhetas	26
Temperatura dos Cilindros	28
Êmbolo	28
Função e Construção	28
Velocidade de Êmbolo	29
Temperatura e Pressão no Êmbolo	30
Segmentos	30
Função e Construção	30
Tipos de Segmentos	30
Cavilhão	31
Biela	31
Função e Construção	31
Tipos de Bielas	32
Cambota	33
Finalidade e Princípios Construtivos	33
Constituição	33
Calagem das Manivelas da Cambota	34
Tipos de Cambota	35
Válvulas – Distribuição	36
Chumaceiras	38
Características das Chumaceiras	39
Tipos de Chumaceiras	39
TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO NO GRUPO MOTO PROPULSOR	41
Transmissão Directa	41
Transmissão com Redução	41
TIPOS DE POTÊNCIA	42
Potência Teórica	42

Potência Indicada.....	43
Potência Efectiva.....	44
MEDIÇÃO DO BINÁRIO MOTOR	44
ALIMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEL NOS MOTORES ALTERNATIVOS - CARBURAÇÃO.....	47
GENERALIDADES.....	47
Teoria da Combustão.....	47
Título de Mistura Combustível/Ar	47
Temperatura dos Gases de Escape	48
Concepção do Carburador	48
CARBURADOR DE ASPIRAÇÃO.....	48
Elemento Flutuante (bóia)	50
Sistema de Equilíbrio de Pressões	51
Sistema de Controlo de Velocidade do Motor.....	52
Automatismo da Pulverização	52
Princípio de Claudel.....	52
Princípio de Stromberg	54
Factores que Afectam a Carburação.....	55
Controlo da Mistura na Marcha Lenta	55
Correcção da Mistura nas Acelerações	56
Correcção Altimétrica.....	57
Prevenção da Formação de Gelo no Carburador.....	58
Correcção da Mistura por Variação da Temperatura do Ar	59
Dispositivos Complementares do Carburador de Aspiração	59
Dispositivo de Controlo de Mistura	59
Controlo Manual da Mistura	61
Corte do Motor	61
CARBURADOR DE PRESSÃO	62
Vantagens do Carburador de Pressão	62
Princípio de Funcionamento.....	63
INJECCÃO DIRECTA DE COMBUSTÍVEL	66
Constituição do Sistema	67
INJECCÃO INDIRECTA DE COMBUSTÍVEL	67
Bombas de Combustível.....	68
Unidade de Controlo Ar/Combustível.....	69
Válvula Distribuidora	69
Injectores	69
DETONAÇÃO	70

Fenómeno da Detonação	71
Prevenção da Detonação	72
SOBREALIMENTAÇÃO DOS MOTORES CONVENCIONAIS	72
Introdução	72
Compressor Convencional	73
Turbo Compressor	75
FORMAÇÃO DE GELO	79
SISTEMAS DO MOTOR.....	83
SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO	83
Princípios da Lubrificação	83
Óleos de Lubrificação	83
Requisitos do Sistema de Lubrificação	84
Tipo de Sistema.....	85
SISTEMA DE IGNIÇÃO.....	90
Introdução	90
Obtenção da Inflamação.....	91
Magnetos.....	91
Constituição do Magneto de Baixa Tensão.....	91
Funcionamento do Magneto	92
Obtenção da Corrente de Alta Tensão	93
Distribuição da Corrente de Alta Tensão	95
Métodos Auxiliares de Arranque	95
Teste de Magnetos	96
COMBUSTÍVEIS	97
INTRODUÇÃO	97
DESTILAÇÃO FRACCIONADA DOS PETRÓLEOS NATURAIS.....	98
GASOLINAS	99
GASOLINA PARA AVIAÇÃO.....	99
Curva de Volatilidade	99
Pureza.....	100
Índice de Octana	100
Poder Calorífico	101
COMPOSIÇÃO DAS GASOLINAS	101
BIBLIOGRAFIA	105
LISTA DE PÁGINAS EM VIGOR.....	LPV - 1

INTRODUÇÃO

Nos primeiros 40 anos do século XX o motor de combustão interna a gasolina, accionando um hélice, foi o grupo moto propulsor utilizado quase em exclusividade nas aeronaves. Este tipo de motor, cuja potência foi sendo progressivamente melhorada, constituiu o melhor meio de propulsão ao longo daquele período. Entretanto, eram feitas tentativas para desenvolver o impulso necessário ao voo por outros métodos, porém os avanços registados foram insignificantes até ao advento do motor turbo jacto (propulsão a jacto com turbina de gás) surgido nos últimos anos da 2ª Guerra Mundial. Ainda que o motor turbo jacto parecesse ser, na altura, o meio de propulsão por excelência, não estagnou o progresso já verificado nos motores convencionais.

No final da década de 40 do século XX, obtinham-se potências impressionantes nos motores alternativos, facto que foi conseguido ao cabo duma série de "batalhas" técnicas. Estas lutas, no sentido da obtenção de grandes cilindradas e maiores taxas de compressão, chocavam com os condicionalismos impostos pelas características dos materiais existentes. Por outro lado, os carburadores de aspiração, se bem que muito aperfeiçoados, revelavam-se já insuficientes para garantir uma alimentação correcta de combustível nos motores de média potência. Surgiu então o carburador de pressão que não só satisfaz a alimentação dos motores de média como os de alta potência e, por último, a injeção directa de combustível nos cilindros.

Para qualquer destes sistemas, quando parecia ter sido atingida a máxima potência em motores convencionais, e sem que houvesse necessidade de modificar a sua concepção básica, foi ainda aumentado o seu rendimento através de dois métodos distintos. Por um lado, foi introduzido um sistema de injeção de água (mistura de água destilada, álcool e metanol) no compressor do motor que conferia às cabeças dos cilindros relativo arrefecimento. Este facto permitia estabelecer um doseamento mais correcto de combustível do qual resultava um substancial aumento de potência nos regimes de descolagem. Por outro lado, a partir de determinado número de rotações, a potência do motor era aumentada (com valores bastante sensíveis nos regimes máximos) através da instalação de pequenas turbinas que aproveitavam a acção dinâmica dos gases de escape e cuja energia mecânica deste modo obtida se somava à da própria cambota.

Embora os motores de turbina tenham substituído os motores alternativos de média e de grande potência, em aeronaves ligeiras o motor mais eficiente e largamente utilizado continua a ser o motor alternativo de quatro tempos.

MOTORES ALTERNATIVOS

PRINCÍPIOS DA TERMODINÂMICA

PRINCIPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA (MAYER)

“Sempre que um corpo produz ou recebe trabalho, dissipa ou absorve calor, existe uma razão constante entre as quantidades de calor (Q) e as quantidades de trabalho (W) correspondentes”.

$$CK = \frac{W}{Q} = J$$

Este coeficiente constante é designado por equivalente mecânico do calor.

$$J = 427 \text{ Kgm} / \text{Kcal}$$

Ou o inverso;

$$\frac{1}{J} = \frac{1}{427} \text{ Kcal} / \text{Kgm}$$

Sendo possível transformar integralmente em calor uma quantidade determinada de trabalho, é impossível transformar em trabalho toda a energia calorífica de que se dispõe. Diz-se que a energia calorífica se degrada (há sempre uma parcela de calor perdida por irradiação).

PRINCIPIO DE CARNOT

“Uma máquina térmica não pode produzir trabalho sem o emprego de duas fontes de calor a temperaturas diferentes”.

Uma é a fonte quente que cede ao fluido em evolução o calor para a transformação. Outra é a fonte fria que absorve a quantidade de calor remanescente depois da transformação. Quanto maior for a diferença entre as temperaturas das duas fontes, maior será a parcela de calor transformado, o que permite dizer que maior será o rendimento térmico do sistema empregue.

RENDIMENTO TÉRMICO

É a razão entre o trabalho mecânico realizado (W_M) e o trabalho mecânico que corresponderia à utilização integral do calor cedido pela fonte quente (W).

$$T = \frac{W_M}{W}$$

CLASSIFICAÇÃO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS

Denomina-se máquina térmica o sistema capaz de transformar energia calorífica em energia mecânica. As máquinas térmicas têm a seguinte classificação:

Quanto ao Órgão Onde se Realiza a Combustão

Combustão externa - É necessário um órgão exterior ao motor para obter a energia calorífica (máquina a vapor);

Combustão interna - A energia calorífica obtém-se dentro do próprio motor (motor de explosão).

Quanto ao Movimento da Peça Motora

Alternativo. O movimento da peça motora é rectilínea de vai vem, sendo depois transformado em movimento rotativo contínuo (motor de êmbolo);

Rotativo. A peça motora adquire directamente movimento rotativo (turbina).

Quanto à Forma como se Processa a Combustão

Combustão intermitente - As diversas transformações sofridas pelo fluido são sucessivas, não havendo na câmara de combustão um renovar contínuo do fluido activo (mistura combustível/ar). Motor de êmbolo, por exemplo.

Combustão contínua - As diversas transformações sofridas pelo fluido são também sucessivas mas havendo, agora, um renovar contínuo do fluido activo. Motores turbo jacto, por exemplo.

Quanto à Combustão nos Motores Alternativos

Explosão - A combustão, rapidíssima, faz-se praticamente a volume constante (o êmbolo praticamente não se desloca);

Diesel - A combustão, lenta, faz-se praticamente a pressão constante;

Misto ou semi-diesel - No início a combustão faz-se a volume constante e, no fim, a pressão constante.

MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

CICLO

Neste motor o fluido utilizado é uma mistura combustível/ar que, uma vez queimada, produz calor. A pressão dos gases de combustão, actua numa peça móvel (êmbolo) obrigando-a a movimentar-se produzindo trabalho mecânico.

Para o motor continuar a funcionar é necessário expulsar os gases queimados para a atmosfera, admitir nova mistura combustível/ar e queimar de novo esta mistura.

Ao conjunto das transformações sofridas pelo fluido, com regresso ao estado inicial, dá-se o nome de ciclo.

As transformações de que consta este ciclo são quatro, pela seguinte ordem:

Admissão

Admissão para o interior da câmara de combustão da mistura combustível/ar em tais proporções que a combustão possa efectuar-se completamente.

Combustão

A combustão deve ser efectuada nas melhores condições de rendimento.

Expansão

Expansão tão completa quanto possível dos gases produzidos na combustão, com perdas mínimas de calor.

Escape

Escape dos produtos da combustão para o exterior do motor.

Para melhorar a combustão recorre-se à compressão do fluído antes da combustão a fim de:

- Tornar a mistura mais homogénea e aumentar a rapidez da combustão;
- Aumentar a temperatura e favorecer a inflamação;
- Aumentar a pressão inicial, da qual depende o valor da pressão final da combustão;
- Aumentar o volume de mistura admitida e, deste modo, aumentar a potência para a mesma cilindrada.

DEFINIÇÕES

Ponto Morto. Posição extrema do êmbolo. Há dois pontos mortos: o ponto morto superior (PMS) quando o êmbolo está à distância máxima do eixo da manivela; o ponto morto inferior (PMI) quando o êmbolo está mais próximo do eixo da manivela, figura 1.

Tempo - Conjunto de operações que se efectuam enquanto o êmbolo vai de um ponto morto ao outro.

Curso - Distância que o êmbolo percorre entre pontos mortos.

Cilindrada - Volume (V) gerado pelo êmbolo no curso entre pontos mortos.

Câmara de combustão ou de compressão - Espaço compreendido entre as paredes do cilindro, a sua cobertura e a parte superior do êmbolo quando este se encontra no PMS. O volume da câmara de combustão representa-se por v

Grau ou taxa de compressão - É a razão entre o volume da mistura no início da compressão ($V+v$) e no fim da compressão (v):

$$TC = \frac{V+v}{v}$$

Motor de quatro tempos - O ciclo, composto de admissão, compressão, ignição, explosão/expansão e escape, realiza-se durante quatro cursos do êmbolo.

Motor de dois tempos - O ciclo realiza-se durante dois cursos do êmbolo.

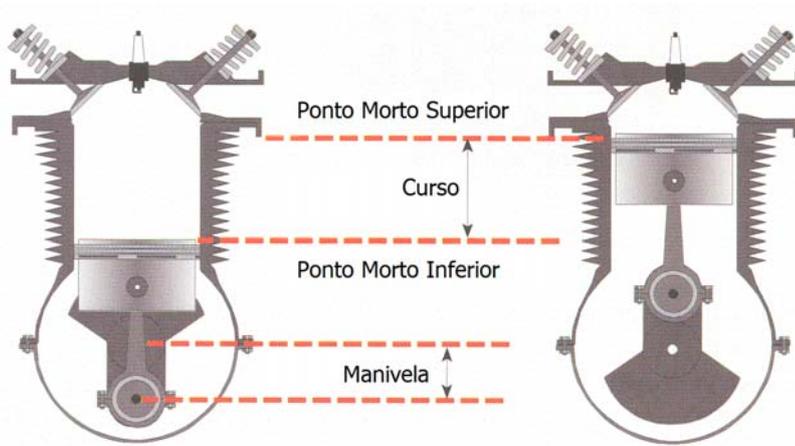


Figura 1 - Posições extremas do êmbolo

DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DOS MOTORES DE QUATRO TEMPOS

CICLO

Admissão

Durante a admissão o êmbolo desloca-se do PMS até ao PMI à medida que a mistura combustível/ar entra no cilindro através da válvula de admissão. Atingindo o PMI, a válvula de admissão fecha.

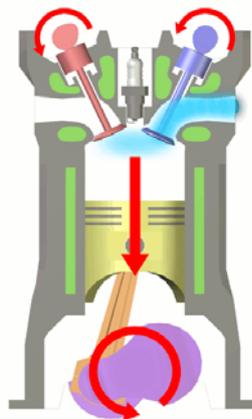


Figura 2 - Admissão

Compressão

Durante a compressão a cambota continua a rodar, o êmbolo é forçado a deslocar-se no cilindro, desde o PMI até ao PMS, e ambas as válvulas (de admissão e de escape) estão fechadas. Durante este movimento do êmbolo a mistura combustível/ar é comprimida.

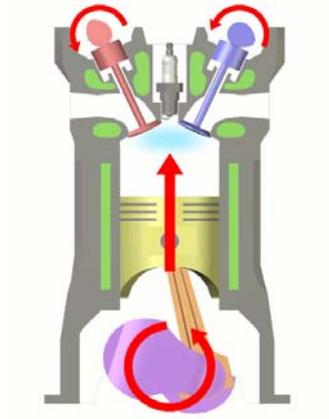


Figura 3 – Compressão

Explosão/expansão

À medida que o êmbolo se aproxima da PMS, salta uma faísca nos eléctrodos da vela provocando a inflamação da mistura comprimida. Inflamada a mistura, esta começa a combutar-se e a expandir-se obrigando o êmbolo a deslocar-se em direcção ao PMI. Este facto dá, por sua vez, origem a que a cambota (veio de manivelas) rode. Visto ser este o único tempo que fornece trabalho à cambota, é costume designá-lo por tempo motor. As válvulas de admissão e escape encontram-se fechadas.

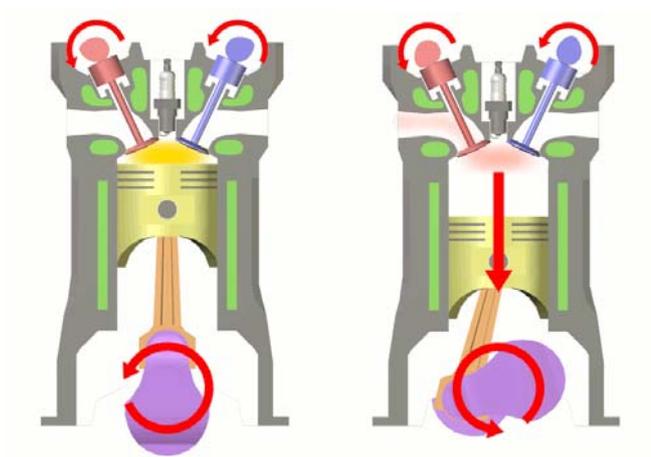


Figura 4 - Explosão e expansão

Escape

Durante a expansão os gases quentes provenientes da combustão exercem forte pressão sobre o êmbolo, obrigando-o a deslocar-se do PMS até ao PMI. Próximo do fim do curso a pressão dos gases é

reduzida (aumento de volume e diminuição de temperatura). No fim do curso a válvula de escape abre enquanto a cambota continua a girar e o êmbolo a movimentar-se no cilindro em direcção ao PMS. Este movimento força os gases resultantes da combustão a sair através da válvula de escape devido à maior pressão em relação ao exterior e devido também ao movimento do êmbolo.

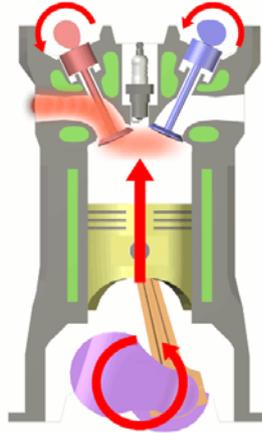


Figura 5 – Escape

DIAGRAMA TEÓRICO

A partir duma origem comum "O" tracemos dois eixos perpendiculares, um horizontal OX e outro vertical OY, figura 6.

Sobre o eixo das abcissas OX marquemos numa escala determinada uma distância AA' que representará o curso do êmbolo. O ponto A representa o PMS, o ponto A' representa o PMI. A distância OA representa a câmara de compressão.

Durante o ciclo, as variações de pressão e de volume que se produzem no cilindro e que determinam o diagrama teórico.

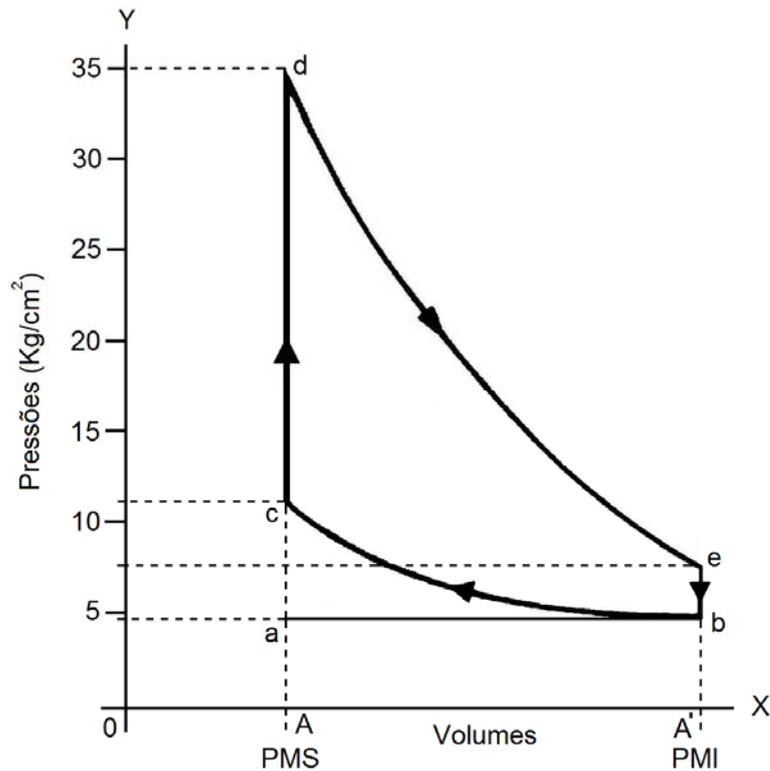


Figura 6 - Ciclo Otto teórico para o motor de quatro tempos

Admissão. Quando o êmbolo se encontra no PMS (em A) a mistura está sujeita à pressão de $1,033 \text{ kg/cm}^2$ (pressão atmosférica ao nível do mar e nas condições padrão). Supõe-se que durante a descida do êmbolo o vazio que resulta do aumento de volume é imediatamente ocupado pela mistura gasosa e que, por conseguinte, a pressão no cilindro se mantém igual à pressão atmosférica. Não havendo variação de pressão durante todo o tempo de admissão, a linha ab, representativa da admissão, é paralela ao eixo dos volumes.

Compressão. No início deste tempo a pressão é a que corresponde à do fim da admissão (pressão atmosférica). Supõe-se que durante a compressão não há nenhuma perda de calor através das paredes do cilindro, e, a curva bc que representa este tempo, é uma linha adiabática como a própria compressão (não perde nem recebe calor do exterior). Quando o êmbolo chega ao PMS a pressão do gás aumentou sensivelmente. O seu valor, que depende da razão de compressão, é neste momento de aproximadamente 8 kg/cm^2 , nos motores actuais e para as condições atmosféricas anteriormente indicadas.

Explosão/expansão. No momento em que o êmbolo chega ao PMS, a faísca salta na vela inflamando a mistura. Supõe-se que a combustão da mistura é instantânea (a combustão é tão rápida que o êmbolo praticamente não se move) e que a pressão se eleva muito rapidamente até ao valor máximo admitido anteriormente antes que o êmbolo tenha começado a baixar (combustão a volume constante). A linha cd que representa esta combustão é paralela ao eixo das pressões. A pressão máxima atingida é de 35

kg/cm², no exemplo que se considera. Sob a acção da pressão dos gases, o êmbolo é impelido para o PMI enquanto o gás se expande. Admite-se que, sendo muito rápido o curso da expansão, não há troca de calor com as paredes do cilindro e, por esta razão, se chama expansão adiabática como a linha **de** que a representa. Quando o êmbolo atinge o PMI, subsiste todavia no cilindro uma certa sobrepressão da ordem de 4 a 5 kg/cm².

Escape. No momento em que o êmbolo alcança o PMI, a válvula de escape abre-se. Por sua vez os gases queimados escapam-se para o exterior e a pressão no cilindro desce bruscamente até ao valor da pressão atmosférica. A linha **eb** representa esta queda de pressão. O interior do cilindro fica à pressão atmosférica enquanto o êmbolo sobe até ao PMS expulsando os gases queimados. A linha **ba** confunde-se com a linha **ab**. No PMS o ciclo terminou.

DIAGRAMA PRÁTICO

Dado que os aviões são propulsionados por motores reais e não teóricos, analisemos agora o diagrama pressão/volume correspondente a um motor real, figura 7.

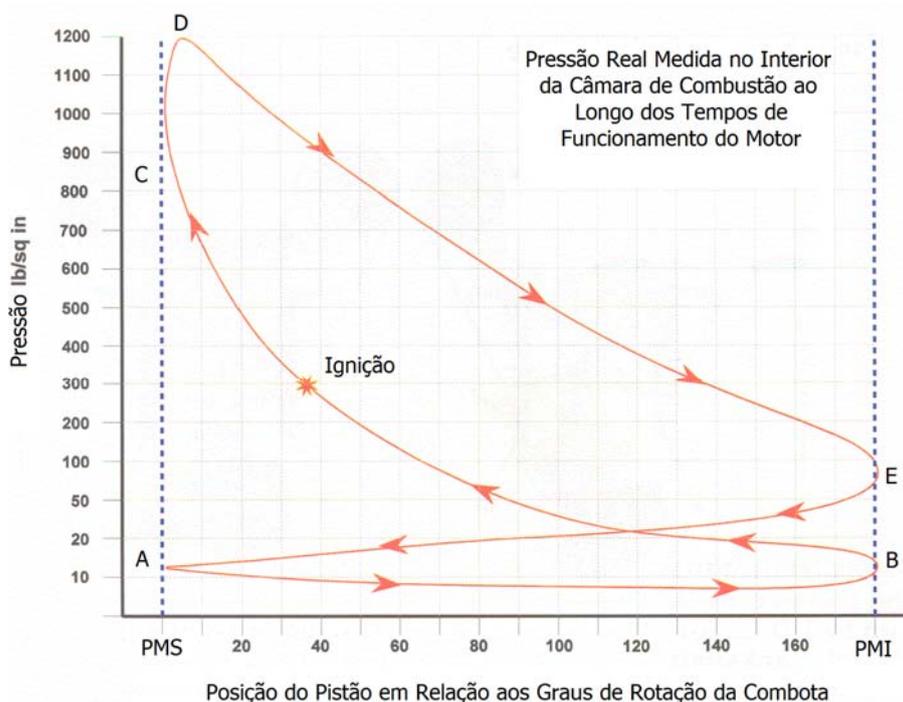


Figura 7 - Ciclo Otto prático de um motor de quatro tempos

Este diagrama é obtido por meio de um medidor de pressão em relação ao movimento do êmbolo. O diagrama prático difere em vários aspectos daquele diagrama teórico, nomeadamente:

- A pressão de admissão passa por valores inferiores à pressão atmosférica devido às restrições encontradas no sistema de admissão e à rapidez de deslocação de êmbolo, daqui resultando que o início da admissão se faz a uma pressão inferior à ambiente.

- As pressões resultantes da compressão são inferiores às obtidas no ciclo teórico devido, especialmente, a fugas de gás através dos segmentos do êmbolo e das sedes das válvulas, perdas de calor através dos sistemas de arrefecimento (cilindros e óleo de lubrificação) e, ainda, à variação do calor específico do gás utilizado.
- A pressão máxima não tem um valor tão alto devido às razões apresentadas anteriormente.
- A pressão de escape é superior em consequência da inércia e atrito dos gases.
- O calor é fornecido através de um processo de combustão que é sempre mais ou menos incompleto, de modo que se perde energia na combustão imperfeita da mistura combustível/ar.

O diagrama prático pode apresentar variados aspectos consoante a velocidade do motor, a regulação das aberturas e encerramentos das válvulas, o doseamento da mistura combustível/ar, o avanço à inflamação, as temperaturas, a pressão de admissão e muitos outros factores variáveis. Todos estes factores afectam quer a potência do motor quer o seu rendimento.

MOTORES A DOIS TEMPOS

CICLO

Admissão

O movimento ascendente do êmbolo no cilindro do motor a dois tempos cria uma baixa pressão no cárter. Esta baixa pressão denomina-se, algumas vezes, por vácuo parcial. Cria-se então uma sucção que aspira a mistura combustível/ar do carburador, através da válvula de admissão, para o interior do cárter. O êmbolo começa a descer no cilindro e, à medida que se aproxima do PMI, abre-se a janela de admissão para permitir a entrada no cilindro da mistura combustível/ar comprimida no cárter.

Compressão

O êmbolo sobe no cilindro, a janela de admissão fecha e a mistura combustível/ar é comprimida. Enquanto isto acontece, uma nova carga de combustível/ar entra no cárter.

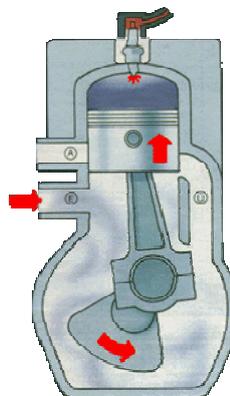


Figura 8 - Tempo da compressão do motor de dois tempos

Ignição

O êmbolo continua a subir no cilindro e quando se encontra próximo do PMS salta uma faísca entre os eléctrodos da vela e dá-se a ignição da mistura combustível/ar.

Expansão

A mistura combustível/ar inflamada começa a combutar-se, os gases de combustão expandem-se e obrigam o êmbolo a descer.

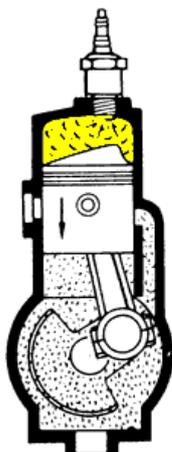


Figura 9 - Expansão

Admissão/Escape

A carga no cárter é comprimida à medida que o êmbolo desce (pré-compressão). Quando o êmbolo se aproxima do PMI, a janela de admissão e a janela de escape estão abertas. Uma nova mistura combustível/ar passa do cárter para o cilindro através da janela de admissão e os gases de combustão deixam o cilindro através da janela de escape. Esta é a combinação da admissão/escape, figura 10.

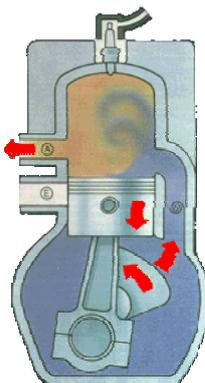


Figura 10 - Tempo do escape e de admissão

No ciclo do motor a dois tempos existem cinco transformações, mas uma delas combina a admissão com o escape. Durante esta combinação é possível que a nova mistura fresca se misture com os gases da combustão do ciclo seguinte, e alguma mistura fresca saia através da janela de escape. Para minimizar estas

perdas a cabeça do êmbolo é construída com um pequeno deflector a fim de desviar a mistura fresca para a parte superior da câmara e evitar a sua fuga através da janela de escape.

No motor a dois tempos bastam dois cursos do êmbolo para se completar o ciclo. Por esta razão, todos os cilindros do motor terão uma inflamação em cada rotação da cambota. Razão pela qual este tipo de motor tem características de uma bomba de ar funcionando no cárter.

VANTAGENS DOS MOTORES DE QUATRO TEMPOS PARA APLICAÇÕES AERONÁUTICAS

À primeira vista poderia parecer que um motor de dois tempos, com a mesma cilindrada que outro de quatro tempos, produziria o dobro da potência visto ter o dobro de tempos motores. Na realidade isso não acontece. A sucessão das quatro operações no motor de quatro tempos está perfeitamente disciplinada e ordenada no tempo e espaço com independência umas das outras.

O motor de dois tempos executa com dependência mútua as mesmas operações, sendo o êmbolo que governa as aberturas e fechos da admissão e escape no cilindro. Estas começarão e terminarão com simetria em relação aos pontos mortos. Por exemplo, se a admissão começa 80° antes da PMI tem que fechar 80° depois do PMI. A impossibilidade de regular com independência as aberturas e fechos traduz-se num prejuízo do rendimento. Por outro lado é impossível evitar perdas de mistura fresca pelo escape, pois se não as há para certas velocidades de rotação, existirão quando as condições forem diferentes, ou então não serão expulsa a totalidade dos gases de escape.

A vantagem do motor a dois tempos reside na sua simplicidade mecânica. Tem no entanto, pelas razões apontadas, menor rendimento e é mais difícil de lubrificar e de refrigerar convenientemente. O seu uso restrito deve-se às desvantagens referidas.

CONFIGURAÇÃO DOS MOTORES AERONÁUTICOS CONVENCIONAIS

Do estudo anterior podemos concluir que na base do motor alternativo está o conjunto cilindro/êmbolo. Chegámos também à conclusão de que são necessários outros órgãos para o comando da admissão e escape e ainda para a inflamação e para o doseamento da mistura combustível/ar.

Outros órgãos aparecerão no decorrer deste estudo, para desempenho de funções acessórias, mas todos eles concorrendo para o funcionamento perfeito do motor.

Um motor muito simples pode dispor de um único cilindro. Os motores de aviação, dadas as exigências de potência, possuem sempre vários cilindros. A sua disposição em relação ao veio de manivelas (cambota), que transforma em movimento de rotação o movimento alternativo dos respectivos êmbolos, determina a designação dos motores onde os mesmos cilindros estão instalados.

MOTOR EM LINHA

Neste tipo de motor os cilindros estão dispostos numa linha simples no cárter, ou seja em posição direita (acima da cambota) ou invertida. A maior parte dos aviões modernos utiliza o tipo invertido. Normalmente o

número máximo de cilindros é limitado a 6 para que se não criem dificuldades no seu arrefecimento e se evite peso excessivo por unidade de potência. O arrefecimento pode ser obtido por ar ou através de líquido refrigerante. Este tipo de motor está muito generalizado em grupos moto propulsores de baixa e média potência instalados em aviões ligeiros. Apresenta uma pequena área frontal produzindo pequena resistência ao avanço do avião. Quando os cilindros estão na posição invertida existe maior visibilidade para o piloto. Por outro lado, os cilindros invertidos, permitindo que a hélice fique colocada com o seu eixo num plano superior, facilitam a concepção de trens de aterragem mais baixos.

Quando as dimensões dos motores em linha aumentam, o arrefecimento por ar torna-se difícil, razão pela qual este tipo não é aconselhável para motores de grande potência.

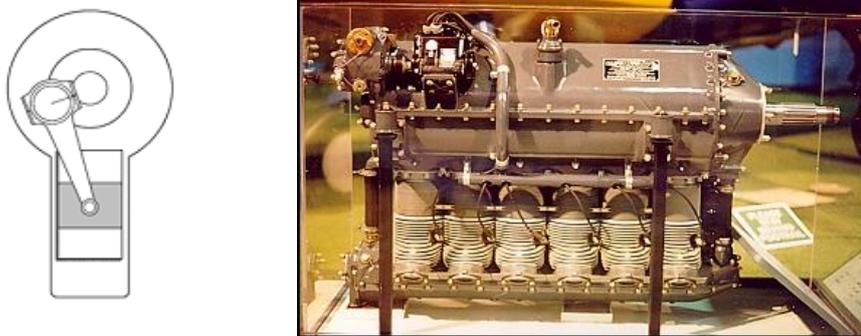


Figura 11 – Motor em linha invertido

MOTOR EM V

O motor em V tem os cilindros dispostos sobre o cárter em duas linhas formando a letra V. O ângulo entre as duas linhas pode ser de 90°, 60° ou de 45° graus. Há sempre um número par de cilindros em cada linha.

Se as duas linhas de cilindros são directamente opostas, duas bielas podem actuar a mesma manivela reduzindo assim o peso por unidade de potência.

A área frontal é pouco maior que a do motor em linha sendo pouco maior a resistência provocada ao avanço do avião.

Utiliza-se a designação de motor em V direito quando os cilindros estão acima da cambota e de motor em V invertido quando os cilindros estão abaixo desta. No segundo caso a visibilidade é maior e o trem de aterragem pode ser mais curto.



Figura 12 – Motor em V

MOTOR EM DUPLO V

O motor em duplo V tem quatro linhas de cilindros e duas cambotas. Cada cambota está ligada aos êmbolos em duas linhas de cilindros encontrando-se ambas ligadas ao mesmo veio propulsor. Actualmente o duplo V consiste em dois motores em V ligados para formar uma única unidade. Todos os modernos motores deste tipo são arrefecidos por líquido.

Uma vantagem do motor em duplo V é o seu menor comprimento para um dado número de cilindros. Outra vantagem é a de desenvolver praticamente a mesma potência que dois motores em V sem apresentar o dobro da área frontal.

MOTOR DE CILINDROS OPOSTOS OU "FLAT TWIN"

Os motores de cilindros opostos, ou *tipo flat-twin*, por vezes também chamados do tipo O, têm os cilindros dispostos em duas linhas directamente opostas em relação à cambota. Os êmbolos de ambas as linhas de cilindros estão ligados a uma única cambota. Este tipo pode ser montado com os cilindros na horizontal ou na vertical. Pode ser arrefecido por ar ou por líquido.

Este tipo de motor tem uma relação peso/potência baixa. A sua área frontal oferece pequena resistência ao ar e a sua instalação horizontal adapta-se muito bem nas asas de aeronaves grandes. Outra vantagem é a de estar sujeito a pouca vibração.



Figura 13 – Motor de cilindros opostos

MOTOR EM X

O motor em X tem um número par de cilindros montados num cárter comum em quatro linhas. Duas das linhas de cilindros estão dispostas num lado da linha central do motor e as outras duas linhas estão igualmente espaçadas no lado oposto, formando assim um X. Esta disposição torna possível o uso de uma única cambota em contraste com as duas cambotas requeridas no motor de duplo V. Este tipo de motor tanto pode ser arrefecido por ar como por líquido.

O motor em X tem uma relação peso/potência menor que o motor em duplo V e tem uma maior área frontal oferecendo maior resistência. A sua única vantagem importante é o seu pequeno comprimento para um dado número de cilindros.

MOTOR EM ESTRELA OU RADIAL

O motor em estrela simples tem um número ímpar de cilindros dispostos radialmente a partir da linha central da cambota. O número de cilindros vai normalmente de três a nove e encontram-se dispostos no mesmo plano circular. Os êmbolos encontram-se ligados a uma única cambota, reduzindo-se assim o número de peças motoras e o peso.

O motor em dupla estrela reúne dois motores em estrela simples ligados à mesma cambota. Os cilindros estão dispostos radialmente em dois planos tendo cada um deles um número ímpar de cilindros. O número usual de cilindros é de 14 ou 18.

As duas manivelas da cambota estão deslocadas de 180° para permitirem que os cilindros em cada estrela estejam dispostos alternadamente no cárter comum. Deste modo, os cilindros da retaguarda estão localizados nos espaços entre os cilindros da estrela frontal. Isto permite que os cilindros de ambas as estrelas recebam directamente o vento relativo para o necessário arrefecimento.

O motor em estrela tem a menor relação peso/potência dentro de todos os tipos de motores de combustão interna. Contudo, tem uma grande área frontal provocando elevada resistência ao avanço. Outra desvantagem é a de que o uso do ar como meio refrigerante produz temperaturas de funcionamento do motor muito altas. As altas temperaturas de funcionamento limitam a taxa de compressão para a gasolina de um determinado índice de octanas. Apesar destas desvantagens, as quais têm vindo a ser melhoradas, o motor em estrela é instalado na maioria das aeronaves que utilizam o motor convencional de média e alta potência.

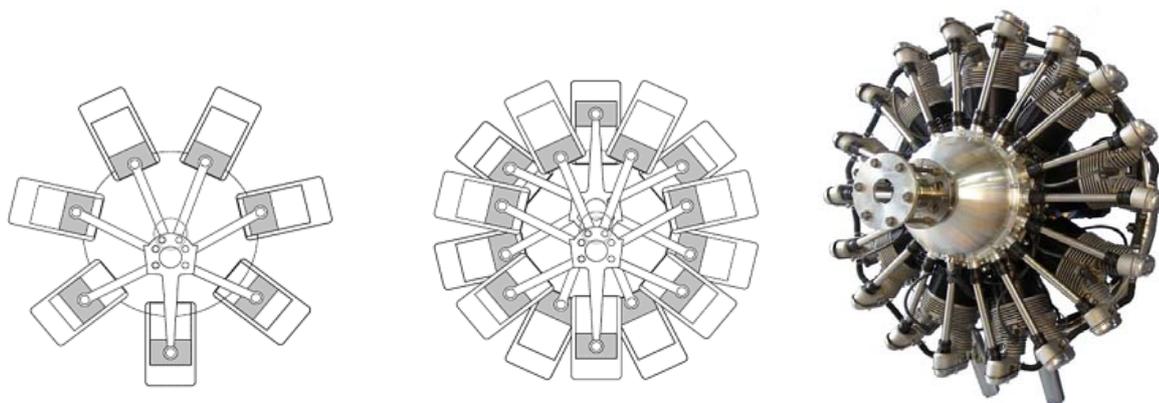


Figura 14 – Motor em estrela ou radial

ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DO MOTOR CONVENCIONAL

Os elementos fundamentais de um motor convencional são seis: o cárter, os cilindros, os êmbolos, as bielas a cambota e as válvulas. Existem outros elementos que, embora não considerados fundamentais, têm papel importante a desempenhar na concepção do motor e que, na sequência deste estudo, serão também abordados.

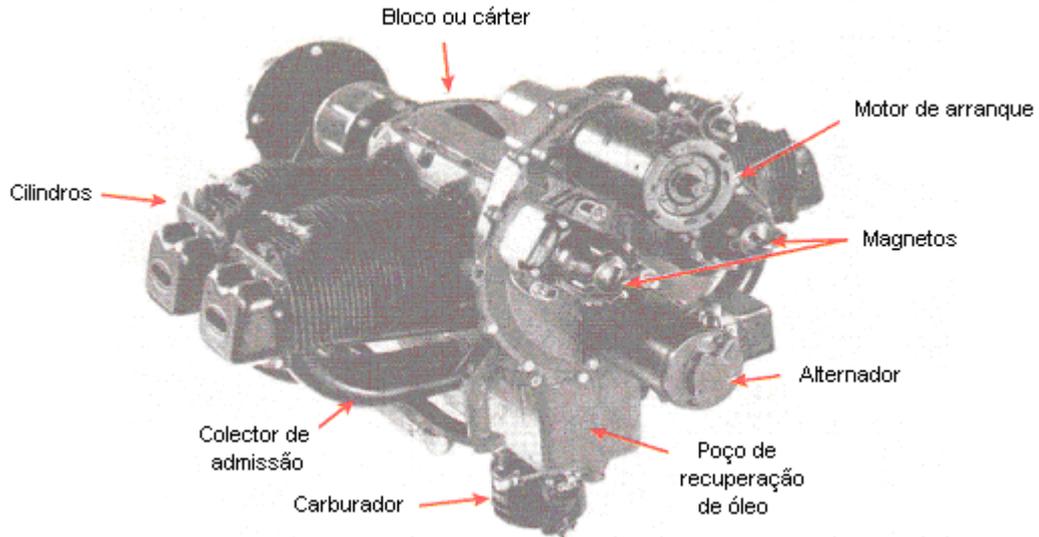


Figura 15 – Motor de avião

CÁRTER

O cárter é a estrutura base do motor, englobando nele todos os mecanismos que rodeiam a cambota. Contém todos os órgãos móveis protegendo-os de interferências exteriores, bem como do pó e da humidade. Contém transitoriamente o fluido lubrificante, após a realização dos circuitos de lubrificação interna, permitindo posteriormente a sua recuperação.

As forças resultantes da explosão actuam por um lado sobre o êmbolo e, por outro, sob a cabeça do cilindro; por consequência actuam também sobre as chumaceiras da cambota, sendo o seu equilíbrio conseguido pelas forças de reacção correspondentes transmitidas pelo cárter.

O cárter serve de apoio à cambota e a outras peças móveis devendo, por esta razão, ser bastante resistente para que, mesmo sujeito aos mais elevados esforços, não se deforme, o que, a verificar-se, provocaria o desalinhamento das chumaceiras.

Na construção do cárter empregam-se materiais com peso específico baixo e com alta resistência, como por exemplo o "*electron*" (liga à base de magnésio, cujo peso específico é da ordem de $1,8 \text{ kg/dm}^3$ - resistência 18 kg/mm^2) ou ainda outros com resistência mais elevada, como o "*silumínio*" (liga melhorada à base de alumínio e silício - peso específico $2,6 \text{ kg/dm}^3$ - resistência 30 kg/mm^2).

A espessura das paredes do cárter nos locais sujeitos a menor esforço faz-se tão delgada quanto permita a fundição. Durante a fabricação verificam-se cuidadosamente os componentes do cárter no sentido de serem detectadas porosidades, escoriações e outros defeitos. A detecção destes defeitos é feita através de radiografias e ensaios de pressão de ar com o cárter imerso em água quente. As provas de resistência à tracção são feitas sobre peças de ensaio fundidas simultaneamente na operação de fundição do cárter.

Constituição do Cárter

O cárter compõe-se de várias peças. No motor em linha e em V consta de quatro secções principais:

- **Secção frontal ou nariz** – Aloja o veio propulsor, chumaceira de impulso e redutor.
- **Secção principal** – Aloja a cambota e suporta o bloco dos cilindros. Na figura 15 pode ver-se a parte superior da secção principal de um motor em V.
- **Secção de distribuição** – Aloja os órgãos ligados à distribuição da mistura combustível.
- **Secção acessória** – Aloja as bombas (combustível, líquido de refrigeração, vácuo, óleo), caixa de engrenagens, magnetos, etc.

No cárter do motor em estrela podemos encontrar três a sete secções principais, conforme o tamanho dos motores. Com o fim de o comparar com o motor em linha e em V, é costume considerar o motor em estrela típico com quatro secções principais. A secção do nariz, a secção principal, a secção de distribuição e a secção acessória (figura 17).



Figura 16 – Cárter de motores em V

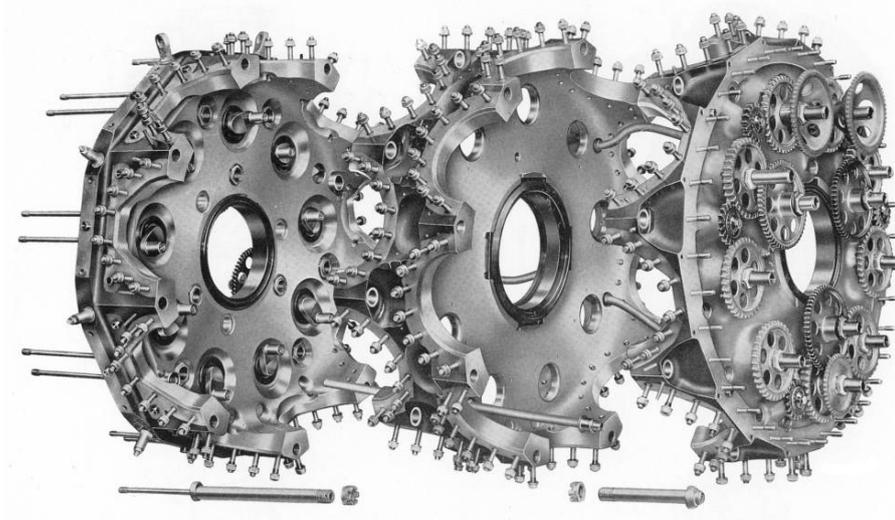


Figura 17 – Secções principais do cárter de um motor em estrela

CILINDRO

O cilindro de um motor de combustão interna é o órgão onde se desenvolve a potência de que resulta o movimento de rotação da cambota.

Função

O cilindro tem por função formar a câmara onde se processa a combustão e a expansão dos gases e a de alojar o êmbolo e a respectiva biela.

Constituição

As duas partes principais de um cilindro são a cabeça e o corpo. Nos cilindros arrefecidos por ar a cabeça possui alhetas a fim de aumentar a eficiência da refrigeração, figura 18.



Figura 18 – Cilindros de um motor de avião arrefecido por ar

Corpo – O corpo onde o êmbolo se move deve ser feito de um material de alta resistência, deve ser construído de modo a reduzir o seu peso e deve poder resistir a altas temperaturas.

O corpo do cilindro é geralmente feito em aço (liga forjada) com a superfície interior endurecida a fim de resistir ao desgaste provocado pelo êmbolo e respectivos segmentos. Alguns corpos têm roscas na parte exterior de um dos topos para se ligarem às respectivas cabeças. Os cilindros arrefecidos por ar têm alhetas, na superfície exterior, com a finalidade de arrefecimento e aumento da resistência e rigidez do corpo. Alguns corpos são cilindros de aço envolvidos por uma manga em liga de alumínio com alhetas. Neste caso o cilindro interior recebe o nome de camisa.

Cabeça – Tem a finalidade de formar superiormente a câmara de combustão. Aloja as válvulas e as velas. Pode existir uma cabeça por cilindro, caso dos motores arrefecidos por ar, ou ser moldada em bloco para todos os cilindros, motores arrefecidos por líquido.

A cabeça do cilindro é feita normalmente de uma liga de alumínio que assegura boa condutibilidade térmica, tem pouco peso, é de fácil fabricação e possui boa resistência aos efeitos corrosivos do tetraetilo de chumbo da gasolina.

A forma interior da cabeça pode ser cilíndrica, cilíndrico-cônica ou semiesférica. Esta última forma é a que melhor facilita a saída dos gases do cilindro.

Existem normalmente duas velas por cilindro o que exige furos circulares na cabeça do mesmo. Como a liga de alumínio não é muito dura, são utilizados casquilhos roscados de cobre, bronze ou aço para fixação das velas.

As hastes das válvulas também são guiadas por casquilhos montados à pressão ou roscados na cabeça do motor. A válvula de escape assenta num anel de metal duro soldado sobre a cabeça onde se faz a sede fêmea, a fim de resistir às altas temperaturas e à abrasão dos gases de escape.

Uma cabeça de cilindro arrefecida por ar pode ser forjada ou fundida. As alhetas mais altas e mais finas são as que apresentam maior área e, por conseguinte, melhor refrigeração. Há zonas na cabeça do cilindro mais quentes que outras, como sejam as zonas junto às válvulas de escape, o que as leva a ter maior número de alhetas. Nos motores arrefecidos por líquido, a cabeça em bloco é feita em liga de alumínio. A figura 19 mostra um sistema de arrefecido por líquido, geralmente água ou glicol etilénico.

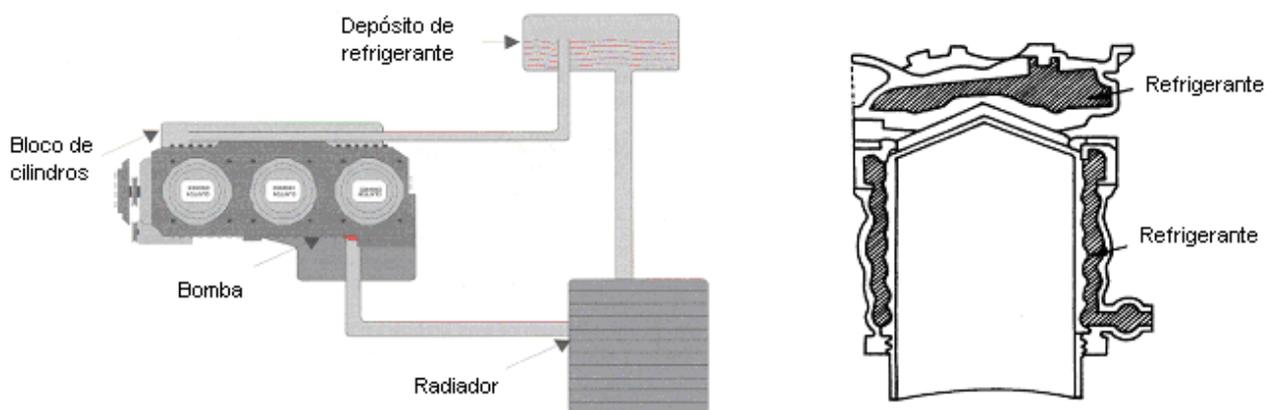


Figura 19 – Sistema de arrefecimento por líquido

Princípios construtivos do Cilindro

Os factores principais que se consideram no projecto e construção do cilindro são os seguintes: a resistência às pressões internas desenvolvidas durante a explosão; leveza para reduzir o peso total do motor; boa condutibilidade térmica para obter arrefecimento eficiente; e fabricação, inspecção e manutenção fáceis e baratas.

Métodos de Refrigeração dos Cilindros de Alhetas

A refrigeração dos motores arrefecidos por ar é garantida, com certo condicionalismo, pelo fluxo de ar gerado pela hélice quando o avião se encontra em terra ou, durante o voo, em consequência da velocidade relativa do ar.

A eficácia deste sistema de refrigeração é ainda intensificada por meio de capotagens e deflectores convenientemente dispostos de modo a obter-se maior fluxo de ar nos locais do motor sujeitos a maiores temperaturas. Assim, as capotagens dos motores, além de os preservarem dos efeitos das poeiras, chuvas, etc., conferem-lhes também uma maior facilidade de refrigeração.

Refrigeração dos motores em linha. Dada a forma como estão dispostos os cilindros, o motor em linha é, como já se disse anteriormente, mais difícil de refrigerar que o motor em estrela, havendo, por essa razão, necessidade de lhe limitar o número de cilindros por linha.

Normalmente, a refrigeração por ar dos motores em linha consiste numa tomada de ar na parte anterior da capotagem, numa conduta limitada por uma superfície direita, por deflectores colocados entre os cilindros, por outro e por uma abertura na parte posterior da capotagem que permite a saída do ar. Deste modo consegue-se que o fluxo de ar captado pela tomada envolva dum modo quase perfeito todos os cilindros.

O fluxo de ar poderá ser controlado por uma persiana (*cowl flap*) actuada pelo piloto, de acordo com as necessidades de refrigeração do motor.

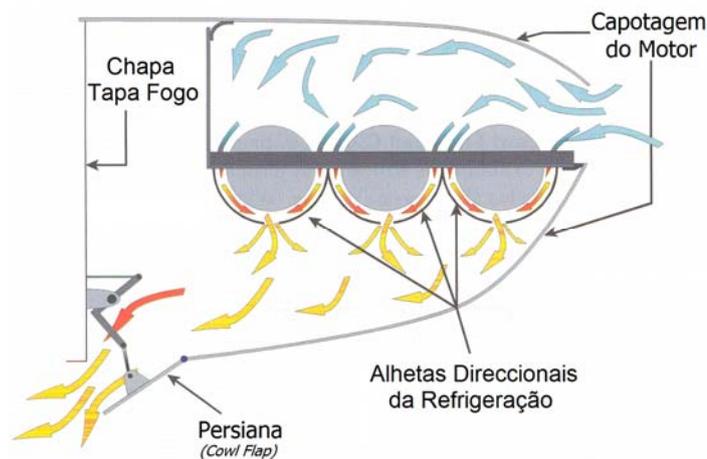


Figura 20 – Fluxo de ar para refrigeração do motor

Refrigeração dos motores radiais – Os motores em estrela têm uma área frontal maior que a dos motores em linha, facto que aumenta consideravelmente a resistência ao avanço do avião onde o motor estiver instalado. Esta resistência pode ser reduzida através da instalação de um adequada capotagem.

O inglês Townsend verificou, através de várias experiências, que a simples colocação dum anel aerodinâmico antes do motor reduzia substancialmente a resistência ao avanço oferecida pelo conjunto.

Se, por exemplo, um motor sem anel aerodinâmico provocar uma resistência de 100 kg, em relação a determinado fluxo de ar, e um anel exposto ao mesmo fluxo provocar uma resistência de 10 kg,

verifica-se que a resistência do conjunto é de apenas 75 kg. A utilização de capotagens traduz-se na diminuição de cerca de 15% em relação à resistência ao avanço que se obteria sem tais capotagens.

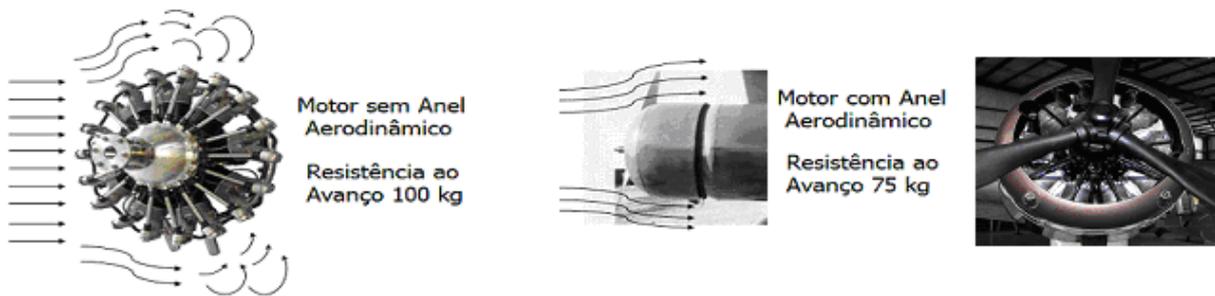


Figura 21 – Redução da resistência ao avanço em motores radiais

Temperatura dos Cilindros

Os cilindros dos motores refrigerados por ar podem alcançar rapidamente temperaturas elevadas (superiores a 300° C). A temperatura excessiva pode provocar graves avarias nos componentes do motor. Por esta razão torna-se necessário monitorizar o valor da temperatura dos cilindros.

O controlo da temperatura é obtido pela variação do fluxo de ar que passa entre os cilindros, nos motores refrigerados por ar, ou no fluxo de ar que atravessa o radiador nos motores arrefecidos por líquido. Quando esse fluxo atingir o seu máximo, por intermédio de persianas (neste caso totalmente abertas) e a temperatura dos cilindros tiver ainda um valor elevado, a solução será a obtenção dum regime de potência inferior do motor.



Figura 22 – Manómetros de temperatura dos cilindros

ÊMBOLO

Função e Construção

O êmbolo em funcionamento é um corpo sujeito a um movimento de vaivém no interior do cilindro. Transmite a força resultante da expansão dos gases à cambota por intermédio da biela. Para que se obtenha a máxima duração do motor, o êmbolo deve poder suportar altas pressões e altas temperaturas. Geralmente é feito de liga de alumínio, por ser leve, ter boa condutibilidade térmica e excelentes características de lubrificação.

A parte superior do êmbolo denomina-se cabeça e a superfície lateral é denominada de saia. A parte

inferior da cabeça do êmbolo apresenta nervuras para reforço e, simultaneamente, maior superfície de contacto ao ar e ao óleo lubrificante que nelas incidem com vista à sua refrigeração. A vários níveis da saia verifica-se a existência de ranhuras para introdução de anéis de vedação (segmentos).



Figura 23 – Elementos que constituem o êmbolo do motor

A figura 24 representa um esquema simplificado dum motor, mostrando a ligação do êmbolo à biela, e esta por sua vez à cambota.

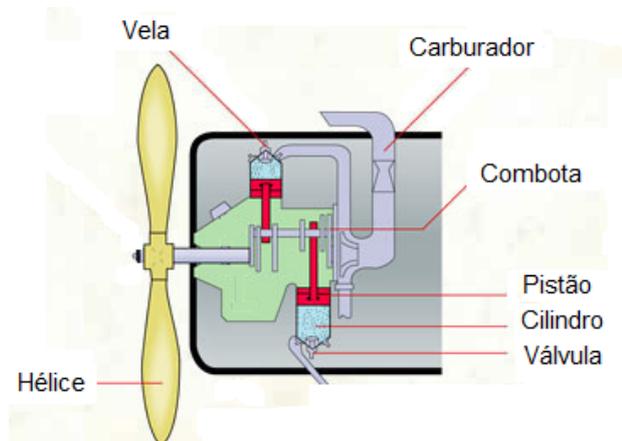


Figura 24 – ligação entre o motor e órgão propulsor

Velocidade de Êmbolo

Para ilustrar o inconveniente das forças de inércia a que o êmbolo está sujeito nos seus movimentos, tomemos como exemplo um motor funcionando a 2000 rpm: o êmbolo inicia a sua marcha e para 4000 vezes por minuto. Se isto se verificar ao longo de um percurso de 15 cm (curso) o êmbolo atingirá mais de 55 km por hora depois de cada arranque e parará quase que imediatamente.

Dadas estas acelerações e desacelerações em tão curto espaço, há que recorrer a uma liga de alumínio

para que se obtenha um êmbolo extremamente leve (menores forças de inércia) de modo a permitir que os motores possam desenvolver elevado número de rotações.

Temperatura e Pressão no Êmbolo

A temperatura no interior do cilindro, depois de cada explosão, atinge valores entre 1600 e 2000° C. A pressão que se exerce no êmbolo, nas mesmas circunstâncias, pode ir além de 500 libras por polegada quadrada. Sendo o alumínio relativamente leve, muito resistente quando associado a outros metais, e bom condutor térmico, é, como já foi referido, geralmente utilizado na construção dos êmbolos. Grande parte da temperatura da cabeça do êmbolo é transferida para as paredes do cilindro através dos segmentos e para o óleo de lubrificação através das nervuras inferiores.

SEGMENTOS

Função e Construção

Os segmentos são anéis de ferro fundido cuidadosamente maquinados. A sua finalidade é a de tornar estanque a superfície de contacto entre o êmbolo e o cilindro, de modo a que se obtenha uma câmara de combustão sem fugas. Os segmentos devem exercer igual pressão ao longo da sua periferia de encontro à parede interna da camisa e devem ter alta elasticidade e boa resistência ao desgaste. Embora a folga entre o êmbolo e a camisa do cilindro seja medida em milésimos de milímetro, ela é relativamente grande devido ao facto de o alumínio ter coeficiente de dilatação muito superior ao aço de que é constituída a camisa. Assim, os segmentos garantem a vedação entre aqueles dois órgãos, uma vez introduzidos nas respectivas ranhuras, independentemente da folga que entre eles possa existir. Nalguns motores o segmento mais próximo da câmara de combustão é feito em ferro fundido cromado para melhor poder resistir às altas temperaturas, garantir menor atrito e manter durante mais tempo a sua elasticidade primitiva.

Tipos de Segmentos

Os segmentos dos motores aeronáuticos têm quase sempre a mesma espessura. Existem dois tipos, cada um deles com funções distintas: os de compressão ou retenção e os de lubrificação ou raspadores.



Figura 25 – Segmentos

CAVILHÃO

O cavilhão transmite a força resultante da combustão e as forças de inércia do êmbolo para a biela no seu movimento alternativo. Devido ao elevado esforço de flexão que suporta, o cavilhão é construído de uma liga de aço especial (cromo níquel) com uma resistência de, pelo menos, 100 kg/mm^2 . É, além disso, cementado e rectificadado. A sua forma é oca para que se obtenha uma redução de peso, sem que tal facto diminua a sua resistência.



Figura 26 – Cavilhão

BIELA

Função e Construção

A biela transmite as forças do êmbolo para a cambota e vice-versa. Possibilita a conversão do movimento alternativo do êmbolo em movimento de rotação da cambota.

As bielas são feitas de uma liga de aço forjado de alta qualidade, podendo, em pequenos motores, ser construídas em liga de alumínio.



Figura 27 – Biela

As formas das secções mais correntes são em H e em I, ainda que algumas sejam tubulares. A biela consta de cabeça (ligada à cambota), corpo e pé (ligado ao êmbolo), figura 25.

As bielas param, mudam de direcção, e começam a mover-se no fim de cada curso. Razões pelas quais devem ser leves a fim de se reduzirem as forças de inércia. Ao mesmo tempo devem ser bastante resistentes a fim de poderem suportar os elevados e variados esforços (tracção, compressão e flexão) que sobre elas actuam.

Tipos de Bielas

As bielas podem classificar-se em:

- **Simples**
 - De uma só peça.
 - De cabeça dividida.
- **Múltiplas**
 - Biela auxiliar articulada na parte exterior do casquilho da chumaceira da biela principal e bifurcada.
 - Uma ou mais bielas auxiliares articuladas à biela principal por meio de um perno lateral.

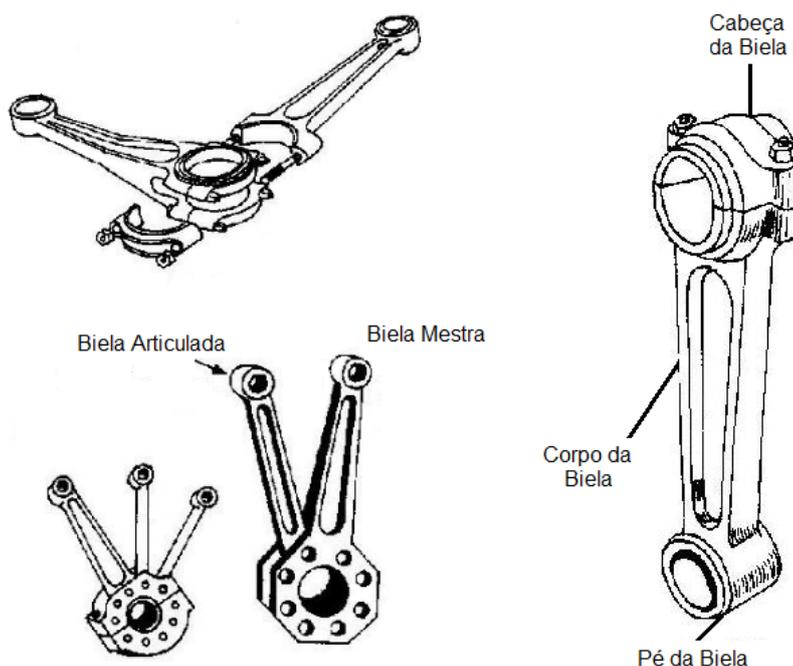


Figura 28 – Variantes de bielas usadas em motores de avião

CAMBOTA

Finalidade e Princípios Construtivos

A cambota (também designada por veio de manivelas) transforma o movimento alternativo do êmbolo e do pé da biela em movimento rotativo para o hélice. Pode ter uma ou mais manivelas. Sendo um órgão submetido a todos os esforços desenvolvidos no motor, deve ter uma construção muito robusta. É forjada numa liga de aço bastante resistente (aço cromo níquel molibdénio) sendo depois trabalhada em máquinas especiais.

Constituição

A cambota pode ser construída numa só peça (maioria dos casos) ou em várias peças. Em qualquer dos casos os seus elementos constitutivos têm o mesmo nome e função. Estes elementos são:

- **Moente** – É a parte que se apoia e roda numa chumaceira. Contém o eixo de rotação da cambota. É endurecido superficialmente (por cementação) a fim de reduzir o desgaste.
- **Munhão** – É a parte da cambota onde se liga a biela. O munhão é geralmente oco para reduzir o peso total da cambota, permitir a circulação do óleo lubrificante e servir de depósito de carvões e outras substâncias estranhas que ali se acumulam devido à força centrífuga. Em alguns motores existe um furo na superfície do munhão que coincide com um outro furo existente na cabeça da biela, permitindo assim a passagem do óleo sob pressão para a camisa do cilindro.
- **Braços** – Ligam o moente ao munhão. Devem ser construídos de modo a manter a rigidez entre o moente e o munhão.
- **Contrapesos** – Devem equilibrar as forças centrífugas devido ao movimento de rotação da cambota, evitando vibrações que destruiriam o motor. Estes contrapesos são colocados no prolongamento dos braços, para o lado do moente.



Figura 29 – Cambota

Calagem das Manivelas da Cambota

Entende-se por calagem das manivelas a determinação dos desfasamentos angulares a estabelecer entre os planos das várias manivelas para que seja obtida uma distribuição regular da combustão. Ao estabelecer a calagem das manivelas, o construtor toma em atenção vários factores, dos quais se destacam:

- **Ciclo utilizado** – O ciclo utilizado pode ser de 2 ou de 4 tempos. A diferença está em que no primeiro caso o ciclo se completa numa única volta da cambota, ao passo que no segundo caso somente se completa ao fim de duas voltas. É este último caso que tem interesse para o nosso estudo. Em duas voltas da cambota teremos então as quatro fases do ciclo em qualquer cilindro. Se o motor tiver n cilindros, o número de inflamações realizadas no motor durante essas duas voltas da cambota será de n (uma em cada cilindro).
- **Desfasamento regular das combustões** – Para que o binário motor seja o mais regular possível, a cambota deve, durante as suas rotações, receber os n impulsos a intervalos regulares. Em duas rotações, a cambota perfaz 720° . A forma mais regular de distribuir os n impulsos será desfasando-as de:

$$a = \frac{720}{n}$$

Isto é, tendo em atenção o sentido de rotação da cambota, se tivermos uma inflamação num cilindro num dado instante, a inflamação seguinte (realizada noutra cilindro) deverá ter lugar depois de a cambota ter rodado:

$$a = \frac{720}{n} .$$

- **Condições de equilíbrio** – Na prática, o equilíbrio das massas em movimento reduz-se ao equilíbrio da cambota. Esta é constituída pelas manivelas (munhões e braços) dela fazendo parte também as partes das bielas animadas de movimento de rotação (cabeça e cerca de 1/3 do corpo). A cambota diz-se equilibrada quando satisfaz às condições de equilíbrio estático e dinâmico.
 - **Equilíbrio estático** – Diz-se que uma cambota está estaticamente equilibrada quando a distribuição de massas ao longo dela é tal que o centro de gravidade cai sobre o eixo de rotação.

Como verificação bastaria apoiar o veio da cambota pelos extremos sobre dois cutelos colocados horizontalmente: fosse qual fosse a posição angular escolhida, a cambota deveria ficar em equilíbrio indiferente. Se a cambota possuir apenas uma única manivela, facilmente se conclui ser necessário a aplicação de contrapesos que equilibrem exactamente a massa

da manivela. Para que o centro de gravidade se localize sobre o eixo de rotação é necessário empregar massas que equilibrem exactamente a massa da manivela. Deduz-se que, se o motor for policilíndrico com várias manivelas, a distribuição destas ao longo da cambota pode satisfazer em muitos casos às condições de equilíbrio estático, não sendo, então, necessário o emprego de contrapesos.

- o **Equilíbrio dinâmico** – Diz-se que a cambota está dinamicamente equilibrada quando as forças centrífugas geradas nas manivelas têm uma resultante nula. Uma cambota pode estar estaticamente equilibrada e não o estar dinamicamente. De uma maneira geral, porém, se os motores tiverem mais de duas manivelas, as cambotas que estejam estaticamente equilibradas estarão também dinamicamente se admitirem um plano de simetria perpendicular ao eixo de rotação. Em relação a esse plano, as manivelas serão simétricas em número, forma e posição.

Tipos de Cambota

Existem quatro tipos de cambota: de uma, de duas, de quatro e de seis manivelas. A figura 30 mostra as cambotas utilizadas em motores de 6 cilindros em linha, em estrela simples e em estrela dupla.

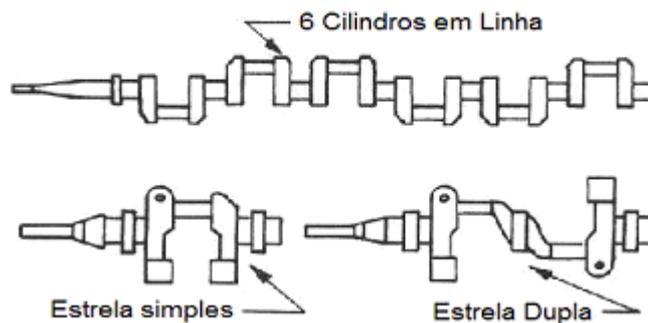


Figura 30 – Vários tipos de cambota usadas em motores

- **Cambota de uma manivela** – O tipo de cambota e o número de munhões corresponde sempre à disposição dos cilindros no motor. A cambota de uma manivela simples, ou a 360° , encontra-se normalmente nos motores em estrela simples. Pode ser de uma ou duas peças. Existem duas chumaceiras, uma em cada topo.
- **Cambota de duas manivelas ou a 180°** – Usa-se geralmente nos motores de estrela dupla e nos motores de cilindros opostos de dois e quatro tempos. Nos motores em estrela a cambota tem uma manivela para cada plano de cilindros. Pode ser de uma ou duas peças. As chumaceiras podem ser de casquilhos, de rolamentos esféricos ou cilíndricos, ou uma combinação de ambos.

- **Cambota de quatro manivelas** – Usa-se nos motores de quatro cilindros em linha ou de oito cilindros em V. Duas manivelas estão colocadas a 180° do plano das outras duas. Existem três ou cinco apoios da cambota, dependendo da potência e das dimensões do motor. As chumaceiras podem ser casquilhos, de rolamentos esféricos ou cilíndricos, ou uma combinação de ambos.
- **Cambota de seis manivelas** – Usa-se nos motores de seis cilindros opostos, utilizou-se nos motores de seis cilindros em linha, 12 cilindros em V, e de 24 cilindros em X. As manivelas estão a 120°. Duas bielas estão ligadas ao mesmo munhão nos motores de 12 e 24 cilindros. Há cinco ou sete apoios da cambota, de acordo com a potência e dimensões do motor. As chumaceiras podem ser de casquilhos ou uma combinação destas com as de rolamentos.

VÁLVULAS – DISTRIBUIÇÃO

A distribuição é o conjunto de operações, de admissão e escape, através das quais se substituem os gases queimados existentes no cilindro no final do 3º tempo (explosão/expansão) por nova quantidade de fluido destinado a fornecer energia no ciclo seguinte. Os orifícios de entrada e saída dos gases, na cabeça do cilindro, devem abrir uma vez durante um percurso do êmbolo e estar fechados hermeticamente durante os outros percursos. No motor de 4 tempos servem geralmente para este fim válvulas accionadas por comes ou excêntricos (raras vezes mangas deslizantes).

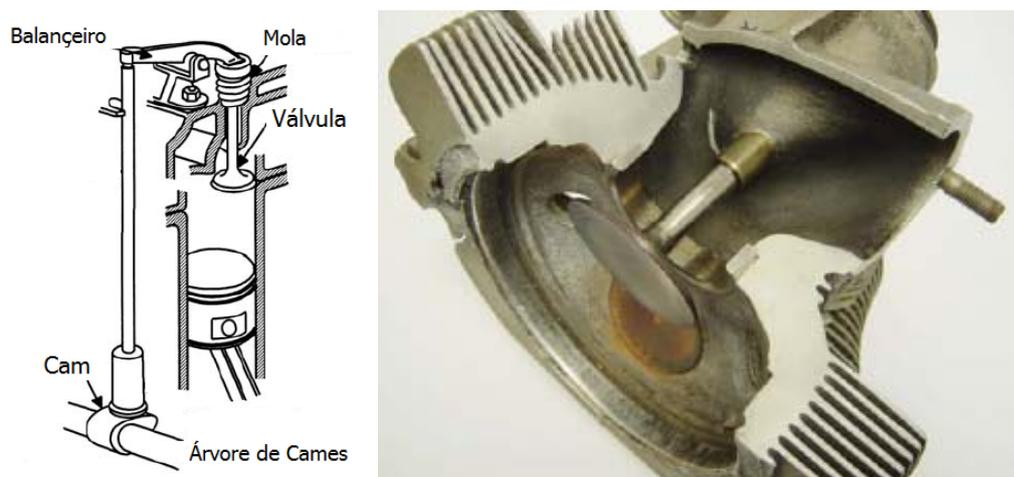


Figura 31 – Accionamento das válvulas através de uma árvore de cames

A cabeça da válvula encosta, com o cone de estanqueidade que possui, na sede existente na cabeça (cuiça ou culatra) do cilindro fechando, deste modo, hermeticamente o orifício. A haste da válvula é guiada por um casquilho (guia da válvula). A came abre a válvula por meio de um balanceiro que actua na respectiva haste. A mola da válvula faz retroceder a válvula para a respectiva sede. No motor de quatro tempos cada válvula abre apenas uma vez cada duas voltas da cambota. Assim, o número de rotações da árvore de cames é metade do da cambota.

Durante o percurso descendente do êmbolo a válvula de admissão deve abrir-se rapidamente e ficar aberta durante o tempo necessário para que o cilindro possa encher-se o mais possível de mistura gasolina/ar.

A válvula ao abrir-se com uma velocidade tão grande (fracção de centésimos de segundo) tem tendência em continuar o seu movimento na mesma direcção por efeito da força de inércia. Esta tendência é contrariada pela força da mola da válvula, que deve ser bastante forte de modo a garantir que o topo da haste da válvula nunca perca o contacto com o balanceiro e, pelo contrário, se apoie sempre nele, figura 32.

Quando a válvula não fecha hermeticamente existe perda de potência do motor. Durante o funcionamento do motor a acção dos gases resultantes da combustão a altas temperaturas (1500 a 2000° C) provoca grande desgaste na válvula de escape uma vez que incidem por toda a válvula e não exclusivamente na cabeça.

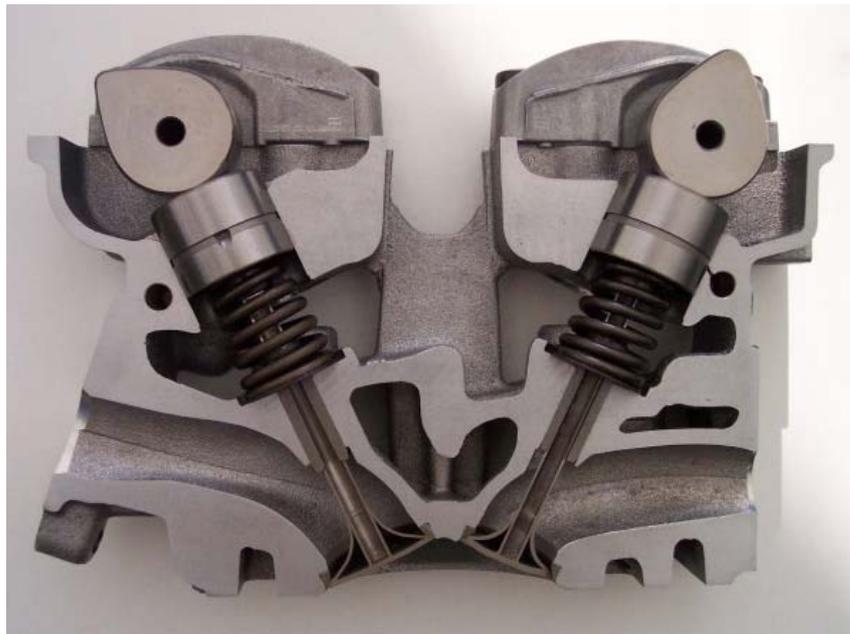


Figura 32 – Corte transversal da cabeça do cilindro evidenciando as válvulas, e árvore de cames à cabeça

Devido às altas temperaturas a que a válvula está sujeita, na sua manufactura são utilizados aços especiais com grande resistência às altas temperaturas. Contudo, estes aços também não resistem eficazmente se a válvula não for convenientemente refrigerada. A refrigeração faz-se através da haste, através da superfície da sede (onde há necessidade de um contacto perfeito entre a válvula e a sede) e através da mistura fresca (aspirada em cada tempo de admissão e unicamente na válvula de admissão).

As cabeças das válvulas sobreaquecidas (caso duma má refrigeração) deformam-se, fecham mal e aceleram a sua destruição. A válvula de escape aquece mais (gases queimados a 800° C) que a de admissão e está também exposta à corrosão química provocada pelos produtos da combustão.

A forma da válvula contribui para uma distribuição de temperatura muito irregular provocando esforços térmicos muito consideráveis. Para uniformizar a distribuição do calor usam-se (especialmente nas válvulas de escape dos motores aeronáuticos) válvulas semelhantes à que se representa na figura 33, ocas e parcialmente cheias de uma mistura de sais de lítio e potássio ou sódio metálico. Estes sais, no estado sólido

à temperatura ambiente, liquefazem-se quando atingem a temperatura normal de funcionamento do motor e, devido ao movimento de vaivém da válvula, são lançados contra as extremidades internas transportando o calor do extremo mais quente para o extremo mais frio.

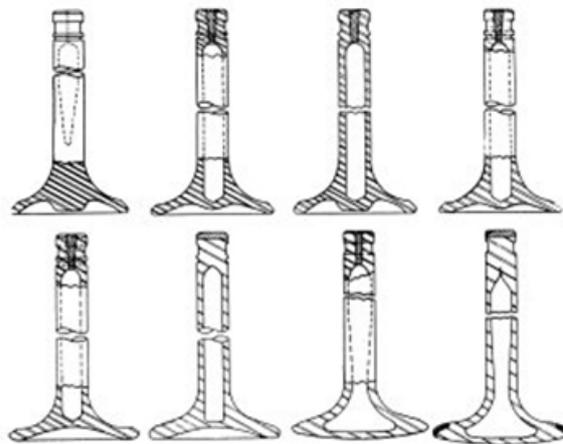
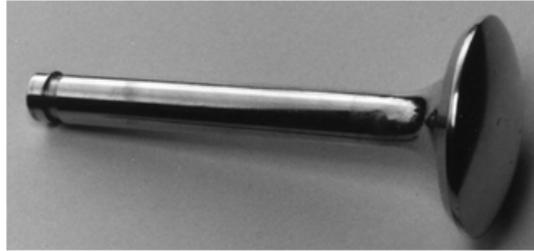


Figura 33 – Válvula, com as diversas formas de constituição interna



Figura 34 – Válvula escape (baixo) e válvula de admissão

CHUMACEIRAS

Entende-se por chumaceira o dispositivo de apoio que permite que determinado movimento de rotação de

uma peça em relação a outra se realize com o mínimo de atrito.

Características das Chumaceiras

As chumaceiras suportam cargas axiais, radiais ou ambas simultaneamente. Devem resistir às pressões a que são normalmente submetidas, garantindo o mínimo desgaste por atrito das superfícies em contacto, devem ter condições que se oponham ao desenvolvimento de temperatura devida à fricção e permitir ampla liberdade de movimento das superfícies deslizantes dentro das folgas estabelecidas.

Tipos de Chumaceiras

Duas superfícies em contacto podem ter movimento relativo de escorregamento ou de rolamento. Existem dois tipos de chumaceiras:

- De casquilho;
- De rolamento.



Figura 35 – Chumaceira de Casquilho

Chumaceira de casquilho – As chumaceiras deste tipo estão geralmente sujeitas a cargas radiais, embora algumas vezes possam suportar simultaneamente cargas axiais.

O metal utilizado na manufactura de chumaceiras tipo casquilho (designado por metal anti-fricção) é geralmente uma liga de metais de baixa dureza como o chumbo, liga-bronze, prata, o “*babbit*”, etc. É vulgar utilizar-se este tipo de chumaceira na cabeça e pé das bielas, nos apoios da cambota, na árvore de cames e outros apoios de veios de reduzidas dimensões que existem nos motores.

Normalmente utilizam-se os casquilhos inteiros, em forma de camisa, quando os moentes dos veios que neles rodam têm um diâmetro relativamente pequeno. Noutros casos são divididos a meio segundo o seu eixo, como por exemplo nos apoios das cambotas dos motores em linha, nas cabeças das bielas, etc., figura 35.

Chumaceira de rolamento – As chumaceiras de rolamento constam essencialmente de dois anéis (um fixo ao veio rotativo e outro fixo ao órgão onde se apoia) entre os quais é introduzido determinado número de elementos rolantes (esferas ou rolos). Deste modo, as chumaceiras de rolamento existem com a seguinte designação:

- **Rolamento de esferas.** - É constituído por uma ou duas ordens de esferas que rolam em canais existentes nas superfícies interiores dos anéis, figura 36 Os rolamentos de esferas são concebidos para suportarem apenas cargas radiais. Devido à possibilidade de flexão de alguns veios (apoiados em chumaceiras que distam muito entre si), e para que se permita que tais flexões ocorram, certos rolamentos de esferas são auto-alinhados, isto é, são concebidos de tal modo que o plano de rotação do anel interior pode variar em relação ao anel exterior.



Figura 36 – Rolamento de esferas

- **Rolamento de rolos.** Os elementos rolantes são, neste caso, constituídos por pequenos cilindros intercalados nos dois anéis e, do mesmo modo que no rolamento de esferas, apenas pode suportar cargas radiais quando as superfícies de rolagem onde os referidos cilindros assentam são paralelas ao seu eixo de rotação, figura 37. Para que este tipo de rolamento possa simultaneamente suportar cargas radiais e axiais, as superfícies de rolagem dos anéis são, neste caso, inclinadas em relação ao seu eixo de rotação (rolamentos cónicos) figura 38. Evidentemente que qualquer dos tipos de chumaceiras atrás descritos não dispensa um processo de lubrificação que, em capítulo específico, será objecto de estudo.



Figura 37 – Rolamento de rolos



Figura 38 – Rolamento cónico

TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO NO GRUPO MOTO PROPULSOR

A maior parte da potência obtida na cambota dos motores convencionais instalados nas aeronaves é absorvida pelo hélice, quer directamente quer através dum sistema de engrenagens redutoras de velocidade.

Uma pequena parte da potência gerada na cambota é transmitida, por meio de um sistema que inclui uma série de rodas dentadas, e utilizada para transmissão de movimento de rotação às bombas de pressão e recuperação de óleo de lubrificação, aos magnetos e distribuidores, às bombas dos sistemas hidráulicos e de vácuo, ao gerador, ao regulador do passo do hélice e a outros acessórios que necessitam de tal movimento.

TRANSMISSÃO DIRECTA

Os motores que operam a rpm relativamente baixas e que são equipados com hélices de pequeno diâmetro não necessitam normalmente de uma engrenagem de redução entre a cambota e a hélice. Nestes casos o veio do hélice é um prolongamento da cambota tendo ambos a mesma velocidade de rotação.

TRANSMISSÃO COM REDUÇÃO

Os motores maiores necessitam de hélices maiores diâmetro para que estes possam absorver a potência do motor. Os limites das dimensões do hélice e da sua velocidade de rotação são atingidos quando a velocidade das pontas das pás atinge a velocidade do som. Circunstância a partir da qual a eficiência do impulso gerado pela hélice começa a diminuir. Colocando uma engrenagem de redução de velocidade entre a cambota e o veio da hélice, tanto o motor como a hélice podem ser operados a velocidades eficientes, obtendo-se do conjunto o melhor rendimento. A relação de transmissão da redução varia normalmente entre 4:3 e 3:1, ou, por outras palavras, para o primeiro limite o motor dá quatro voltas enquanto a hélice dá apenas três e, para o segundo limite, o motor dá três voltas e o hélice uma.

Grande Distância a Percorrer - Elevada Velocidade

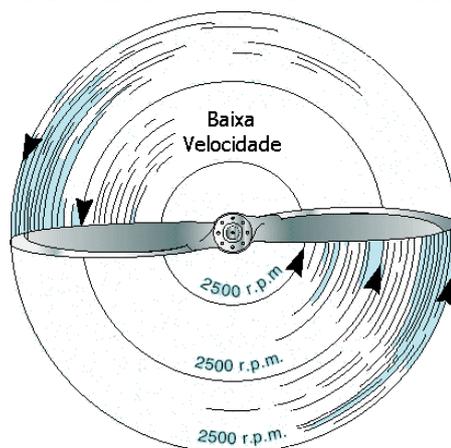


Figura 39 – Variação da velocidade linear da hélice relativamente ao eixo de rotação



Figura 40 – Caixa redutora do motor

TIPOS DE POTÊNCIA

São três os tipos de potência a considerar nos motores alternativos.

POTÊNCIA TEÓRICA

É a potência que o motor deveria proporcionar se transformasse em energia mecânica toda a energia calorífica que ao mesmo tempo é proporcionada na forma de combustível. Esta potência, porém, nunca ocorre na realidade dado que grande parte do calor proveniente da combustão se dissipa pelas paredes do cilindro, pelo sistema de arrefecimento, com os gases de escape, etc. A percentagem de calor perdido reparte-se, aproximadamente, da seguinte forma:

No líquido de refrigeração	32%
Nos gases de escape	32%

No entanto poder-se-á calcular a potência teórica dum motor utilizando a seguinte expressão:

$$N_T = \frac{\text{Peso da gasolina} \times \text{Poder calorífico}}{3600} \times 427 \times \frac{1}{75}$$

Em que:

- O peso da gasolina é o produto do número de litros de gasolina que o motor consome por hora pela respectiva densidade (0,7);
- Poder calorífico corresponde a 11 000 quilo calorias por quilograma de gasolina;
- 427 é o número de kilogrametros que se obtém com uma quilo caloria;
- 3600 é o número de segundos que uma hora contém, visto o peso da gasolina corresponder ao consumo por hora;
- 75 é o número de kilogrametros por segundo que corresponde a um cavalo-vapor. O resultado é expresso em CV.

POTÊNCIA INDICADA

É a potência disponível na parte superior do êmbolo. Pode definir-se como sendo a potência teórica diminuída da potência dissipada na forma de calor. A potência indicada depende da força de pressão aplicada sobre a face superior do êmbolo e é calculada utilizando o diagrama real do motor obtido com a ajuda de um indicador (donde provém a designação de potência indicada). Este tipo de potência pode ser calculada através da seguinte fórmula:

$$N_I = PMI \times L \times \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{n}{2 \times 60} \times \frac{1}{75} \times K$$

Em que:

PMI – Pressão média indicada aplicada na face superior do êmbolo durante um ciclo. É dada pela ordenada média do diagrama e calcula-se dividindo a área do diagrama real, definida pelo indicador, pelo curso do êmbolo (figura 41);

L – Curso do êmbolo expresso em metros;

d – Diâmetro interior do cilindro expresso em metros;

n – Velocidade do motor em rotações por minuto. O denominador (2 x 60) representa o facto do motor ser de quatro tempos (uma explosão em cada duas rotações) e a necessidade de redução a segundos;

K – Número de cilindros do motor.

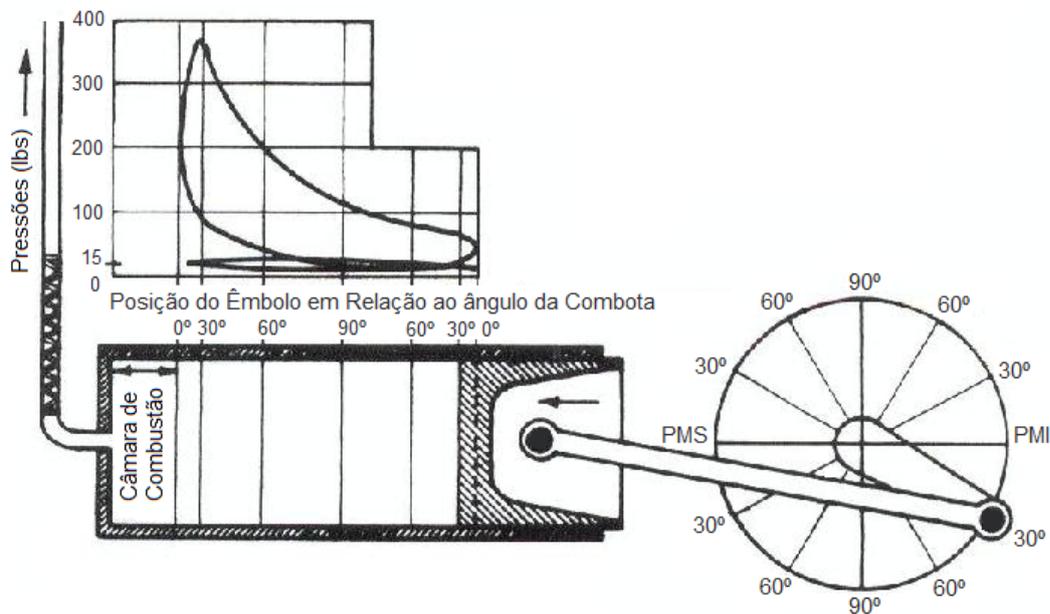


Figura 41 – Relação entre a rotação da cambota e ciclo de funcionamento do motor

POTÊNCIA EFECTIVA

É a potência realmente disponível no veio do motor. Corresponde à potência indicada diminuída da potência perdida para vencer o atrito e a inércia das peças em movimento. Esta perda de potência é estimada, aproximadamente, em 4%.

A potência efectiva (N_E) será dada, à semelhança da potência indicada (N_i), por:

$$N_E = PME \times L \times \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{n}{2 \times 60} \times \frac{1}{75} \times K$$

Foi aqui introduzida uma abstracção teórica que é a pressão média efectiva (PME) a qual representa a pressão média do diagrama correspondente à potência que o motor realmente fornece.

MEDIÇÃO DO BINÁRIO MOTOR

O valor do binário foi bastante difícil de determinar e, durante anos, não se vislumbrou na concepção do motor alternativo uma manivela tangível que, na prática, permitisse efectuar a medição de tal valor. No laboratório o binário é medido por um dispositivo utilizado para absorver o rendimento da potência do motor. O método mais antigo de medir essa potência era o “Freio de Prony” que, por meio de um dispositivo de fricção, regulava o rpm e a carga do binário. Assim, a força necessária para evitar que o freio girasse

com o veio podia ser medida, calculando-se a partir daqui o rendimento da potência. Porém, este processo de freio não pode ser utilizado como sistema de medida de potência durante o voo, uma vez que, a realizar-se, o próprio sistema absorveria toda a energia útil do motor.

Na verdade o hélice é o freio aplicado ao motor e poderia calcular-se o torque (binário) partindo-se das características das pás desde que, com todo o rigor, pudessem ser tomados os valores do respectivo ângulo, da velocidade e da densidade do ar. Todavia, ter-se-ia apenas uma medida indirecta do binário.

Num avião que esteja equipado com hélice de passo fixo, as rotações e o binário são inseparáveis. Se se avançar a alavanca de gás (*throttle*) entrará nos cilindros do motor uma maior quantidade de mistura combustível/ar; a força resultante da combustão aumenta e, naturalmente, aumenta o binário fornecido à cambota, figura 42.

A cambota "tenta" evitar esta carga adicional girando mais depressa, mas, ao fazer isto, contraria-se a si mesma porque faz girar o hélice mais rapidamente. Quando o torque adicional absorvido pelo hélice iguala o que é absorvido pelos cilindros, atinge-se o equilíbrio a um rpm e a um binário mais elevados. O facto de, a um rpm constante, o binário variar com a velocidade e temperatura do ar e com a altitude não é motivo de grande preocupação.

O significado operacional da hélice de velocidade constante é o de que o rpm e o binário são controlados separadamente. O taquímetro (indicador de rpm) torna-se então unicamente uma medida do rpm. O *throttle* é separado do rpm e dedica toda a sua actividade à regulação do binário.

Faltando uma medida directa, a regulação do binário tem sido feita à custa da pressão de admissão. A relação entre esta quantidade e o binário é determinada no dinamómetro em que ambos são medidos e compiladas as informações de modo a que seja possível um controlo rigoroso do voo. A relação varia com as mudanças de rpm, altitude, temperatura do ar no carburador, humidade, pressão posterior de escape, relação combustível/ar, avanço da ignição, condições do compressor e do motor.

O rigor derivado do uso da pressão de admissão em vez de uma medida directa do binário depende da possibilidade de corrigir as variações destes factores.

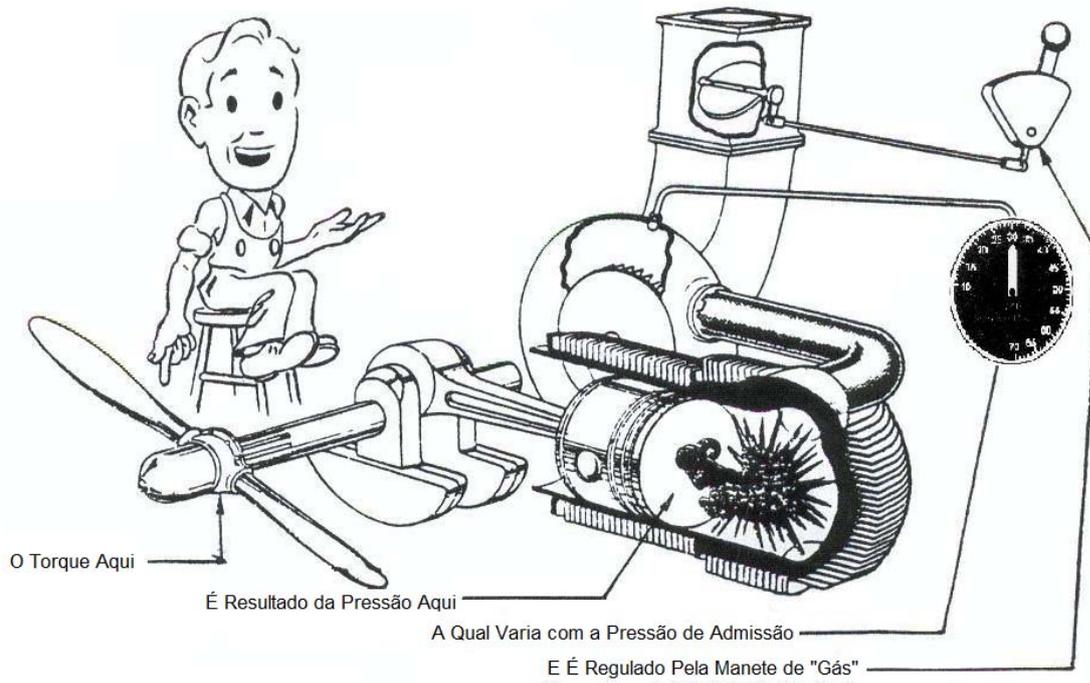


Figura 42 – Relação entre o binário da hélice e o comando do motor

ALIMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEL NOS MOTORES ALTERNATIVOS - CARBURAÇÃO

GENERALIDADES

TEORIA DA COMBUSTÃO

O funcionamento dos motores de explosão, como máquinas térmicas, baseia-se no fenómeno da combustão da mistura combustível/ar nas câmaras de combustão.

Designa-se por combustão o fenómeno da combinação química do carbono e de hidrogénio do combustível com o oxigénio contido no ar atmosférico. Desta combinação resulta a libertação de grande quantidade de calor que, a verificar-se em ambiente fechado, dá origem à energia de pressão.

TÍTULO DE MISTURA COMBUSTÍVEL/AR

Para que se obtenha uma combustão quimicamente correcta de 1 grama de gasolina são necessários 15 a 16 gramas de ar. À relação gasolina/ar que define as proporções de cada um destes elementos chama-se título de mistura ou razão estequiométrica.

A razão de mistura varia entre, aproximadamente, 8:1 e 20:1, conforme as exigências do motor. 8:1 É uma mistura rica em que há uma quantidade excessiva de combustível. 20:1 É uma mistura pobre em que existe uma quantidade de ar em excesso. A melhor razão de mistura que corresponde à melhor potência sucede efectivamente a misturas ricas de aproximadamente 12:1. É a razão de mistura que permite ao motor desenvolver a máxima potência para uma determinada condição de operação (descolagem, subida). A razão estequiométrica da mistura (15:1) produz uma temperatura de combustão muito alta. Nas misturas ricas o excesso de combustível actua como refrigerante. Nas misturas pobres, menos combustível é queimado (menos temperatura), a velocidade da combustão é mais baixa e a mesma quantidade de ar provoca um melhor arrefecimento.

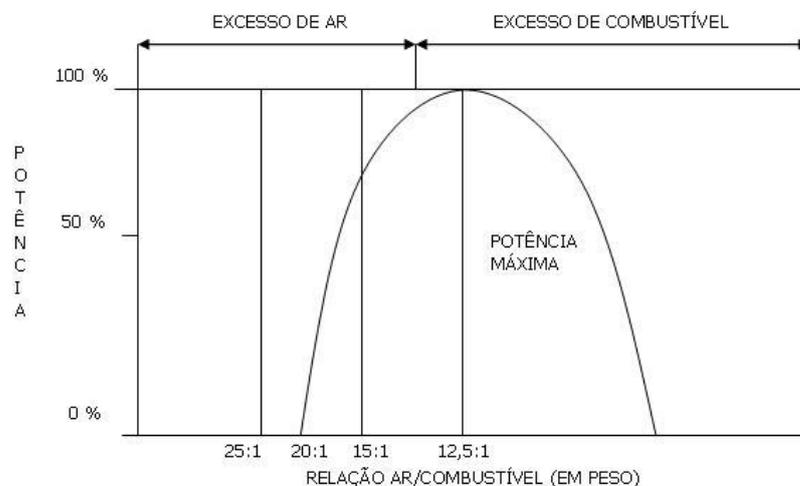


Figura 43 – Relação entre potência e riqueza da mistura

TEMPERATURA DOS GASES DE ESCAPE

A utilização de um indicador de temperatura dos gases de escape (*Exhaust Gaz Temperature* – EGT) permite fazer correcções precisas da razão de mistura. A mistura rica provoca uma redução da temperatura dos gases, a mistura pobre aumenta-a. Apenas se devem fazer correcções de mistura com a ajuda do EGT com potências do motor abaixo dos 75% e em regimes de cruzeiro, figura 44.

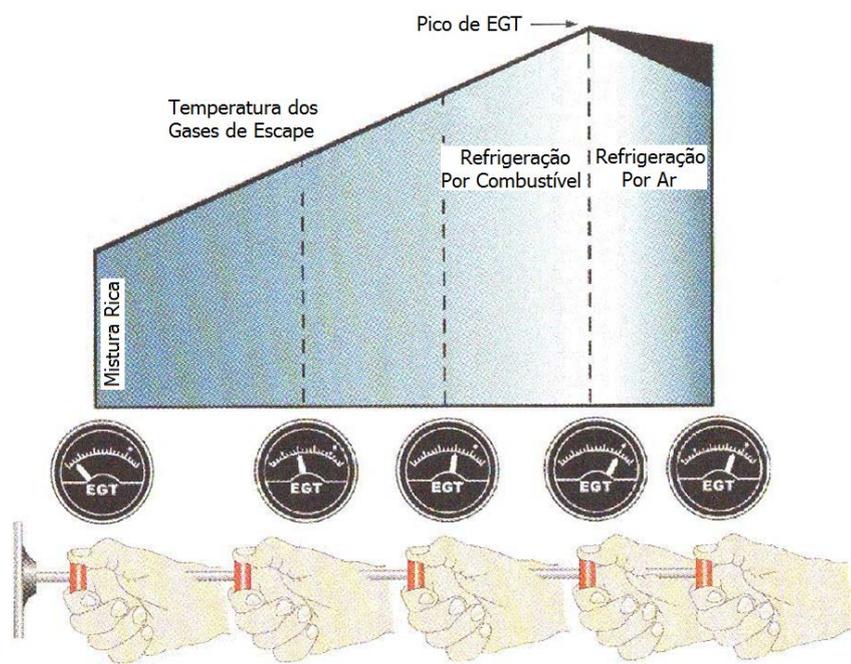


Figura 44 – Relação entre riqueza da mistura e a temperatura dos gases de escape

CONCEPÇÃO DO CARBURADOR

O carburador, nos motores alternativos cuja combustão se faz a volume constante, é o órgão destinado a fazer o doseamento da mistura gasolina/ar de modo a permitir:

- O arranque fácil do motor em quaisquer condições de temperatura;
- O bom funcionamento do motor em marcha lenta (ralenti) e em qualquer velocidade, com ou sem carga;
- Uma boa aceleração (*reprise*);
- Um baixo consumo de combustível para o melhor rendimento do motor.

CARBURADOR DE ASPIRAÇÃO

O princípio de funcionamento do carburador de aspiração baseia-se no Teorema de Bernoulli, segundo o qual, à diminuição da secção de uma tubeira de passagem de um gás (em regime subsónico) corresponde um aumento de velocidade e uma diminuição de pressão desse gás.

O Teorema de Bernoulli pode ser exemplificado no tubo de venturi, representado na figura 45, através do qual se faz passar um determinado fluxo de ar. O tubo é praticamente simétrico e a sua secção diminui dos extremos para o centro conferindo à secção média o maior estrangulamento. A velocidade do ar aumenta à medida que o fluxo se aproxima do centro do tubo atingindo a máxima velocidade e a mínima pressão neste ponto. Ainda no mesmo sentido, o fluxo vai diminuindo de velocidade e aumentando de pressão à medida que se aproxima da saída do tubo (aumento de secção).

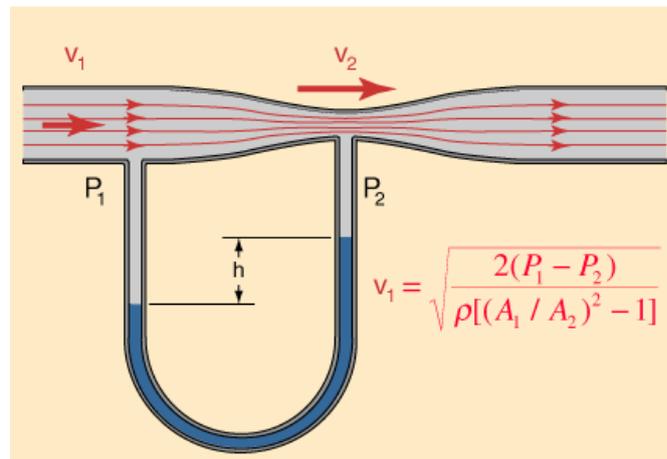


Figura 45 – Tubo de Venturi

Como foi dito, o princípio de funcionamento do carburador de aspiração baseia-se no Teorema de Bernoulli. A figura 46 representa um carburador elementar constituído por:

- Um tubo provido de um difusor cuja função é a de estrangular a passagem do ar aspirado pelos cilindros do motor dando origem a um aumento de velocidade desse fluxo e, conseqüentemente, a uma diminuição de pressão.
- Uma tina contendo certa quantidade de combustível sujeita à pressão atmosférica ambiente. A pressão sobre o combustível é superior à da secção do difusor, desde que neste passe um fluxo de ar.
- Um tubo de passagem de combustível entre a tina e o difusor. No difusor, o tubo encontra-se a um nível ligeiramente superior ao nível do combustível na tina. Deste modo, quando não existe uma corrente de ar através do difusor, os níveis de combustível na tina e no tubo são os mesmos, visto as pressões em ambos os locais serem iguais, não havendo derrame de combustível
- Um sistema de entrada de combustível na tina, constituído por uma bóia e por uma válvula de agulha. Permite manter um nível constante de combustível na tina.

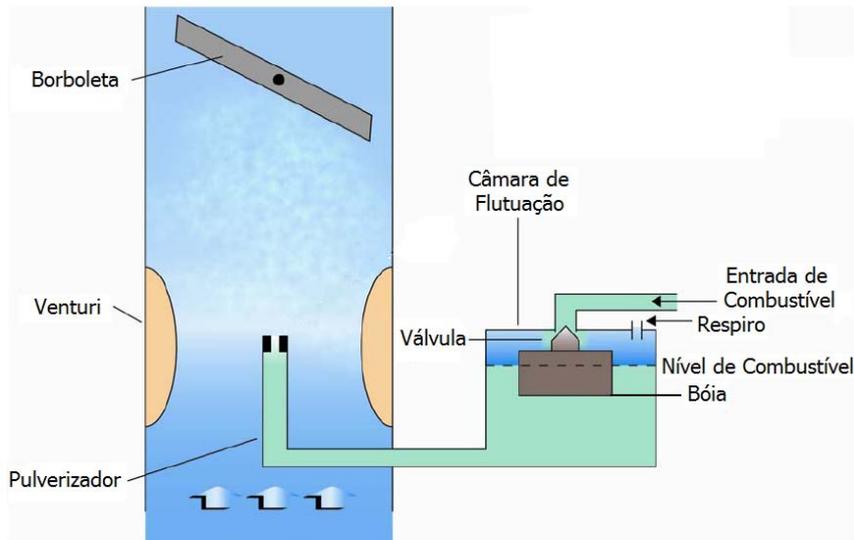


Figura 46 – Esquema básico de um carburador de aspiração

Um carburador concebido de forma tão rudimentar provocaria diferentes doseamentos de combustível/ar em função dos diferentes regimes de funcionamento do motor. O título de mistura não se manteria constante. Seria muito pobre a baixos regimes do motor e muito rica a altos regimes. Este problema foi solucionado através da utilização de vários dispositivos. Nos parágrafos seguintes são descritos os principais dispositivos associados ao carburador.

ELEMENTO FLUTUANTE (BÓIA)

O nível de combustível constante na tina é conseguido utilizando um elemento flutuante (bóia) ligado a uma válvula, figura 47. Se há saída de combustível da tina para o difusor haverá tendência para que o nível na tina desça. Uma ligeira descida de nível fará abrir a válvula de modo a que entre o combustível do circuito de alimentação do carburador até ser atingido o nível original. Na prática verifica-se que durante o funcionamento do motor o nível se mantém constante e que a válvula permanece ligeiramente aberta de modo a permitir a entrada duma quantidade de combustível igual à que é consumida pelo motor.

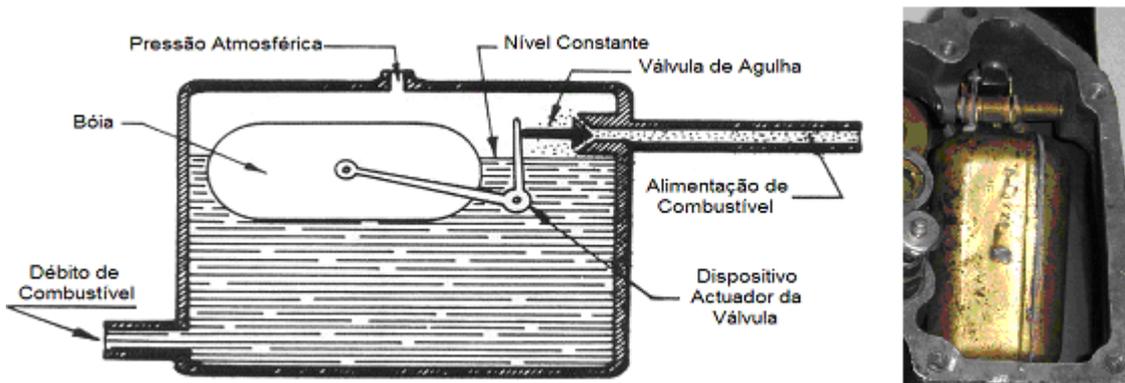


Figura 47 – Sistema de regulação por bóia

SISTEMA DE EQUILÍBRIO DE PRESSÕES

O inconveniente da variação do título de mistura com o regime de rpm do motor foi resolvido sujeitando o combustível da tina a uma pressão diferente da atmosférica. O inconveniente da mistura rica às velocidades, a regimes elevados do motor, foi resolvido diminuindo-se o débito de combustível nesses regimes. Para tal, é apenas necessário reduzir o valor da pressão atmosférica na tina de maneira a que a diferença de pressões existentes no difusor e na tina não seja tão evidente e, por consequência, não dê origem a um derramamento excessivo de combustível. Nos baixos regimes o método inverte-se, isto é, a diferença de pressões existentes na tina e no difusor é aumentada conferindo à pressão que actua sobre o nível de combustível da tina valores maiores. Uma maior diferença de pressões entre a tina e o difusor resulta num maior derramamento de combustível no difusor que irá normalizar o título de mistura. Este método, porém, não resolve o problema da mistura no regime de "ralenti". A solução deste inconveniente irá ser descrita mais adiante.

A maior ou menor facilidade de derramamento de combustível no difusor é função da pressão existente sobre o nível da combustível da tina. A origem da variação desta pressão está associada ao difusor. Como se pode ver na figura 48, existe um tubo de equilíbrio de pressões que põe em comunicação a parte superior da tina com uma zona situada um pouco mais abaixo do difusor. Nesta zona, embora não se obtenham pressões tão baixas como as que se observam na parte mais estreita do difusor, obtêm-se pressões relativamente mais baixas que a pressão atmosférica. Deste modo, com o motor em funcionamento, a pressão existente sobre o nível de combustível da tina é sempre inferior à pressão atmosférica, e tanto mais inferior quanto maior for a velocidade do motor. Para obtenção do título da mistura constante, aliado ao factor "pressão na tina", existe ainda um "calibre" que controla o débito de combustível antes de ser derramado no difusor, cuja secção de passagem foi determinada pelo construtor.

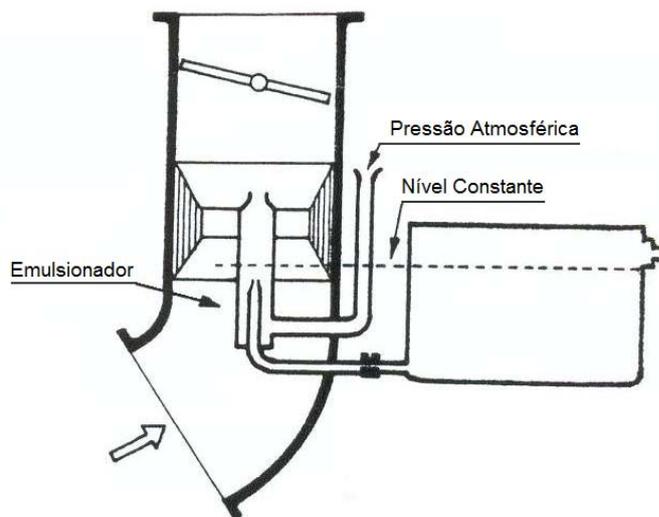


Figura 48 – Sistema para regulação da pressão na tina

SISTEMA DE CONTROLO DE VELOCIDADE DO MOTOR

A velocidade do motor depende directamente da facilidade com que se permite a realização dos tempos de admissão nos respectivos cilindros. Estes tempos serão mais perfeitamente completados se não houver qualquer dificuldade à passagem da mistura combustível/ar que se encaminha para cada um dos cilindros. Dado que todos os tubos de admissão se reúnem numa só conduta, na qual é colocado o carburador, figura 46, o motor atingiria a máxima velocidade se não fosse criada qualquer dificuldade à passagem do ar solicitado pelos cilindros. Como se pode observar na figura 48, existe uma “válvula de borboleta” colocada depois do difusor que controla o referido fluxo de ar. O comando desta válvula é vulgarmente denominado de “acelerador” ou “manete de gás” e encontra-se situado na cabina de pilotagem. A Transmissão de movimento do comando até à válvula de borboleta é efectuada através de um conjunto de cabos, roldanas e tirantes.

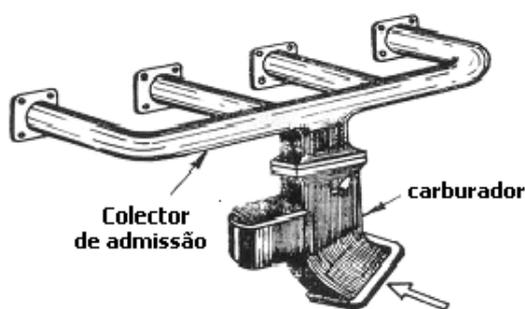


Figura 49 – Ligação entre o carburador e o sistema de admissão

AUTOMATISMO DA PULVERIZAÇÃO

O carburador elementar, aplicado num motor de avião, seria incapaz de manter constante o título de mistura para todos os regimes de velocidade do motor e altitude do avião. Nos actuais carburadores de aspiração aplicados nos motores de avião existe um sistema de automatismo de carburação que reside na formação de uma emulsão gasolina/ar no “pulverizador” principal ou “emulsionador”. Este método garante o funcionamento perfeito do motor nas velocidades correspondentes aos regimes de cruzeiro. Nos regimes de máxima potência recorreu-se a outros meios de variação do débito de combustível utilizando um dispositivo independente, como mais adiante se verá.

Princípio de Claudel

O francês Claudel concebeu a correcção do débito do seguinte modo: primeiro, montando o pulverizador em derivação, ou seja, protegendo-o da acção directa da depressão existente no difusor; segundo, mantendo o pulverizador em carga, isto é, colocando-o abaixo do nível da tina, figura 50.

O tubo de descarga de combustível está envolvido por uma manga concêntrica que supera o nível de combustível da tina e que, através dum tubo em forma de L, comunica com o ar ambiente. Por outro lado, o tubo de descarga está colocado abaixo do nível de combustível da tina. Ao conjunto do tubo de descarga e manga que o envolve deu-se o nome de pulverizador ou emulsionador.

O automatismo do pulverizador resulta da soma de dois débitos. Um deles é constante em virtude do desnível existente entre o extremo superior do tubo de descarga e a altura do combustível da tina. O outro é variável em função da diferença de pressões que se produz entre a zona do difusor e a pressão atmosférica. Na figura 47 a representação do emulsionador é apenas esquemática. Embora mantendo a sua ideia básica, na prática, o emulsionador tem a forma que se observa, em corte, na figura 51.

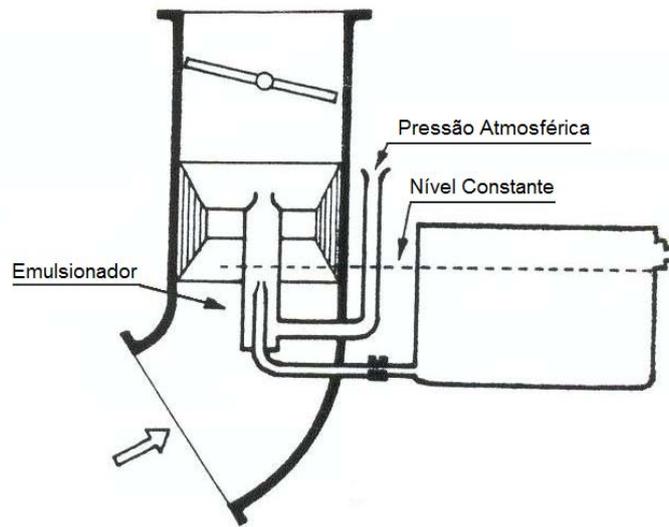


Figura 50 – Aplicação do princípio de Caudel

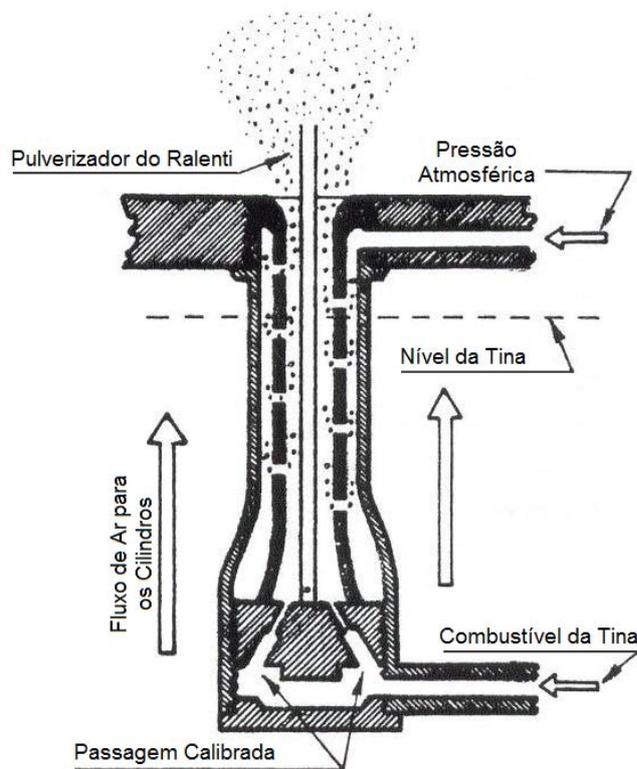


Figura 51 – Emulsionador observado em corte

Princípio de Stromberg

No pulverizador principal dos carburadores *Stromberg* intervém uma ideia de emulsão semelhante à dos carburadores "Caudel" que o fabricante exemplifica do seguinte modo, figura 52:

Aspiramos num tubo o suficiente para elevar o líquido de 30 mm (fase 1). Esta acção corresponde à aspiração provocada no pulverizador de um carburador.

Se for aberto um furo no tubo 15 mm acima do nível do líquido (fase 2), para a mesma intensidade de aspiração, o líquido atingiu uma altura superior a 30 mm e que com ele foram arrastadas algumas bolhas de ar. Existe um princípio de emulsão embora grosseiro.

Se utilizar-mos um outro tubo que conduza o ar ao tubo de aspiração um pouco abaixo no nível do líquido (fase 3) obter-se-á uma emulsão mais perfeita e homogénea que atinge ainda maior altura. Esta entrada de ar em carga dá origem a formação duma emulsão da mistura combustível/ar que melhora grandemente a sua combustão no interior dos cilindros do motor.

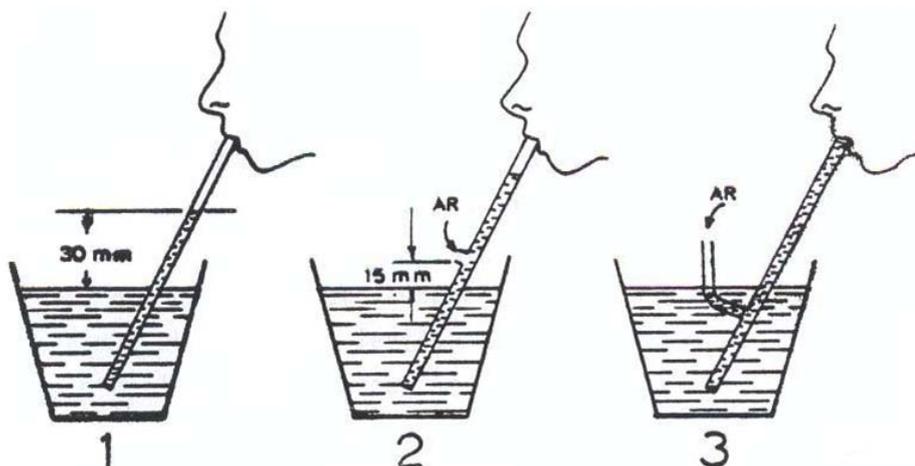


Figura 52 – Exemplo do princípio de emulsão utilizado nos carburadores *Stromberg*

A figura 53 representa o emulsionador "Stromberg". O topo do tubo é fechado para forçar a emulsão a sair pelos furos laterais e a projectar-se perpendicularmente à direcção do fluxo de ar aspirado pelos cilindros: Isto garante uma maior rapidez de vaporização do combustível nos tubos de admissão. Como se verifica também, o ar necessário à emulsão é captado na zona interior do difusor, por onde passa através dumas ranhuras e depois encaminhado para o emulsionador.

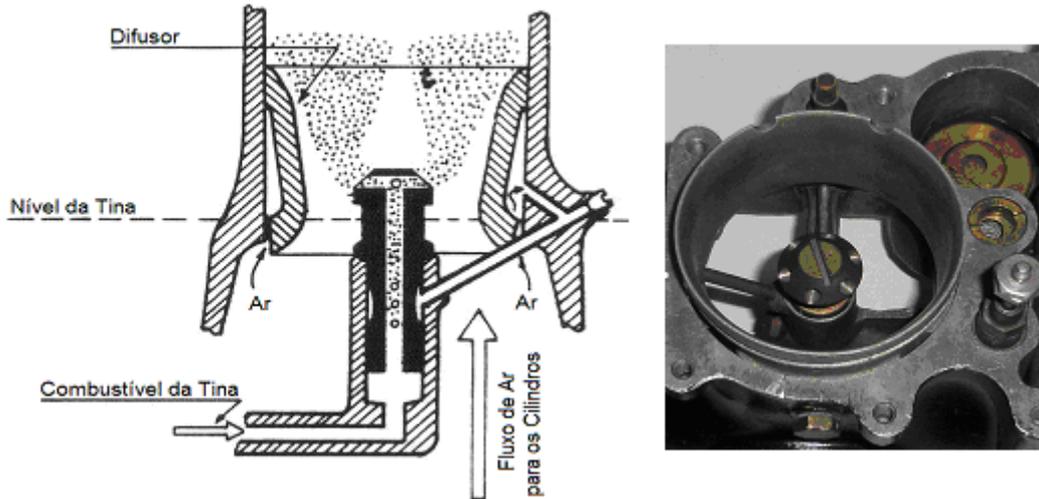


Figura 53 – Emulsionador *Stromberg*

FACTORES QUE AFECTAM A CARBURAÇÃO

Um carburador ao qual se introduziram dispositivos que lhe garantiram um controlo de velocidade e um título de mistura constante, para os vários regimes, ainda não assegura o melhor rendimento quando instalado num motor de avião. Existem outros factores que afectam o seu funcionamento, existindo também dispositivos que asseguram um perfeito funcionamento do carburador.

Controlo da Mistura na Marcha Lenta

Como já foi referido, o pulverizador principal, depois da introdução do automatismo da emulsão, confere ao motor um título de mistura para qualquer regime.

Como se pode observar na figura 53, a descarga da emulsão do pulverizador principal faz-se numa zona situada antes da válvula de borboleta e no centro da secção do difusor. Desde que exista uma abertura razoável da válvula de borboleta, existe certamente razoável corrente de ar envolvendo o pulverizador. Porém, na marcha lenta (ralenti) aquela válvula tem um mínimo de abertura permitindo apenas a passagem duma diminuta massa de ar que não é suficiente para causar depressão em volta do pulverizador de modo a arrastar suficiente combustível da tina. Este inconveniente foi corrigido com a introdução dum tubo de descarga cujo extremo se situa junto à parede interna do difusor onde a pequena massa de ar que o atravessa se faz sentir com maior velocidade.

A figura 54 representa o método adoptado no carburador Claudel Hobson para a obtenção da mistura na marcha lenta.

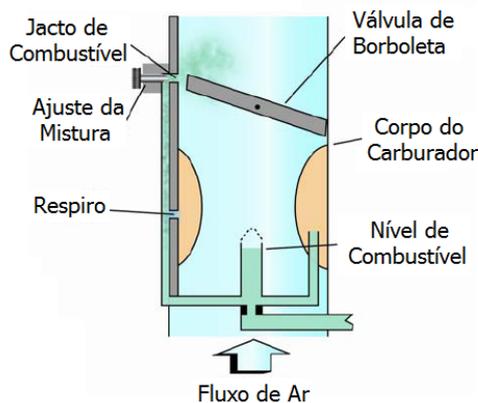


Figura 54 – Esquema do sistema de marcha lenta

Correcção da Mistura nas Acelerações

Solucionados os problemas relacionados com o regime do motor, títulos de mistura e marcha lenta, subsiste um outro cuja origem reside na inércia do combustível ao ser arrastado para se emulsionar com o ar. Quando se pretende imprimir certa aceleração ao motor, há apenas que actuar o acelerador no sentido de conferir à válvula de borboleta maior abertura. Deste facto resulta um fluxo de ar bastante intenso através do difusor que os cilindros absorvem imediatamente. Esta acção é normalmente feita com certa brusquidão e, em certas manobras do avião, é mesmo necessária. No momento em que se cria o fluxo de ar nos cilindros, o débito de combustível que deveria corresponder proporcionalmente a esse aumento não se processa imediatamente, mas sim uns instantes depois em virtude de subsistir sobre ele certa inércia. O método de correcção deste inconveniente consiste numa descarga suplementar de combustível durante a acção do acelerador e que perdura por uns momentos.

A descarga suplementar de combustível é efectuada por um dispositivo comandado directamente pelo movimento da válvula de borboleta denominado “bomba de aceleração”. Como o nome indica, consiste numa bomba, composta por um cilindro e um êmbolo, que descarrega a uma determinada quantidade suplementar de combustível na zona do difusor.

O comando da bomba tem a particularidade de manter sobre o êmbolo uma determinada pressão mecânica retardada em relação ao movimento do acelerador em resultado da introdução duma mola entre o topo do êmbolo e a haste de comando, figura 55. Este facto faz com que a descarga de combustível se mantenha por uns momentos depois da acção de aceleração. Este suplemento de combustível compensa a tendência de empobrecimento que se verificaria nas acelerações do motor.

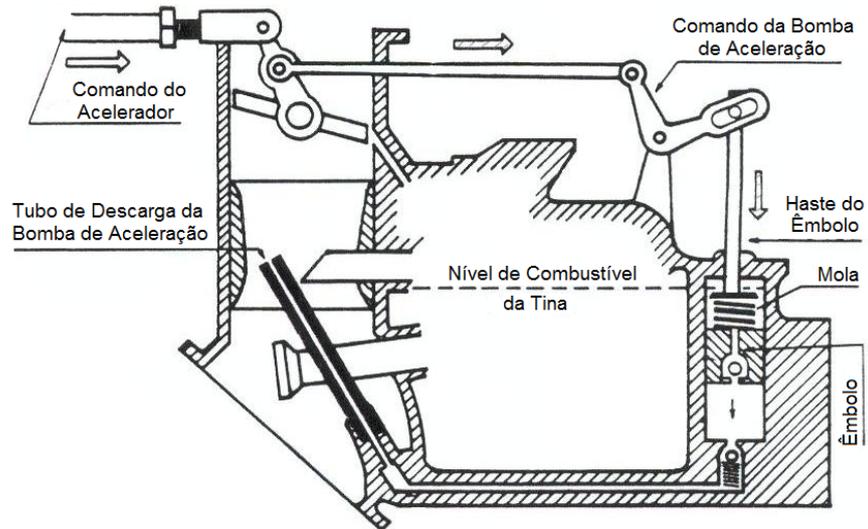


Figura 55 – Sistema de correção altimétrica

Correção Altimétrica

A densidade do ar diminui com o aumento de altitude. À medida que o avião sobe, há um peso de ar cada vez menor para igual volume de mistura aspirada pelos cilindros do motor. Considerando desprezível o efeito da altitude sobre a densidade da gasolina, teríamos, com o aumento de altitude, uma mistura cada vez mais rica. Há, portanto, a necessidade de corrigir esta tendência de modo a que o título de mistura se mantenha constante qualquer que seja a altitude a que o avião voa.

Nos carburadores instalados nos motores de avião faz-se a correção altimétrica, contrariando a tendência do enriquecimento da mistura, através de dois processos:

- **Por variação da pressão no resguardo do emulsionador** – Este método, utilizando nos carburadores “Claudel Hobson”, baseia-se numa entrada de ar adicional que altera o valor normal da pressão de ar necessário à emulsão;
- **Por redução do débito de gasolina** – Método adoptado nos carburadores “Stromberg” e que consiste em fazer variar o débito de gasolina para o emulsionador em função da altitude.

Em ambos os casos o processo prático de correção altimétrica pode ser efectuado manualmente pelo piloto, através dum comando próprio, ou ser efectuado automaticamente, por meio de um dispositivo barométrico, figura 56. Quer um processo quer outro actuam mecanicamente em simples válvulas de passagem que controlam os fluxos de ar ou de combustível para o emulsionador, consoante se trate dos carburadores “Claudel Hobson” ou “Stromberg”, respectivamente.

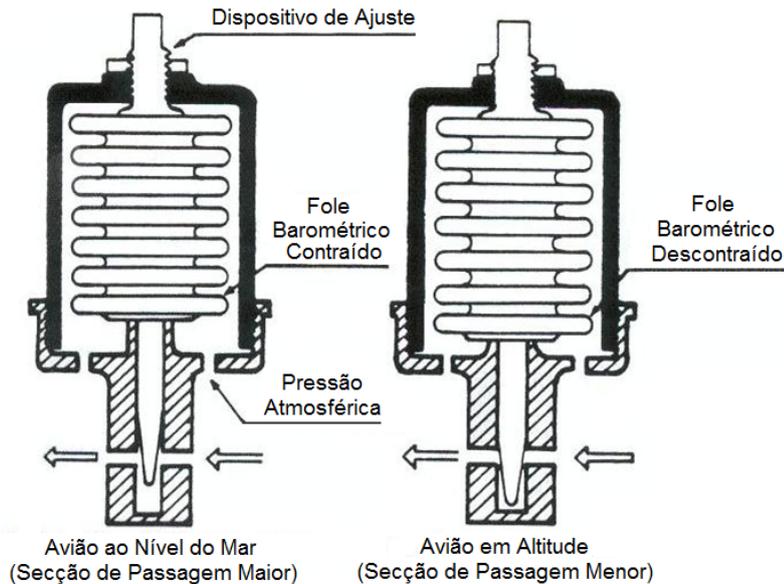


Figura 56 – Dispositivo barométrico utilizado no corrector altimétrico

Prevenção da Formação de Gelo no Carburador

Os efeitos da formação de gelo no carburador do motor são ainda mais perigosos que a formação de gelo nas asas do avião visto não só diminuir a secção do difusor mas também obstruir os pulverizadores, prender a válvula de borboleta, etc. Por outro lado, o título de mistura varia ligeiramente com a variação da temperatura do ar. A mistura empobrece quando a temperatura diminui, devido ao aumento de densidade do ar.

Existem dois métodos normalmente adoptados para prevenir a formação de gelo no carburador:

- **Admissão de ar quente** – Este processo utiliza o ar de refrigeração dos cilindros. O método de prevenção contra a formação de gelo no carburador consiste no desvio de certa quantidade do ar aquecido em torno dos cilindros de modo a ser aspirado pela conduta do carburador, figura 57. Este fluxo de ar quente evita a formação de gelo no carburador, e elimina o gelo existente, caso se tenha formado.

A admissão de ar quente é comandada pelo piloto através de um comando que actua numa válvula que fecha a entrada de ar frio, desviando-o para o exterior e, e abre a passagem de ar quente que circula em torno dos cilindros. Esta válvula poderá ter posições intermédias (determinando dois fluxos de ar – um frio e outro quente) quando haja apenas necessidade de prevenir a formação de gelo sem afectar grandemente a potência do motor.

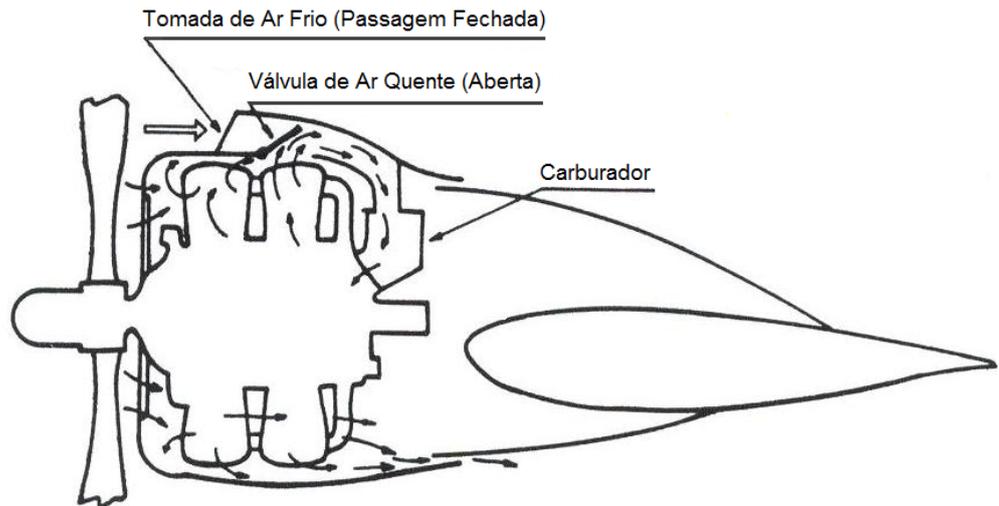


Figura 57 – Admissão de ar quente para o carburador

- **Aquecimento da zona do difusor.** Este método consiste no aproveitamento do calor do óleo de lubrificação ou do líquido de arrefecimento e também, nalguns casos, dos gases de escape fazendo-os circular numa câmara que envolve o difusor do carburador.

Nos carburadores Claudel Hobson existe circulação do óleo de lubrificação do motor no interior da válvula de borboleta do carburador.

Correcção da Mistura por Variação da Temperatura do Ar

Esta correcção é normalmente efectuada em motores de grande potência instalados em aviões que atingem grandes altitudes. O empobrecimento da mistura, devido à diminuição da temperatura com o aumento de altitude, é corrigido através de um dispositivo constituído por um fole elástico contido numa câmara (semelhante ao dispositivo de correcção altimétrica) sujeito exteriormente ao contacto de certa quantidade de álcool e sujeito interiormente à temperatura do ar ambiente. As diferenças de temperatura, fazendo variar o comprimento do fole, determinam secções de passagem variáveis numa válvula através da qual é controlado o fluxo de ar que intervém no título de mistura.

DISPOSITIVOS COMPLEMENTARES DO CARBURADOR DE ASPIRAÇÃO

Os dispositivos já descritos que fazem parte da constituição do carburador de aspiração garantem o funcionamento do motor com uma gama de misturas consideradas normais. Nestas condições de carburação o motor fornece a potência necessária num voo de cruzeiro económico. Para que o motor possa funcionar de forma eficaz noutros regimes de operação há a necessidade de introduzir no carburador outros dispositivos.

Dispositivo de Controlo de Mistura

Este dispositivo permite títulos de mistura mais rica. O emulsionador ou pulverizador principal associado aos dispositivos de compensação, calibres, etc., estão calculados para fornecerem misturas normais (da ordem 1:15). O dispositivo de controlo de mistura permite um suplemento ao débito normal de

combustível, sempre que haja necessidade de introduzir no motor uma potência mais alta. O dispositivo adoptado é normalmente constituído por um segundo calibrador de secção variável (semelhante ao calibrador utilizado no carburador *Stromberg*) que, por intermédio de uma válvula de agulha, regula a alimentação suplementar do pulverizador principal, acima de certos regimes.

O movimento da válvula de agulha é obtido através da válvula de borboleta, a partir duma posição que corresponde às altas potências, figura 58. Em motores sobrealimentados o movimento é obtido a partir de valores elevados de pressão de admissão que actua num fole barométrico que, ao variar de comprimento, faz movimentar a agulha, figura 59.

Os dispositivos descritos no parágrafo anterior são designados de sistemas economizadores e proporcionam um controlo de mistura automático nos carburadores de aspiração.

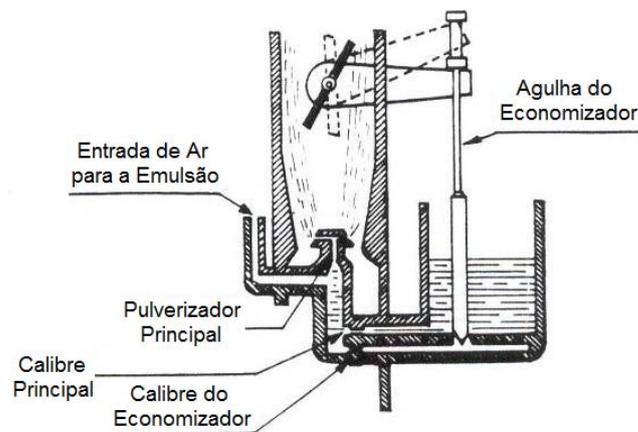


Figura 58 – Sistema de alimentação suplementar regulado pela “borboleta”

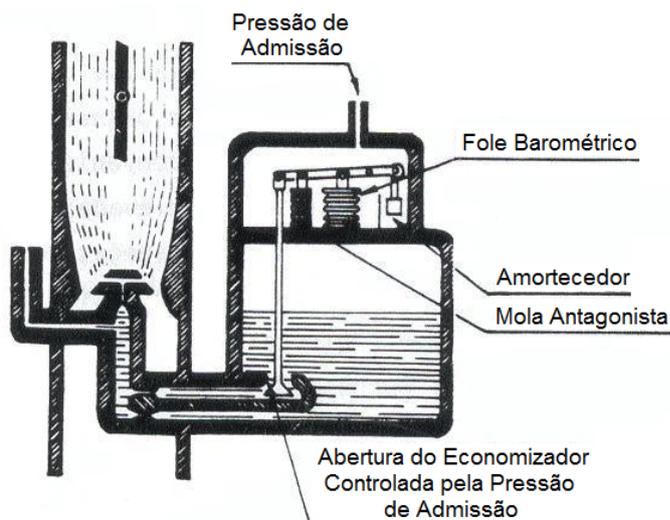


Figura 59 – Sistema de alimentação suplementar regulado por pressão

Controlo Manual da Mistura

Com a evolução dos motores, quer em relação ao volume da cilindrada total quer à taxa de compressão, verificou-se na prática que a introdução de altos regimes de potência utilizados por períodos mais ou menos longos, dava origem a temperaturas excessivas nas cabeças dos cilindros. O enriquecimento da mistura àqueles regimes operado automaticamente pelos sistemas descritos no parágrafo anterior revelou-se insuficiente.

Foi necessário introduzir um sistema independente, controlado voluntariamente pelo operador, que permitisse misturas excepcionalmente ricas de modo a poderem reduzir as altas temperaturas que se verificavam nos regimes de alta potência. O recurso ao excesso de combustível tem o inconveniente de estabelecer títulos de mistura incorrectos àquelas potências (com prejuízo do melhor rendimento do motor) e ainda o de reduzir a autonomia do avião.

Hoje em dia é praticamente generalizada a alavanca de controlo manual de mistura em aviões equipados com motores de carburador de aspiração ou de pressão. Esta alavanca comanda uma válvula que altera o débito de ar necessário à emulsão no pulverizador principal. É conveniente enriquecer a mistura ao serem exigidas potências mais elevadas, para se evitarem temperaturas demasiadamente altas nas cabeças dos cilindros. Ao título 13:1 corresponde a máxima potência, mas também uma temperatura excessivamente elevada. Aos títulos 12:1, 11:1 e 10:1 (misturas mais ricas) correspondem potências ainda muito altas com temperaturas normais. Aos títulos 14:1 e 15:1 (misturas mais pobres) correspondem temperaturas altas e potências relativamente baixas. Ao título 15:1 corresponde a potência que, sendo relativamente baixa, é a que confere a máxima autonomia. Os títulos a utilizar são 16:1, quando se pretender economia (ou seja autonomia), 12:1 quando interessa uma potência máxima com certa autonomia e temperatura aceitável (máximo contínuo), 11:1 e 10:1 quando se desejar a potência máxima sem se correr o risco de temperaturas exageradas, mesmo com prejuízo de economia.

Corte do Motor

Nos motores sobrealimentados, devido ao facto das cargas de mistura utilizadas serem normalmente maiores que nos motores desprovidos de compressores, as temperaturas de funcionamento são, por consequência, também mais elevadas. É natural que mesmo depois de o motor ter estado a rodar em marcha lenta durante um certo tempo, algumas velas, válvulas de escape e até êmbolos, fiquem suficientemente quentes para provocarem a combustão da mistura nos respectivos cilindros depois de cortada a ignição. Além disso, nos cilindros onde não se efectuassem combustões, depositar-se-ia combustível proveniente da mistura não queimada admitida que, em virtude dos indices de octana utilizados, possuem substâncias altamente corrosivas quando aquecidas. Depois de cada paragem teríamos um processo de corrosão, mais ou menos intenso, mas sempre nocivo.

Para evitar os inconvenientes acima referidos, o corte dos motores sobrealimentados é feito pelo corte da alimentação de combustível e não pelo método vulgar do corte da inflamação. Os carburadores são equipados com um dispositivo que corta o débito de combustível para o dispositivo de marcha lenta

(ralenti) por transmissão da pressão de admissão à tina de nível constante. Sendo mínima a pressão de admissão na marcha lenta, com valores muito inferiores à pressão atmosférica, e existindo na tina propositadamente um valor de pressão tão baixo, não haverá possibilidade de qualquer derrame de combustível ao ralenti e, por consequência, o motor pára. A operação de paragem por corte de combustível é obtida, neste caso, colocando-se a alavanca de controlo manual da mistura na posição extrema oposta à que corresponde a mistura rica.

CARBURADOR DE PRESSÃO

Fez-se referência anterior ao progresso que se verificou nos motopropulsores no sentido da obtenção de maiores potências. Contudo, um dos factores limitadores da potência dos motores era a concepção do carburador de aspiração.

Embora frequentemente modernizado, tendo em vista particularmente a eliminação de inconvenientes que surgiam em resultado de descolagens em pistas irregulares, em voos dentro de massas de ar agitado, acelerações e desacelerações, etc., o carburador de aspiração não provou ser o melhor método do doseamento do combustível/ar naquelas condições de funcionamento. O conceito "nível constante" na tina era deste modo falseado em virtude das oscilações que todo o sistema sofria.

Na tentativa de obtenção de maiores potências nos motores e maiores altitudes de voo surgiram os motores sobrealimentados. Porém, o carburador de aspiração continuava a não ser ainda o sistema ideal de doseamento.

Por curiosidade refira-se que existem, desde o final da década de 40 do século XX, motores de dupla estrela cuja cilindrada atinge 54 litros e que, pouco mais tarde, surgiram os de quádrupla estrela com cilindros muito superiores. Como termo de comparação, a cilindrada do motor dum automóvel utilitário varia entre 1 e 1,5 litros.

A massa de ar que passa através de um carburador instalado num motor de avião de grande cilindrada é muito grande. O carburador de aspiração torna-se insuficiente para suprir as necessidades de combustível nos regimes de máxima potência.

Surgiu então o carburador de pressão que, para além de poder fornecer a quantidade de combustível de modo a manter constante o título de mistura para qualquer velocidade do motor, seja qual for a sua cilindrada, comporta-se perfeitamente em qualquer condição de voo ou de corrida na pista e, em particular, não dá origem à formação de gelo no difusor.

VANTAGENS DO CARBURADOR DE PRESSÃO

As principais vantagens do carburador de pressão são:

- A distribuição da mistura pelos cilindros faz-se dum modo mais equitativo;
- Não existe a possibilidade de retornos de chama ao carburador;

- Não existe formação de gelo no difusor, em resultado da evaporação do combustível;
- As manobras rápidas ou evoluções acrobáticas não afectam o funcionamento do motor;
- A autonomia do avião é aumentada em virtude de se obterem consumos inferiores para a mesma potência.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO

O sistema de doseamento e emulsão do combustível/ar neste tipo de carburador difere totalmente dos métodos adoptados nos carburadores de aspiração. À semelhança do que acontece nos carburadores de aspiração, existem os mesmos requisitos relativos à velocidade do motor, ao título de mistura, às correcções da mistura por variação da altitude e temperatura do ar, etc. Deste modo:

- O controlo da velocidade do motor baseia-se também na maior ou menor facilidade conferida à passagem do ar solicitado pelos cilindros através dum compressor centrífugo accionado pelo próprio motor. Este controlo, feito por válvulas de borboleta colocadas num corpo que faz parte do carburador, apenas condiciona a massa de ar para o compressor e não a quantidade de combustível.
- O combustível “em bruto” é aspirado dos tanques do avião através duma bomba mecânica colocada na secção de acessórios do motor. Esta bomba fornece o combustível a uma pressão constante até ao carburador. Porém, este facto garante apenas a presença do combustível no carburador. Existe a necessidade de retirar dali somente a quantidade exacta para que se obtenha um título de mistura constante para qualquer velocidade do motor e altitude do avião, e dirigi-lo para o compressor onde é emulsionado com o ar.
 - O dispositivo que define o doseamento de combustível apropriado ao regime do motor, densidade e temperatura do ar, é um conjunto denominado regulador de combustível. Este órgão controla o fluxo de combustível enviado pela bomba mecânica de acordo com os valores de pressão medidos na massa de ar que alimenta o compressor. Estes valores intervêm na abertura duma válvula *Poppet*, fazendo-a movimentar por acção da dilatação ou contracção de diafragmas sujeitos àqueles valores de pressão. A maior ou menor abertura da válvula define o fluxo de combustível conveniente à mistura. Do mesmo modo corrige as tendências de enriquecimento ou empobrecimento da mistura por efeito da densidade e temperatura do ar. Para tal, o regulador de combustível é também sensível aos valores de pressão rectificadas por outro órgão denominado controlo automático de mistura. Obtém-se assim um fluxo de combustível compatível com a velocidade do motor a que se deu o nome de “combustível não medido”. Este fluxo, após a passagem por calibres especiais, denomina-se “combustível medido”.
 - O dispositivo que determina o calibre que “medirá” o combustível é o controlo manual de mistura, actuado por uma alavanca colocada na cabine de pilotagem (comandos do motor) que

Legenda da figura 60

- A – Regulador de combustível.
- B – Controlo automático de mistura.
- C – Controlo manual de mistura.
- D – Bomba de aceleração.
- E – Válvula de descarga.
- 1- Difusor.
- 2- Venturi (pequeno difusor).
- 3- Válvula de borboleta.
- 4- Comando do controlo manual de mistura.
- 5- Pás do compressor.
- 6- Entrada de combustível enviada pela bomba mecânica.
- 7 - Tubo que conduz ao regulador de combustível a pressão rectificada pelo controlo automático de mistura.
- 8 – Tubo que conduz ao regulador de combustível a pressão de ar existente no venturi.
- 9 – Tubo de impacto que conduz ao controlo automático de mistura a pressão de ar existente antes do difusor.
- 10 – Tubo que conduz ao controlo automático de mistura a pressão de ar existente na secção menor do difusor.
- 11 – Tubo que conduz combustível não medido para a bomba de aceleração.
- 12 – Tubo que conduz combustível da bomba de aceleração para o regulador, durante a acção do acelerador.

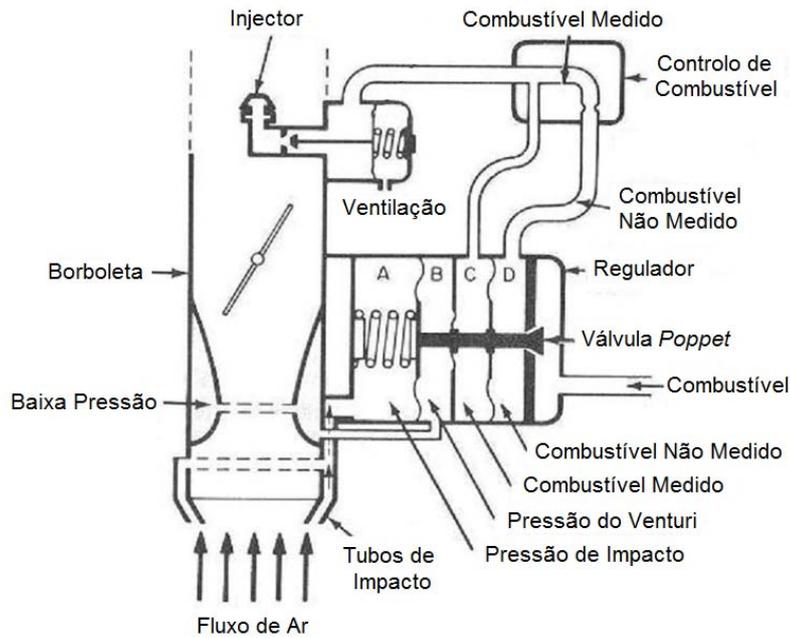


Figura 61 – Carburador de injeção

INJEÇÃO DIRECTA DE COMBUSTÍVEL

Consegue-se obter, quer no carburador de aspiração quer no carburador de pressão, uma mistura perfeita para a realização da melhor combustão. No entanto, sem se pretender dizer que qualquer daqueles tipos de carburador não debite o combustível nas proporções adequadas, acontece que, devido a determinadas circunstâncias, a mistura é admitida nos vários cilindros com características ligeiramente diferentes. Essas circunstâncias são normalmente a forma dos tubos de admissão e o calor irradiado dos cilindros através dos daqueles tubos. As partículas minúsculas de combustível, que com o ar formam a emulsão, são mais pesadas que o ar tendo a tendência em chocar com as paredes internas dos tubos, ao longo das curvas que forçosamente têm de existir até aos cilindros, quebrando a homogeneidade combustível/ar que até aí existia.

Por outro lado, o calor irradiado pelos cilindros não é igual em todos os tubos de admissão, devido a características de arrefecimento do motor. A vaporização das partículas de combustível é mais favorecida nuns tubos do que noutros. O rendimento dos cilindros, com origem nas combustões, pode variar de cilindro para cilindro, embora com diferenças muito ligeiras.

O método capaz de eliminar completamente os inconvenientes referidos consiste na injeção de combustível directamente em cada cilindro, à semelhança do que se faz nos motores diesel. Neste caso, a injeção de combustível é efectuada durante o tempo de admissão de ar e não no final da compressão, como acontece nos motores diesel. Além da vantagem referida, um motor de avião provido com o sistema de injeção directa torna-se mais económico que com o sistema clássico de carburador.

CONSTITUIÇÃO DO SISTEMA

A concepção do método de injeção directa dispensa qualquer dos tipos de carburador já descritos. Tem como órgão principal uma bomba de êmbolos denominada bomba de combustível, provida de tantos êmbolos quantos os cilindros do motor. Esta bomba é comandada pelo motor de modo a que um determinado êmbolo comprima certa quantidade de combustível para o cilindro correspondente. Há também necessidade de variar o débito fornecido por cada compressão do êmbolo de acordo com o regime do motor, altitude do avião e temperatura do ar. Para que tal se realize, o corpo de êmbolos da bomba tem inclinação variável, em função dum comando automático, que confere aos êmbolos um curso compatível com o débito de combustível desejado. O comando automático tem origem na pressão existente na massa de ar admitida, a qual lhe fornece elementos relativos à velocidade do motor, densidade e temperatura do ar. Destes elementos, através de cápsulas barométricas, obtém-se um ligeiro movimento numa haste que, ampliado por um sistema hidráulico, dá origem a uma força capaz de movimentar um mecanismo que introduz simultaneamente em todos os êmbolos o curso que define a quantidade exacta de combustível a ser injectado nos respectivos cilindros. O órgão do qual se faz a descarga de combustível na cabeça de cada cilindro é o injector.

A figura 62 representa um esquema do método de injeção directa de combustível.

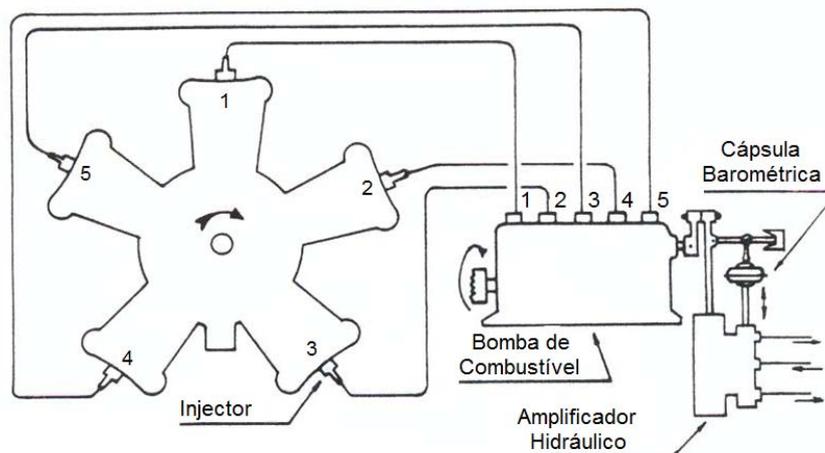


Figura 62 – Sistema de injeção directa de combustível

INJEÇÃO INDIRECTA DE COMBUSTÍVEL

A injeção indirecta, do tipo fluxo contínuo de baixa pressão de combustível, é frequentemente utilizada em motores alternativos de avião. Neste sistema o combustível é injectado continuamente no colector de admissão tão próximo quanto possível da válvula de admissão. As vantagens deste método são a baixa pressão de operação, boa distribuição de combustível, livre de problemas de formação de gelo e a possibilidade de utilização de uma bomba não temporizada com o ciclo de operação.

Alguns sistemas de injeção operam de modo similar ao carburador, injectando o combustível de baixa pressão no colector de admissão. A válvula de borboleta (*throttle*) varia a pressão do combustível de acordo com a velocidade do motor.

O título de mistura é alterado manualmente através do controlo manual de mistura que ajusta a pressão do combustível para a altitude ou para as condições necessárias de operação. Por causa deste método de operação com injector, não são necessários arranjos especiais para o *idling* nem um sistema *priming* para o arranque do motor.

A válvula de borboleta (*throttle*) controla o fluxo de ar para o motor e um indicador de pressão de combustível calibrado permite que sejam feitos ajustamentos na mistura.

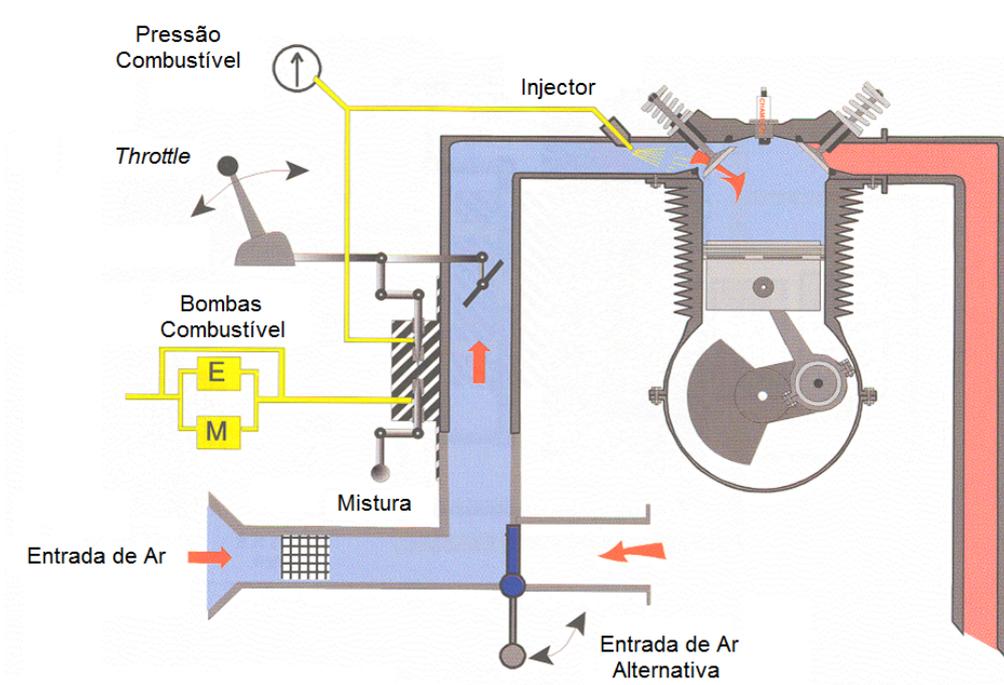


Figura 63 – Sistema de controlo da injeção

Os componentes principais do sistema de injeção indirecta de combustível são:

- Bombas de combustível;
- Unidade ar/combustível;
- Válvula distribuidora;
- Injectores, um para cada cilindro.

BOMBAS DE COMBUSTÍVEL

O sistema está equipado com duas bombas instaladas em paralelo. Uma bomba mecânica (Principal) e uma bomba eléctrica auxiliar. A bomba mecânica fornece maior quantidade de combustível do que o necessário ao funcionamento do motor. O excesso de combustível faz recirculação. A bomba eléctrica alimenta o

sistema *priming*, sistema arranque e fornece combustível ao motor em caso de falha da bomba mecânica (sistema de emergência).

UNIDADE DE CONTROLO AR/COMBUSTÍVEL

Esta unidade está montada na conduta principal de admissão e é constituída por três elementos de controlo:

- Válvula de borboleta (*throttle valve*);
- Válvula doseadora (*metering fuel valve*);
- Válvula de controlo de mistura (*mixture control valve*).

A válvula de borboleta está ligada à alavanca de potência na cabina e controla o fluxo de ar para o motor. A conduta principal de admissão não tem Venturi nem quaisquer restrições ao fluxo do ar.

A unidade de controlo de combustível está ligada à unidade da válvula de borboleta e controla o fluxo de combustível para o motor por intermédio de duas válvulas. Uma válvula doseadora ligada à válvula de borboleta que controla o fluxo de combustível para a válvula distribuidora de acordo com a posição da válvula de borboleta. O fluxo de combustível é proporcional ao fluxo de ar providenciando a razão correcta ar/combustível. A segunda válvula, a válvula de controlo de mistura encontra-se ligada à alavanca de mistura na cabina e controla a pressão aplicada à válvula doseadora. Desta forma a razão ar/combustível pode ser alterada tanto para os ajustes básicos da válvula doseadora como para as condições requeridas de operação. O indicador de pressão no sistema indica a pressão de combustível medido.

VÁLVULA DISTRIBUIDORA

Esta válvula encontra-se localizada no cárter do motor e é o ponto central para a distribuição do combustível medido para os cilindros do motor. Quando o motor está parado, todas os orifícios de saída estão fechados, e nenhum combustível pode circular para o motor. Assim que a pressão do combustível subir (em resultado da rotação do motor ou da operação da bomba eléctrica) todos os orifícios para os injectores abrem em simultâneo.

INJECTORES

Os injectores encontram-se instalados na cabeça dos cilindros com a saída dirigida para a abertura de admissão, figura 64. Podem ser calibrados em diferentes gamas, mas cada um dos injectores de um conjunto instalado num motor têm a mesma calibração.

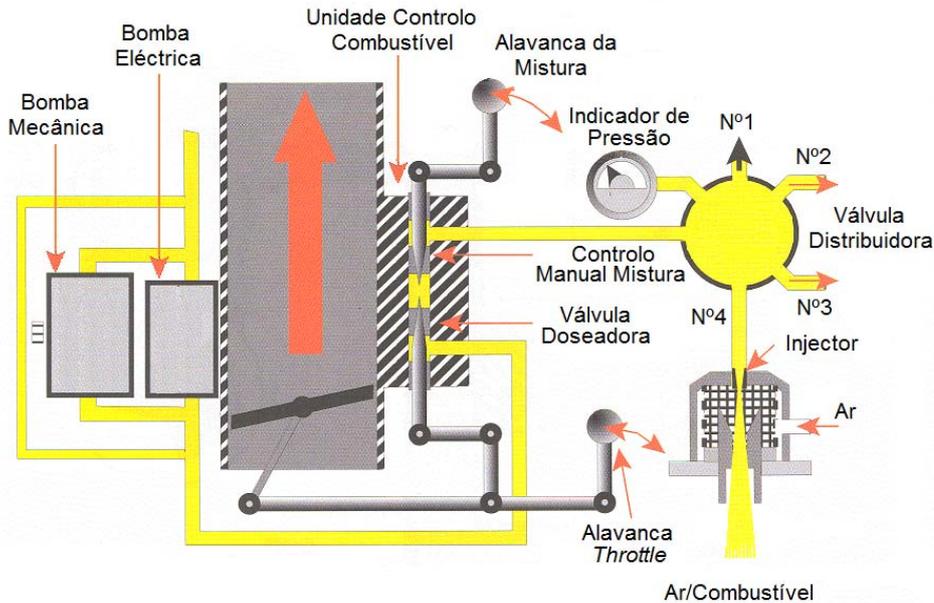


Figura 64 – Sistema de injeção indirecta

DETONAÇÃO

O alto grau de compressão dos motores alternativos a gasolina, introduzido no sentido da obtenção de maiores potências, deu origem a temperaturas excessivas na cabeça dos cilindros. A elevada temperatura dava origem ao fenómeno da “pré inflamação” (inflamação da mistura antes de saltar a faísca na vela) cujos resultados se manifestam pelo funcionamento irregular do motor e a consequente diminuição de potência. A adição de produtos na gasolina que pudessem conferir-lhe maior resistência às temperaturas existentes nas câmaras de combustão resolveram o problema para determinados motores. Recorreu-se, deste modo ao aumento do índice de octano da gasolina.

Porém, os motores sobrealimentados de grande potência, mesmo utilizando gasolinas de elevado índice de octana, revelavam outro fenómeno, a detonação. Embora a inflamação da mistura tivesse origem na faísca da vela, o facto da temperatura nas cabeças dos cilindros ser muito elevada provocava uma grande aceleração na velocidade de propagação da combustão em parte da mistura. Este facto provocava, por sua vez, um aumento instantâneo da pressão da mistura ainda não queimada. O aumento de pressão rapidíssimo na mistura fresca inflamava-a automaticamente. Esta característica de detonação exercia forças de pressão elevadíssimas nas paredes internas das câmaras de combustão.

O fenómeno da detonação, figura 65, revela-se no motor como uma pancada metálica que o pode inutilizar completamente a curto prazo.

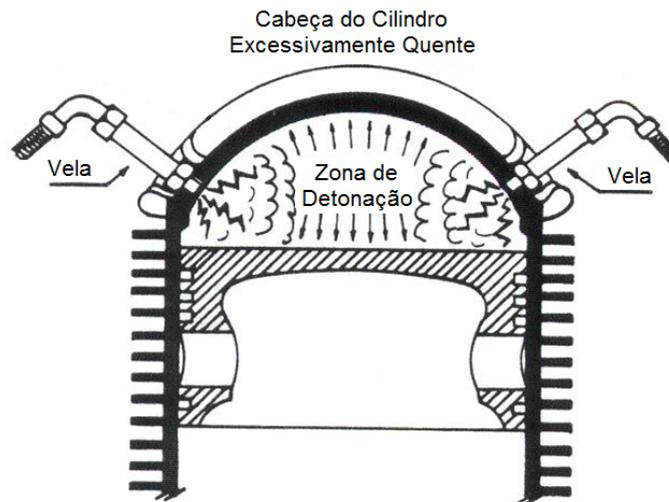


Figura 65 – Detonação

FENÓMENO DA DETONAÇÃO

O processo químico da detonação não está ainda bem esclarecido. Julga-se, no entanto, que devido às altas pressões os hidrocarbonetos se decompõem em produtos que se combinam instantaneamente com o oxigénio. O processo mecânico a seguir exposto explica satisfatoriamente o problema. Considerando o facto da propagação progressiva da chama, e também o facto de que o calor se transmite por condução, convexão e radiação podemos dizer que, ao iniciar-se a combustão, as partículas próximas recebem calor por estes três processos e as mais afastadas recebem-no por convexão e por radiação. Neste último processo a transmissão do calor faz-se à velocidade da luz, praticamente instantânea. A massa que ainda não ardeu aumenta assim a sua temperatura e pressão. Estes factores vão aumentando à medida que a chama avança. Se a pressão e temperatura iniciais da mistura, antes da inflamação, forem exageradas pode acontecer que num dado momento toda a massa gasosa ainda não combustada atinja a temperatura de auto inflamação (temperatura de inflamação espontânea, sem presença de chama, a uma dada pressão) inflamando instantaneamente. Na figura 63 pode observar-se os efeitos duma detonação sobre o êmbolo.

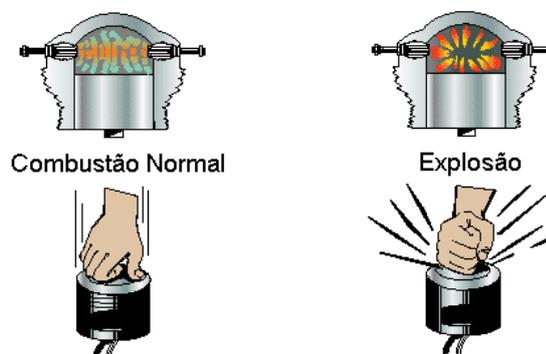


Figura 66 – Efeito da detonação sobre o êmbolo

PREVENÇÃO DA DETONAÇÃO

A detonação ocorria quando o motor era levado à máxima potência, regime que implicava a máxima pressão de admissão e que ocasionava temperaturas muito elevadas quando usado sem parcimónia. A utilização de misturas ricas em excesso naquele regime, cujo excedente era destinado à refrigeração interna dos cilindros, foi o recurso encontrado para solucionar o inconveniente da detonação. Contudo, a potência máxima do motor era substancialmente afectada em virtude da utilização de um título de mistura incorrecto. Deste modo surgiu a ideia da injeção de água no colector do compressor, no regime de máxima potência, com a finalidade de refrigerar internamente os cilindros e permitir ao motor a obtenção da melhor potência através da utilização dum título de mistura dentro dos valores normais.

Embora conhecido universalmente por sistema de injeção de água, o fluido utilizado era na realidade uma mistura de água destilada e produtos voláteis, como o álcool e o metanol, em proporções que dependiam das condições climáticas onde os aviões operavam normalmente.

SOBREALIMENTAÇÃO DOS MOTORES CONVENCIONAIS

INTRODUÇÃO

Tem sido várias vezes referidos termos como “sobrealimentação”, “motores sobrealimentados”, “motores providos de compressor”, etc. Embora este assunto nada tenha a ver com a constituição dos carburadores e, em especial com os dispositivos que concorrem para o perfeito doseamento da mistura combustível, tem no entanto ligação estreita com eles na medida em que se pretende descrever a evolução dos motores convencionais no sentido da obtenção de grandes potências.

Foi já referido que uma determinada quantidade de combustível necessita, para a sua combustão completa, de um determinado peso de ar. Para que se aumente a potência do motor há que fornecer a cada cilindro uma maior quantidade de combustível, o que implica, naturalmente, uma maior quantidade de ar correspondente.

Os motores de avião têm normalmente grandes cilindros e um número de rotações muito elevado pelo que o volume de ar na unidade de tempo por eles solicitado é também muito grande. Os motores de elevada potência estão equipados com um compressor (*supercharger*) que aspira o ar através do carburador e o comprime a valores relativamente elevados. Deste modo, ao começar em cada um dos cilindros a fase de admissão (início da abertura da válvula de admissão) o ar entra no cilindro devido ao movimento do êmbolo, mas também por existir nesse momento, no tubo de admissão, um determinado valor de pressão que impele o ar para o interior do cilindro. Isto garante um mais completo enchimento dos cilindros. A fase seguinte, a compressão, tem início com um valor de pressão mais elevado terminando também com um valor mais alto tendo como resultado uma maior libertação de calor durante a combustão e uma maior pressão que actua sobre o êmbolo. Razão da designação de “motores sobrealimentados”.

A pressão de admissão máxima que se pode utilizar é limitada por condicionalismos impostos pelas

características dos materiais utilizados na construção das válvulas, êmbolos, cilindros, chumaceiras, etc., e tem actualmente o valor de 1,8 atmosferas.

COMPRESSOR CONVENCIONAL

O compressor convencional é um compressor centrífugo de ar colocado entre o carburador e o colecter de admissão. É constituído por três unidades principais, figura 67:

- **Rotor** – Depois de deixar o carburador o ar passa através de uma conduta para o rotor. Este roda a uma velocidade 6 a 14 vezes superior à velocidade da cambota, e, mercê desta alta velocidade, imprime uma grande velocidade à mistura combustível/ar aumentando-lhe a energia cinética.
- **Difusor** – Esta unidade forma passagens convergentes que provocam uma diminuição da velocidade e um aumento da pressão da mistura combustível/ar (conversão da energia cinética em pressão estática).
- **Colector** – Depois de deixar o difusor, a mistura é momentaneamente armazenada no colecter, e, daqui, encaminhada para os cilindros através dos tubos de admissão.

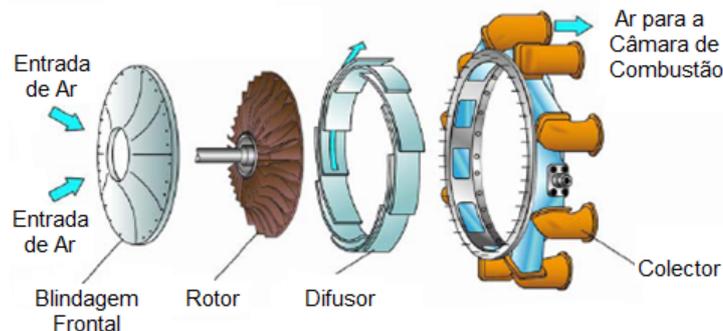


Figura 67 – Elementos principais de um compressor convencional

A função principal do compressor é aumentar a massa da mistura combustível/ar aumentando-lhe a pressão e a densidade. Existem, contudo, outros importantes efeitos associados, nomeadamente:

- Distribuição mais uniforme da carga combustível/ar para os cilindros;
- Vaporização mais completa do combustível. Este é injectado dentro da corrente de ar no carburador, ou à entrada do compressor, através de um injector de descarga que está ligado ao veio do rotor. A vaporização é facilitada devido à turbulência induzida pelo rotor e também pelo aumento da temperatura devido à compressão;
- Aumento da temperatura da mistura combustível/ar como consequência da compressão. Embora este facto facilite a vaporização, provoca ao mesmo tempo uma diminuição da densidade da mistura e uma redução da sua massa total;

- O aumento da temperatura pode ainda facilitar o fenómeno da detonação;
- Consumo de energia (potência) para fazer accionar o compressor.

O compressor permitiu um grande à potência dos motores convencionais e foi o trampolim para a construção do motor Turbo jacto. Existem compressores de dois andares e de duas velocidades. Para se obter a potência correcta e prevenir o excesso de pressão no motor existe a indicação do valor de pressão obtida no interior dos cilindros. Esta pressão é conhecida como a pressão de admissão entre a válvula do acelerador e a válvula de admissão.

Existem dois controlos que afectam a pressão desenvolvida pelo compressor:

- **A alavanca do acelerador** – Limita a pressão e, conjuntamente com a alavanca do hélice, determina a potência do motor;
- **Alavanca do hélice** – Nos hélices de velocidade constante (passo variável) esta alavanca permite seleccionar a velocidade de rotação do hélice e, conseqüentemente, a velocidade de rotação do motor.

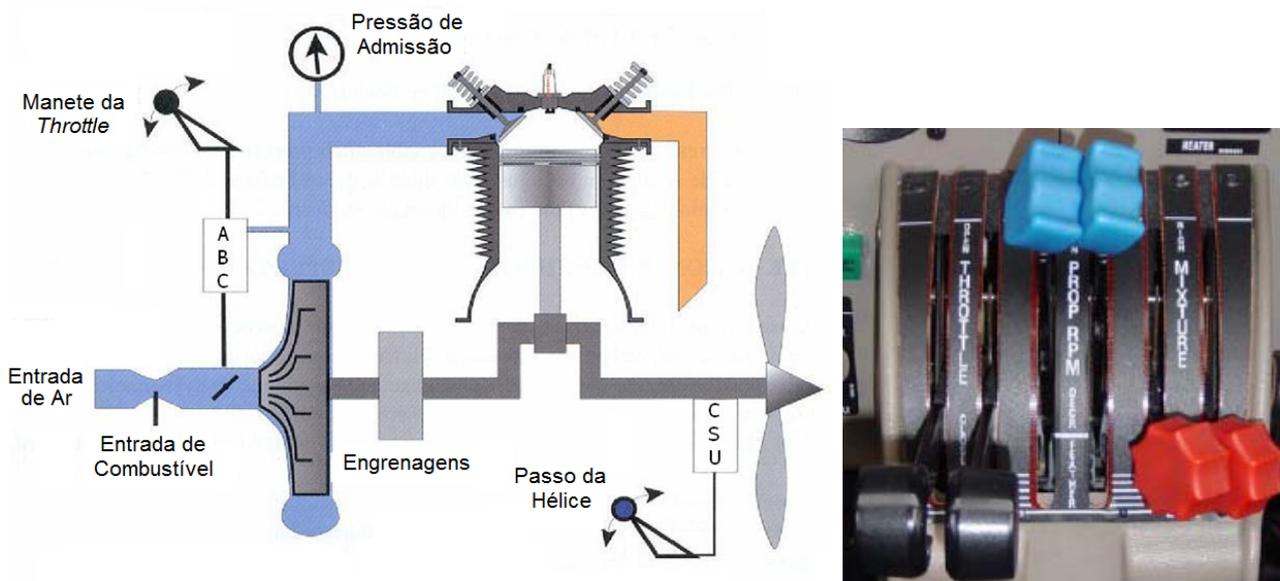


Figura 68 – Sistema de sobrealimentação com compressor interno *supercharger* e conjunto de comandos do motor e hélice

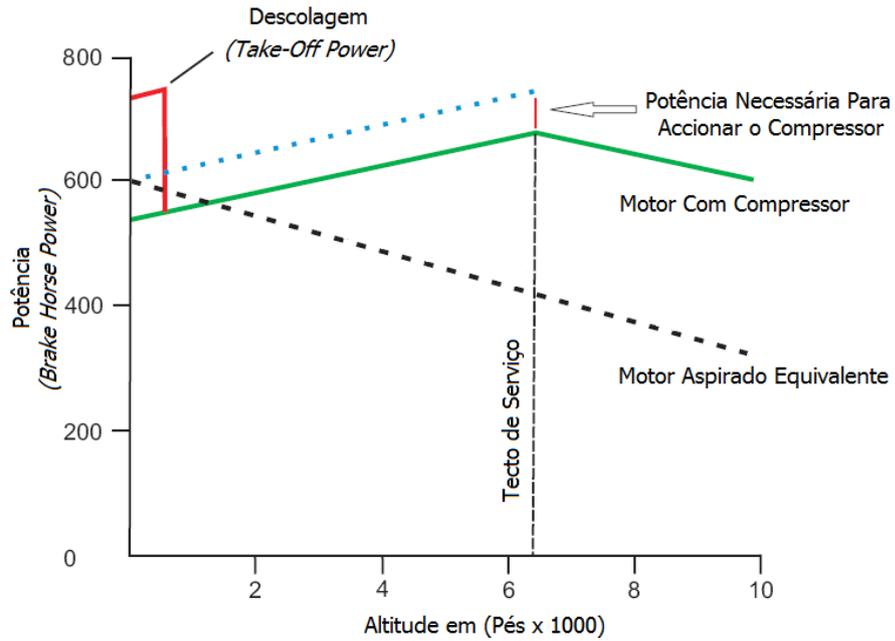


Figura 69 – Evolução da potência de um motor com compressor em função da altitude

TURBO COMPRESSOR

É constituído por uma turbina e por um compressor ligados por um eixo comum. A turbina é accionada pela energia cinética dos gases de escape podendo o conjunto atingir velocidades entre as 30.000 e as 40.000 rpm.

As palhetas da turbina estão sujeitas a cargas 70.000 vezes superiores ao seu peso, a pressões aproximadas de 26.000 lbs/pl², temperaturas da ordem dos 850° C e a velocidades dos gases de escape entre 500 a 1000 pés/s.

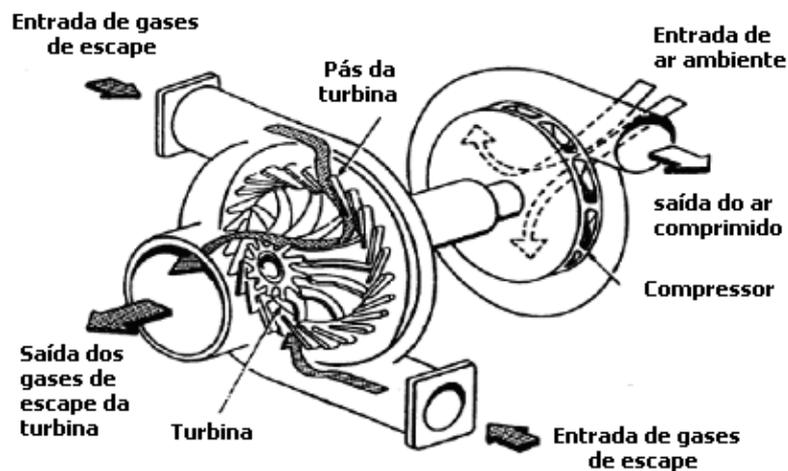


Figura 70 – Sistema de sobrealimentação com turbo compressor

O turbo compressor constitui um método simples e muito eficiente para aumentar a potência dos motores convencionais sendo actualmente utilizado quer na indústria aeronáutica quer na indústria automóvel. Deve

fornecer, para qualquer potência, uma massa de ar constante para o motor. Com o aumento de altitude e a correspondente diminuição de densidade do ar, o compressor tem que aumentar a sua velocidade de rotação de forma a compensar a redução da densidade do ar e a manter a pressão de admissão seleccionada.

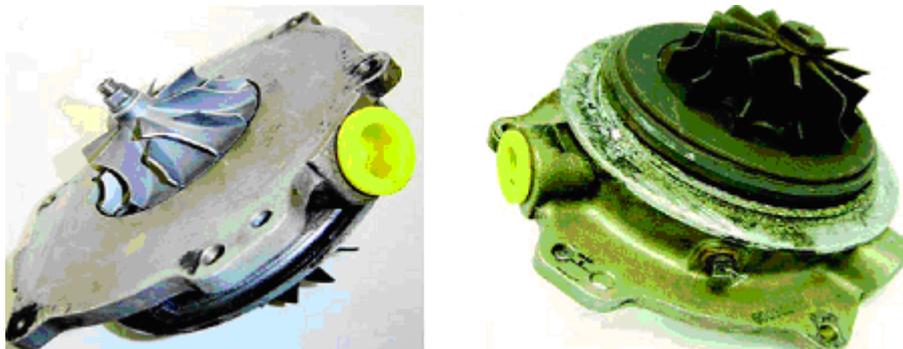


Figura 71 – Compressor (esquerda) e turbina

O controlo da sobrepressão é feito através de uma válvula, a *waste gate*, que faz variar a quantidade dos gases de escape que passam pela turbina. Quando a *waste Gate* se encontra completamente aberta os gases de escape saem directamente para a atmosfera não passando pela turbina. Quando esta válvula se encontra completamente fechada os gases de escape passam na sua totalidade pela turbina. Nesta situação é obtida a máxima velocidade de rotação do compressor.

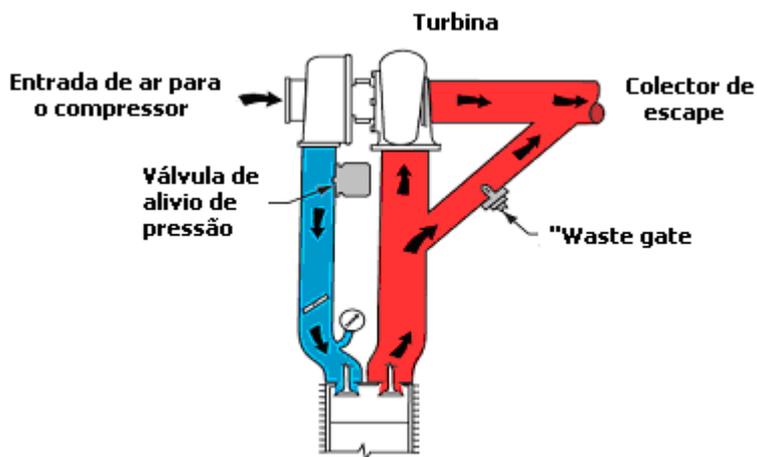


Figura 72 – Controlo dos gases que passam pela turbina

O controlo da *waste gate* é, na maioria dos casos, feito através de um sistema de controlo automático que evita a sobrepressão no motor. Neste sistema a *waste gate* encontra-se ligada mecanicamente a um actuador de acção simples em que a sua posição depende de forças de oposição de uma mola e da pressão do óleo do motor. A força da mola tende a abrir a *waste gate* e a pressão do óleo tende a fechá-la. A posição da válvula, em cada momento, depende do equilíbrio destas duas forças.

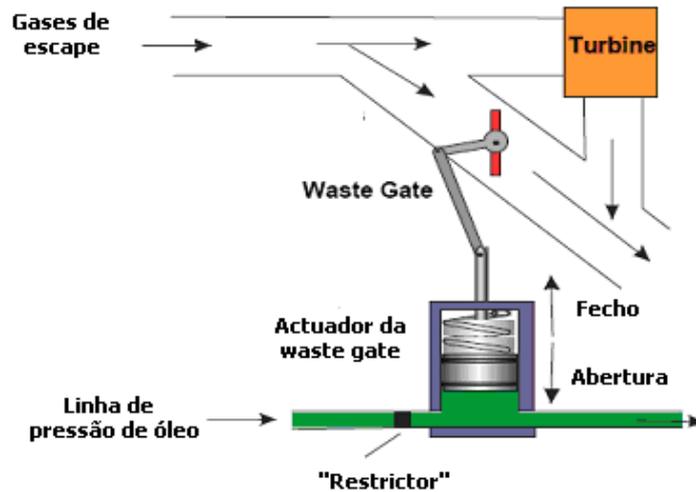


Figura 73 – Sistema de controlo da *Waste gate*

Alguns sistemas simples de turbo compressor utilizam um regulador chamado de *Absolute Pressure Controller* (APC) que evita que a pressão de saída do compressor exceda um valor máximo específico. Para isso, o APC utiliza uma cápsula aneróide sensível à saída da pressão do compressor para controlar o óleo do actuador da *waste gate*.

Com o aumento de altitude (subida do avião) a manutenção de uma pressão constante à saída do turbo compressor depende da capacidade de aumento da velocidade da turbina durante a subida do avião. O aumento de velocidade de rotação da turbina é conseguido através do fecho progressivo da *waste gate*. A posição da *waste gate* é, deste modo, um importante factor de controlo do desempenho do motor.

O tempo que demora a subir a velocidade do conjunto turbina/compressor, após o sinal de baixa pressão do compressor ter sido enviado para o APC, e o tempo de reacção do actuador da *waste gate* denomina-se *Turbo-lag*.

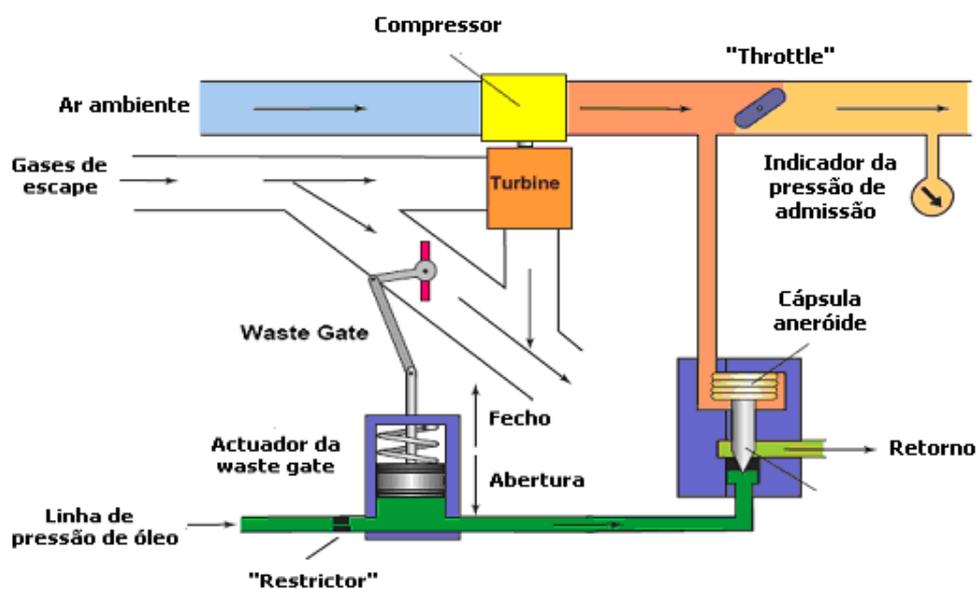


Figura 74 – Turbo compressor com Compressor *Absolute Pressure Controller*

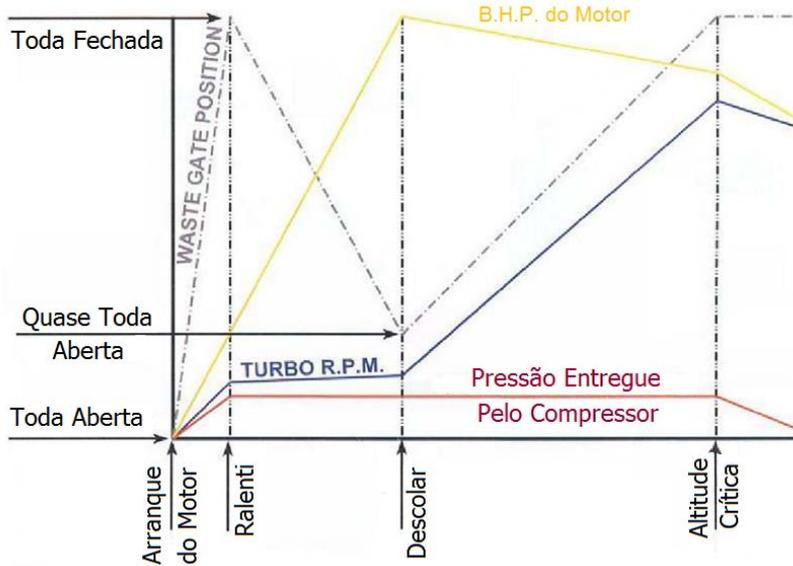


Figura 75 – Abertura da *waste gate* em função do regime do motor

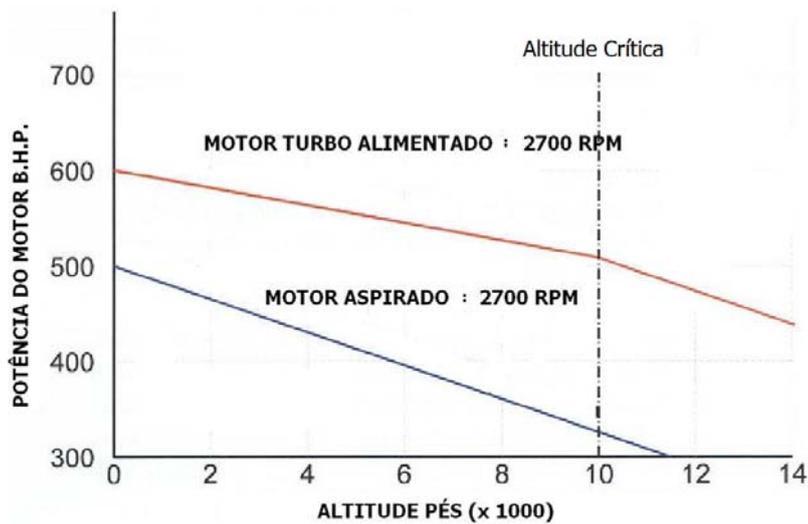


Figura 76 – Comparação da potência em função da altitude para dois tipos de motor

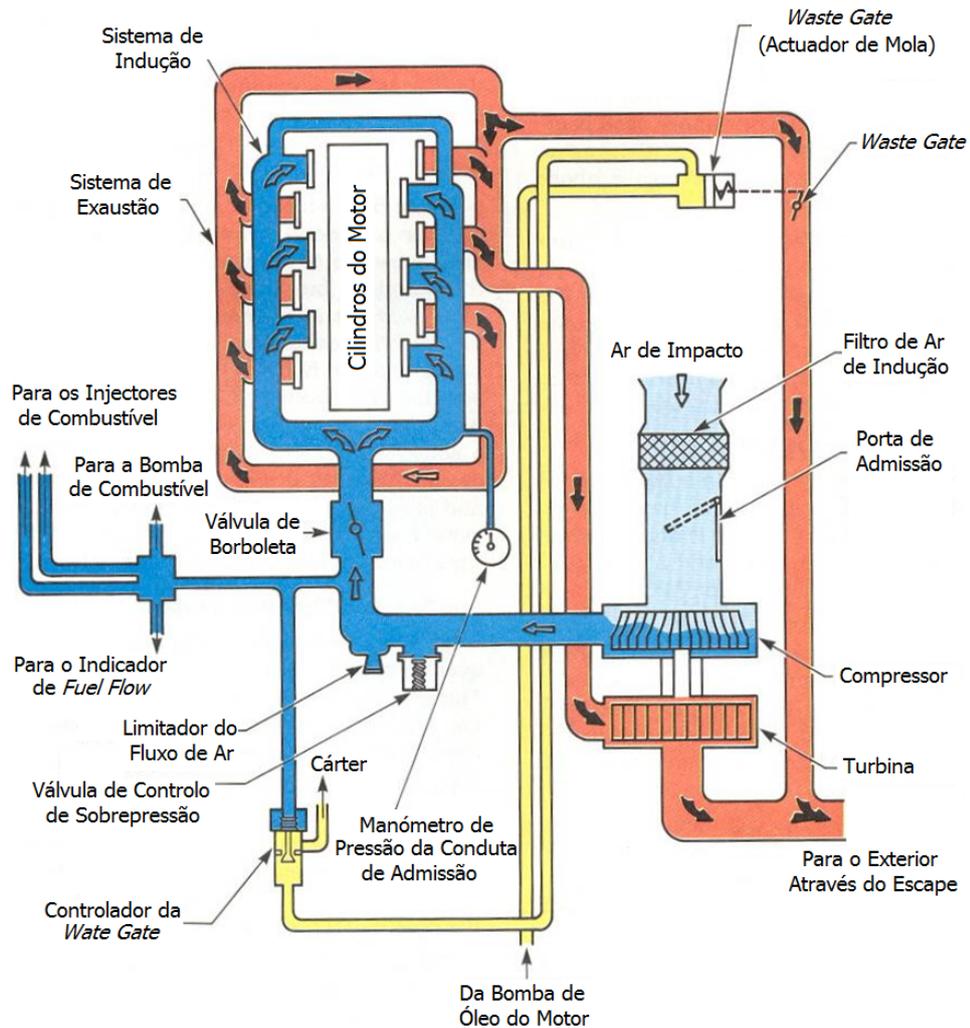


Figura 77 – Esquema de funcionamento de um motor com turbo compressor

FORMAÇÃO DE GELO

Condições atmosféricas em que a humidade relativa seja elevada (superior a 50%) e a temperatura relativamente baixa podem causar formação de gelo no sistema de admissão dos motores alternativos.

Se o motor parar devido à formação de gelo no sistema de admissão é pouco provável que se consiga o seu arranque a tempo de evitar o acidente. O reconhecimento da formação de gelo e a respectiva correcção são, deste modo, muito importantes.

Os utilizadores de motores convencionais devem entender os problemas associados a cada caso particular, mas também saber como reage o motor, uma vez o sistema de aquecimento operacional, para prevenir a formação de gelo.

Existem três tipos de formação de gelo:

- Gelo de impacto;

- Gelo de refrigeração;
- Gelo do combustível.

O gelo de impacto forma-se nos filtros de ar e nas curvas das condutas do sistema de admissão. O gelo de refrigeração forma-se nos carburadores de aspiração em resultado das baixas temperaturas provocadas pela vaporização do combustível e pela baixa pressão no difusor.

O último caso é causado pela humidade em suspensão no combustível e que estará congelada a baixas temperaturas no carburador. Esta situação contribui para a formação de gelo nas condutas de admissão e reduz a mistura para o motor.

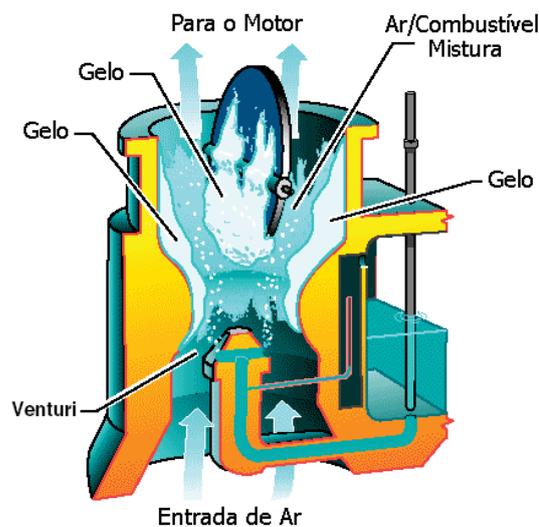


Figura 78 – Formação de gelo no *Venturi* do carburador

A indicação de formação de gelo no carburador é dada por uma queda nas rpm acompanhadas por um funcionamento irregular e por vibrações no motor. No avião com hélice de velocidade constante a indicação é dada através da queda da pressão de admissão.

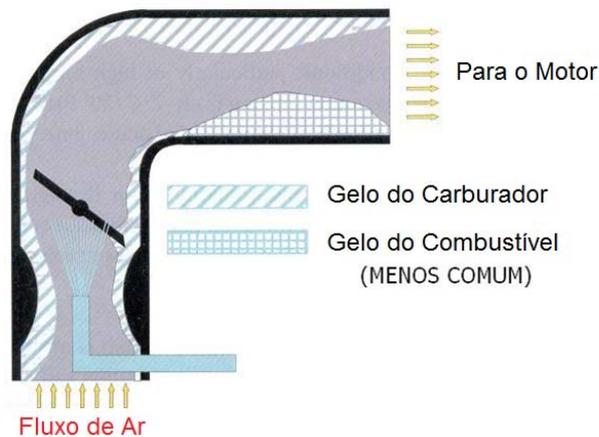
Quando existe indicação de formação de gelo, o controlo do aquecimento do carburador deverá ser seleccionado para o máximo devendo permanecer nesta posição o tempo necessário para eliminar o gelo. Durante este período o funcionamento do motor pode tornar-se irregular devido à entrada de alguma água nos cilindros proveniente da eliminação do gelo.

A formação de gelo é mais provável durante períodos longos de voo a potência reduzida como, por exemplo, durante uma descida prolongada em que existe uma diminuição gradual da temperatura do motor e da eficiência do sistema de ar quente.

Para ajudar a manter a temperatura do motor e providenciar uma fonte de calor suficiente para derreter qualquer gelo que se possa formar, é necessário aumentar periodicamente a potência, a intervalos entre 500 a 1000 ft, durante a descida.

A formação de gelo no carburador pode ocorrer também durante o *taxying*. Deve ser seleccionado o ar quente antes de seleccionada a potência de *take off*, para limpar qualquer gelo que possa existir, e depois seleccionar ar frio antes da abertura total da *throttle* para máxima potência e verificar as RPM e a pressão de admissão correctas.

Nos motores de injeção, embora não existam os problemas de formação de gelo no Venturi, pode existir formação de gelo noutras partes do sistema de admissão. O gelo do combustível poderá acumular-se nas curvas dos colectores do sistema de admissão e o gelo de impacto poderá formar-se nos sensores ou nos filtros de ar. O sistema de ar alternativo destes motores deverá ser seleccionado de acordo com o *check list* do avião.



Formação de gelo no Sistema de Admissão

Figura 79 – Origens do gelo formado na conduta de admissão

SISTEMAS DO MOTOR

SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

O sistema de lubrificação de um motor de aviação desempenha três funções distintas e fundamentais:

- Diminui o atrito desenvolvido entre os órgãos móveis em contacto (função lubrificadora);
- Arrefece determinados órgãos do motor que não são convenientemente refrigerados pelo sistema de arrefecimento normal (função de arrefecimento). Cerca de 10% do calor libertado pela combustão é transportado pelo óleo do sistema de lubrificação;
- Fornece óleo com pressão suficiente para o funcionamento de vários acessórios do sistema motor propulsor do avião, tais como: mecanismo hidráulico das hélices de passo variável, embraiagens das engrenagens do compressor, reguladores de pressão de admissão de mistura, etc., (função hidráulica).

PRINCÍPIOS DA LUBRIFICAÇÃO

A superfície de qualquer peça metálica, por mais polida que se apresente, oferece a um exame microscópico um aspecto mais ou menos áspero e rugoso que desenvolve atrito quando em contacto directo com outra superfície equivalente em movimento. Tendo em conta as inúmeras peças móveis que constituem o motor, o atrito por elas desenvolvido iria aumentar as resistências passivas internas, diminuir o seu rendimento mecânico e a potência efectiva, provocar o desgaste rápido de cada peça em contacto directo e o desenvolvimento de calor suficiente para levar os metais ao amolecimento superficial e à sua colagem ou "gripagem".

Com a lubrificação aderem às superfícies em movimento películas fluidas que passam a constituir partes das peças e acompanhando o seu movimento. Deste modo, uma alimentação contínua de lubrificante, interpõe uma camada fluida que escorrega entre essas películas aderentes fazendo com que as peças em movimento tenham um coeficiente de atrito muito menor.

Óleos de Lubrificação

A aptidão do óleo para manter a película lubrificante e evitar o contacto metálico depende, sobretudo, da sua viscosidade. A viscosidade mede a coesão molecular do óleo, medindo a resistência que ele oferece para escorrer. A qualidade do óleo é recomendada com base na viscosidade necessária para as cargas que tem que suporta durante a lubrificação. A escolha da viscosidade depende da velocidade, carga e temperatura de funcionamento dos órgãos de motor. Se considerarmos que o óleo em circulação no motor está sujeito às mais variadas alterações de temperatura, pressão, condensação, evaporação, centrifugação, reacções químicas, etc., podemos perceber quão delicado é o seu papel no funcionamento do motor e os cuidados que devem envolver a sua selecção, purificação e substituição periódica.

Pelas razões apontadas, a escolha do óleo de lubrificação a utilizar em cada tipo de motor tem que se

subordinar aos dados indicados pelo construtor.

As características principais dos óleos de lubrificação são:

- **Viscosidade** – propriedade dos fluidos de oferecerem resistência ao deslizamento uniforme das suas moléculas. Dá uma ideia da consistência ou espessura do produto. A viscosidade decresce com o aumento da temperatura, isto é, os líquidos tornam-se mais fluidos quando a temperatura aumenta. Existem dois sistemas “standard” utilizados em aviação que indicam a viscosidade dos óleos:
 - Society of Automotive Engineers, S.A.E.
 - Saybolt Universal.

Ambos os sistemas utilizam números para a indicação da viscosidade. Quanto mais baixo for o número menos viscoso é o óleo. A aptidão do óleo para manter a película lubrificante e evitar o contacto metálico entre as peças depende, sobretudo, da sua viscosidade.

Existem óleos, denominados “*Multi Grade Oils*”, com dois valores de viscosidade, por exemplo, S.A.E. 15W/50. Estes valores indicam as características da viscosidade do óleo a baixa e a alta temperatura.

- **Índice de viscosidade** – Permite conhecer a variação relativa da viscosidade com a temperatura.

Outras propriedades dos óleos de lubrificação são:

- **Densidade** – Relação entre o peso de um certo volume de óleo e o peso de igual volume de água;
- **Ponto de inflamação** – É a temperatura mais baixa a que o óleo liberta vapores que podem ser inflamados por contacto com uma chama;
- **Ponto de combustão** – É a temperatura mais baixa a que os gases, libertados pelo óleo e inflamados por uma chama, continuam a arder, mesmo depois de esta ser afastada;
- **Ponto de congelação** – É a temperatura mínima a que um óleo ainda se pode escoar pela acção do seu próprio peso;
- **Resíduo carbonoso** – É o resíduo deixado pelo óleo depois da sua destilação destrutiva.

REQUISITOS DO SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

O sistema de lubrificação de um motor de avião deve satisfazer um conjunto de requisitos, nomeadamente:

- Conter um volume de óleo suficiente para as exigências da lubrificação do motor garantindo, sem abastecimento, o funcionamento normal durante o tempo permitido pela reserva de combustível do avião. Em regra, a capacidade do depósito de óleo é de 1 galão por cada 20 galões de combustível.
- Garantir uma alimentação ou débito de óleo suficiente para que se mantenha a película lubrificante

entre as peças móveis do motor, em quaisquer circunstâncias de carga e velocidade;

- Garantir uma alimentação contínua de óleo, a uma pressão de 50 a 80 PSI, às chumaceiras da cambota (veio de manivelas) e ao veio de ressaltos (comes) de modo a garantir a integridade da película lubrificante e o transporte do calor nelas gerado. A alimentação de óleo nestas condições impõe a existência de uma bomba de lubrificação ou bomba de óleo;
- O óleo, enquanto circula no motor, está sujeito à carbonização, oxidação, formação de gomas e à contaminação por partículas metálicas sendo necessários filtros retentores que garantem mecanicamente a pureza do óleo;
- Existência de um dispositivo refrigerador que absorva o calor transportado pelo óleo durante a sua acção de lubrificação;
- Existência de um sistema de indicação de pressão e de temperatura do óleo;
- Existência de um sistema ventilador do cárter, aberto para a atmosfera, a fim de evitar sobrepressões no interior do cárter resultantes da formação de gases e vapores provenientes do aquecimento do óleo, fugas pelos segmentos dos êmbolos, etc.

TIPO DE SISTEMA

O sistema mais corrente de lubrificação dos motores de automóvel transporta uma reserva de óleo no cárter (tipo característico de lubrificação com depósito no cárter). A bomba aspira o óleo do cárter e envia-o para o veio de manivelas, veio de ressaltos, carretos de distribuição, comando das válvulas, etc. Após exercer as funções lubrificadora e de arrefecimento, o óleo cai por gravidade para o cárter completando o circuito.

Este sistema não pode ser aplicado nos motores de avião pelas seguintes razões:

- Existem motores com cilindros a um nível mais baixos do que o cárter, motores em linha invertida, em V invertido e cilindros inferiores dos motores em estrela;
- O motor está sujeito a inclinações nas subidas, voltas, picadas, etc., que levariam a derramar o óleo para fora do cárter e para dentro dos próprios cilindros;
- Sendo uma das funções do óleo de lubrificação o arrefecimento do motor (transporte de calor) é necessário um sistema de refrigeração apropriado, ou uma reserva de óleo no cárter incompatível com os motores de avião

Pelas razões apontadas, o sistema adoptado nos motores de avião é um sistema de lubrificação de cárter seco. Este sistema mantém a reserva de óleo num depósito separado e emprega um ou mais poços no cárter do motor para recolher o óleo que escorre da lubrificação do motor.

Os principais órgãos do sistema de lubrificação normalmente utilizado em motores convencionais instalados em aeronaves são os seguintes, figura 80:

- Depósito;

- Bomba de pressão;
- Válvula reguladora de pressão;
- Bomba de recuperação;
- Refrigerador de óleo;
- Válvula termostática;
- Indicador de pressão de óleo;
- Indicador de temperatura de óleo;
- Filtros;
- Tubagens de óleo.

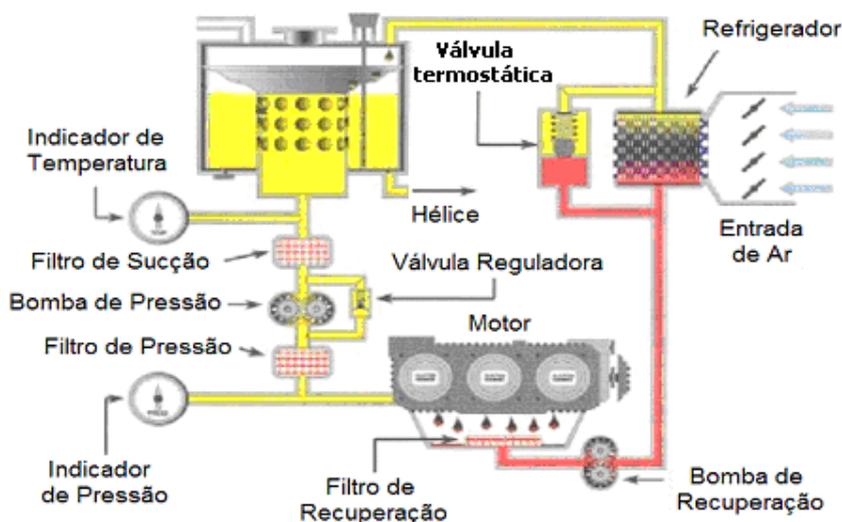


Figura 80 – Esquema de um sistema de lubrificação

Depósito de óleo – O depósito de óleo é normalmente construído de alumínio ou de borracha (*self-sealing*) e tem como finalidade manter uma reserva de óleo capaz de suprimir as necessidades de consumo do motor, de acordo com a autonomia do avião. A capacidade total do depósito deve suportar um volume de óleo superior àquele que o motor consome durante o tempo gasto a consumir o combustível máximo que o avião pode transportar, e ainda um espaço superior vazio destinado a permitir o aumento de volume do óleo durante o seu aquecimento e a acumulação de espuma que se possa formar em consequência da entrada no depósito do fluido recuperado do motor.

Bomba de pressão e válvula reguladora de pressão – A bomba de pressão, normalmente do tipo “de carretos”, é accionada pelo motor e está instalada na secção de acessórios. Tem como função aspirar do depósito o óleo necessário à alimentação do circuito de lubrificação. Tem associada uma válvula reguladora de pressão, figura 81, que limita a pressão a um valor máximo pré-estabelecido. Quando a

pressão à saída da bomba excede o valor para o qual a válvula foi regulada, esta abre deixando passar óleo para a linha de sucção da bomba.

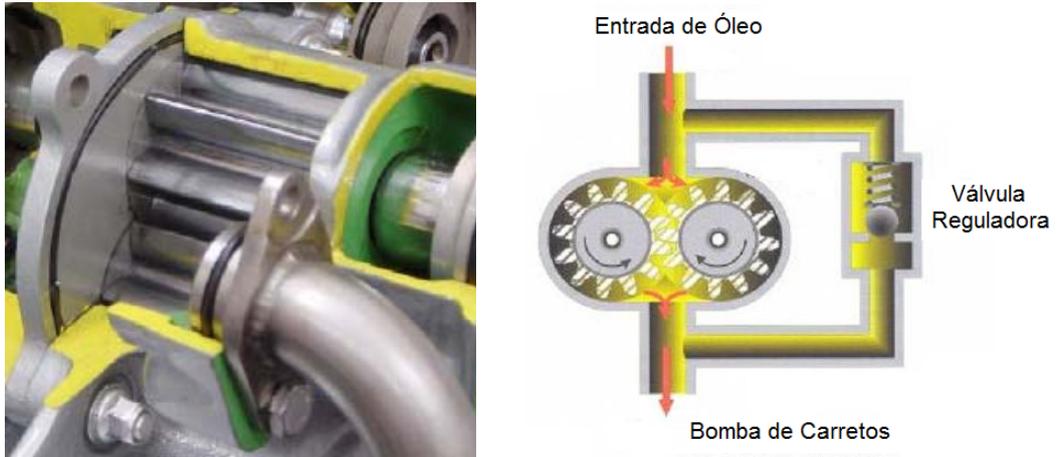


Figura 81 – Bomba de carretos e válvula reguladora e

Bomba de recuperação – Esta bomba é semelhante à bomba de pressão. Tem maior débito (cerca de 50% mais) e não inclui a válvula reguladora de pressão. A sua finalidade é a de aspirar todo o óleo que, depois de ter lubrificado as várias superfícies de atrito internas do motor, se junta num local designado por poço. Este óleo é enviado para o depósito sem necessidade de qualquer controlo de pressão. Alguns motores integram mais do que uma bomba de recuperação, dependendo do número de poços de recolha.

Refrigerador do óleo – Este componente é instalado entre a bomba de recuperação e o depósito, em local exposto ao fluxo de ar, tendo por finalidade arrefecer o óleo de lubrificação. À entrada do motor o óleo tem uma temperatura de cerca de 70° C e uma temperatura de cerca de 100° à saída. Para que as qualidades de lubrificação do óleo se mantenham, a temperatura tem que se manter na ordem dos 70° C sendo necessário o seu arrefecimento.

O refrigerador é construído de material inoxidável, normalmente latão, e funciona de modo semelhante ao de um radiador de automóvel. O agente refrigerador é o fluxo de ar que passa entre os tubos do refrigerador. Estes tubos são unidos uns aos outros apenas nos extremos, determinando entre eles uma pequena folga que permite a passagem do óleo a refrigerar.

O fluxo de ar que passa através do refrigerador, à semelhança do que acontece com a refrigeração dos cilindros do motor, pode também ser controlado por meio de uma persiana colocada na respectiva conduta. Esta persiana pode ser accionada pelo piloto, em resultado das temperaturas observadas no indicador de temperatura de óleo, ou ser controlada por um sistema automático que recebe informação da temperatura do óleo que se encaminha para o depósito.

Válvula termostática – Como já foi referido, a temperatura ideal do óleo para lubrificar o motor é de

cerca de 70° C. Uma vez que este valor de temperatura só é obtido ao fim de algum tempo de funcionamento do motor, existe a necessidade de por de parte a função do refrigerador até que o óleo atinja a referida temperatura.

No refrigerador existe uma válvula termostática que determina orienta o fluxo de óleo em função da temperatura deste. Se a temperatura for inferior a 70° C a válvula deixa passar o óleo directamente para o depósito (não é arrefecido no refrigerador). Quando a temperatura do óleo for muito superior aos 70° C a válvula força o óleo a passar na sua totalidade pelo interior do refrigerador. Entre estas duas condições, a válvula termostática tem posições intermédias que determinam quer parte do óleo passe directamente para o depósito e que outra parte passe através do refrigerador.

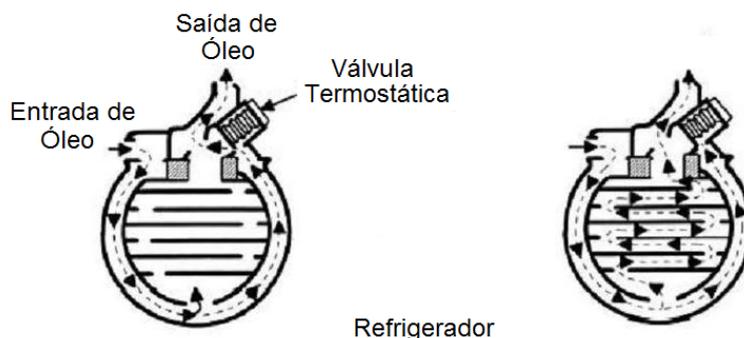


Figura 82 – Esquema de um refrigerador de óleo

A válvula tem um elemento sensível à variação de temperatura mergulhado no óleo de lubrificação. A dilatação e contracção deste elemento transmite movimento à válvula que, por sua vez, determina a secção de passagem do fluxo de óleo. Esta secção vai desde o encerramento completo até à máxima abertura da válvula, passando por posições intermédias.

Indicador de pressão – O indicador de pressão tem como finalidade dar a conhecer, a cada instante, o valor da pressão do óleo no sistema de lubrificação do motor. A pressão é lida no circuito de pressão, entre a bomba de pressão e a entrada do circuito no motor.

Em alguns aviões, o indicador de pressão recebe directamente a pressão do óleo através de uma tubagem que liga o circuito de pressão ao manómetro no painel de instrumentos da cabina. O elemento sensível à pressão é normalmente um “tubo de Bourdon” que imprime movimento a um ponteiro indicador em função do valor de pressão.

Noutros aviões o manómetro, baseado no mesmo princípio, está colocado na própria linha de pressão junto ao motor. Neste caso o movimento mecânico obtido em função da pressão do óleo é convertido num sinal eléctrico (intensidade de corrente) que é transmitido ao indicador no painel de instrumentos. O movimento do ponteiro do indicador é função da intensidade de corrente que chega ao instrumento. Este sistema tem a vantagem de garantir mais precisão nas indicações e a de não necessitar de uma tubagem de óleo entre a linha de pressão e o indicador (menor probabilidade de fugas no sistema). O indicador de

pressão de óleo é graduado em unidades de pressão, normalmente Libras por polegada quadrada (PSI) ou Quilogramas por centímetro quadrado (kg/cm^2).



Figura 83 – Indicador de pressão

Indicador de temperatura – Tem a finalidade de indicar a temperatura do óleo de lubrificação do motor. A temperatura é lida, normalmente, no circuito de alimentação da bomba de pressão. O sistema consiste num invólucro (bolbo), mergulhado no fluxo de óleo, que contém interiormente uma resistência através da qual se faz passar uma corrente eléctrica de baixa tensão. O valor da resistência varia com a temperatura a que está sujeita fazendo variar também o valor da corrente que a atravessa. O instrumento indicador de temperatura, que consiste basicamente num miliamperímetro, mede a intensidade da corrente que atravessa a resistência convertendo esse valor, normalmente através de um ponteiro indicador, em unidades de temperatura (graus Centígrados ou Fahrenheit).



Figura 84 – Indicador de temperatura

Filtros – Têm a finalidade de reter as impurezas existentes no óleo provenientes do desgaste das peças em movimento do motor (limalhas), resíduos da combustão nos cilindros, carbonização do próprio óleo de lubrificação, etc. Normalmente existe um filtro no circuito de recuperação (entre o poço e a bomba de recuperação) e outro no circuito de alimentação da bomba de pressão.

O filtro é constituído pelo corpo ou cárter e pelo elemento filtrante onde ficam retidas as impurezas. Os elementos filtrantes podem ser metálicos (rede ou metal poroso) ou em papel prensado. A dimensão das partículas até à qual a filtragem é eficiente (retenção das partículas no elemento filtrante) é denominada grau de filtragem. A unidade de medida usada vulgarmente é o micron ($0,001\text{mm}$).



Figura 85 – Elemento filtrante

Tubagens – Destinam-se a transportar o óleo entre os diferentes órgãos do sistema, nomeadamente entre o depósito e o filtro, filtro e bomba de pressão, entre esta e a entrada da linha de pressão no motor, entre a bomba de sucção e o refrigerador e entre este e o depósito. As tubagens podem ser:

- Rígidas
- Flexíveis

As tubagens rígidas são construídas normalmente de aço macio, de aço inoxidável ou em liga de alumínio. O seu acoplamento aos órgãos é feito vulgarmente por pequenas fracções de tubo de borracha (durites) apertadas com braçadeiras aos canhões desses órgãos. Este tipo de tubagens é utilizado em locais onde os níveis de vibração são baixos.

As tubagens flexíveis são utilizadas onde existem maiores níveis de vibração. Estas tubagens são construídas em borracha sintética com várias camadas de linho entrançada no interior das paredes que as formam. Para circuitos que requerem mais segurança é utilizada também, a envolver a borracha, uma trança metálica que confere à tubagem maior resistência às pressões internas e garante a continuidade electrostática entre os órgãos ligados pela tubagem.

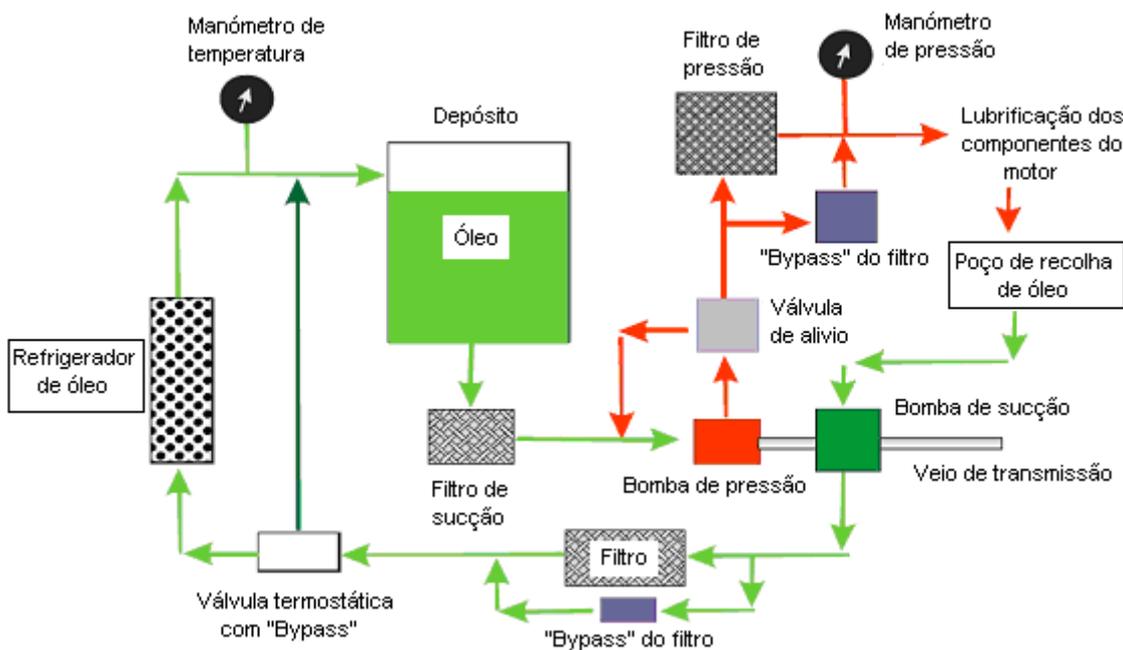


Figura 86 – Sistema de lubrificação tipo cárter seco

SISTEMA DE IGNIÇÃO

INTRODUÇÃO

Para que uma combustão tenha lugar têm que estar reunidas três condições: existência de combustível, existência de oxigénio (presente no ar atmosférico) e ainda um sistema de ignição que inicie a inflamação ou condições de pressão e temperatura que provoquem a auto-inflamação (caso dos motores diesel).

O motor de explosão a gasolina necessita de um sistema de ignição que funcione durante todo o tempo de funcionamento do motor. O motor de reacção (turbina de gás) necessita de um sistema de ignição apenas para o arranque

OBTENÇÃO DA INFLAMAÇÃO

O método existente para que se obtenha a inflamação dentro das câmaras dos motores convencionais e dos motores de reacção (apenas no arranque) baseia-se na produção duma faísca eléctrica entre os eléctrodos duma vela. Para que tal facto ocorra há necessidade de uma corrente eléctrica de alta tensão capaz de, no momento oportuno, desprender-se de um eléctrodo para o outro formando um arco eléctrico.

A corrente de alta tensão é obtida a partir da existência de corrente de baixa tensão acumulada numa bateria ou gerada por um magneto.

Nos sistemas de ignição dos motores alternativos aplicados em aeronáutica são utilizados unicamente os magnetos. Nos motores de reacção são utilizadas bobines de transformação a partir da corrente de baixa tensão do sistema eléctrico de bordo.

A utilização dos magnetos tem associado um sistema de transformação por indução e ainda um sistema de distribuição devidamente conjugado com o movimento alternativo dos êmbolos, de acordo com o ciclo do motor. O arco eléctrico na vela de cada cilindro ocorre sempre que estejam presentes as condições necessárias à combustão (mistura combustível/ar quase no máximo da compressão).



Figura 87 – Magneto

MAGNETOS

Antes de ser analisado o funcionamento do magneto serão referidos os seus principais componentes e respectivas funções.

Constituição do Magneto de Baixa Tensão

O magneto de baixa tensão é essencialmente constituído pelas seguintes partes:

- **Indutor** – (figura 88) constituído por:

- **Ímã permanente** – Cria o campo magnético indutor;
- **Massas polares** – Destinadas a concentrarem as linhas de força do campo magnético.
- **Induzido ou armadura** – Este componente é constituído por, figura 88:
 - **Núcleo** – Formado por um conjunto de lâminas de ferro doce isoladas umas das outras;
 - **Enrolamento** – Em fio de cobre esmaltado colocado na cavidade do núcleo.

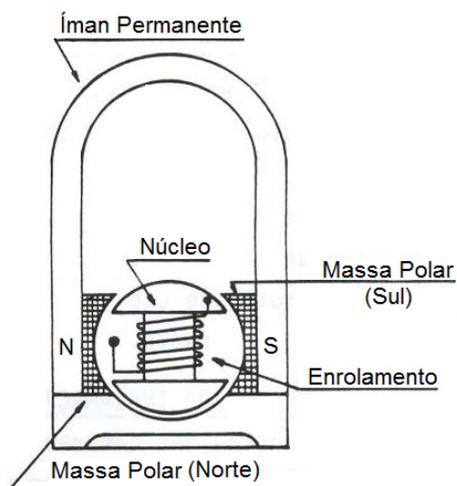


Figura 88 – Esquema constitutivo de um electroímã

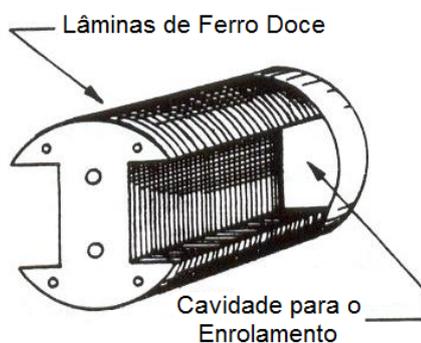


Figura 89 – Elemento interior do rotor (núcleo)

Funcionamento do Magneto

O magneto de baixa tensão é um gerador que apenas difere do dínamo (gerador de Corrente Contínua) pelo facto de o indutor ser constituído por ímanes permanentes.

Através da figura 90 verifica-se que qualquer movimento de rotação imprimido ao núcleo do induzido provoca nas linhas de força representadas pelas setas maior ou menor facilidade de escoamento através deste no sentido Norte-Sul.

Na posição 1, por exemplo, o fluxo é máximo através da cavidade do enrolamento, na posição 3 é nulo e,

na posição 5 verifica-se novamente um fluxo máximo. Existe uma variação total de fluxo em meia volta dada pelo núcleo. É justamente nas proximidades da posição 3 que a variação de fluxo é mais acentuada e que, por consequência, se induz o mais alto valor de corrente eléctrica no enrolamento que envolve o núcleo. Esta corrente, como se pode observar no gráfico que representa os vários valores obtidos em meia volta do núcleo, manifesta-se com o máximo de força electromotriz (F.E.M.) exactamente na posição 3 e com um máximo de intensidade um pouco retardada em relação à F.E.M. por efeito da auto indução do próprio enrolamento.

Na prática, fazendo rodar à mão o núcleo do magneto, a máxima variação de fluxo (máxima F.E.M.) é revelada por uma certa resistência ao movimento que ocorre nas proximidades da posição 3.

Do movimento contínuo imprimido ao núcleo resulta uma corrente alternada com dois valores máximos de F.E.M. em cada volta completa. Os valores máximos de F.E.M. não querem dizer alta tensão. Na realidade o magneto gera apenas corrente de baixa tensão.

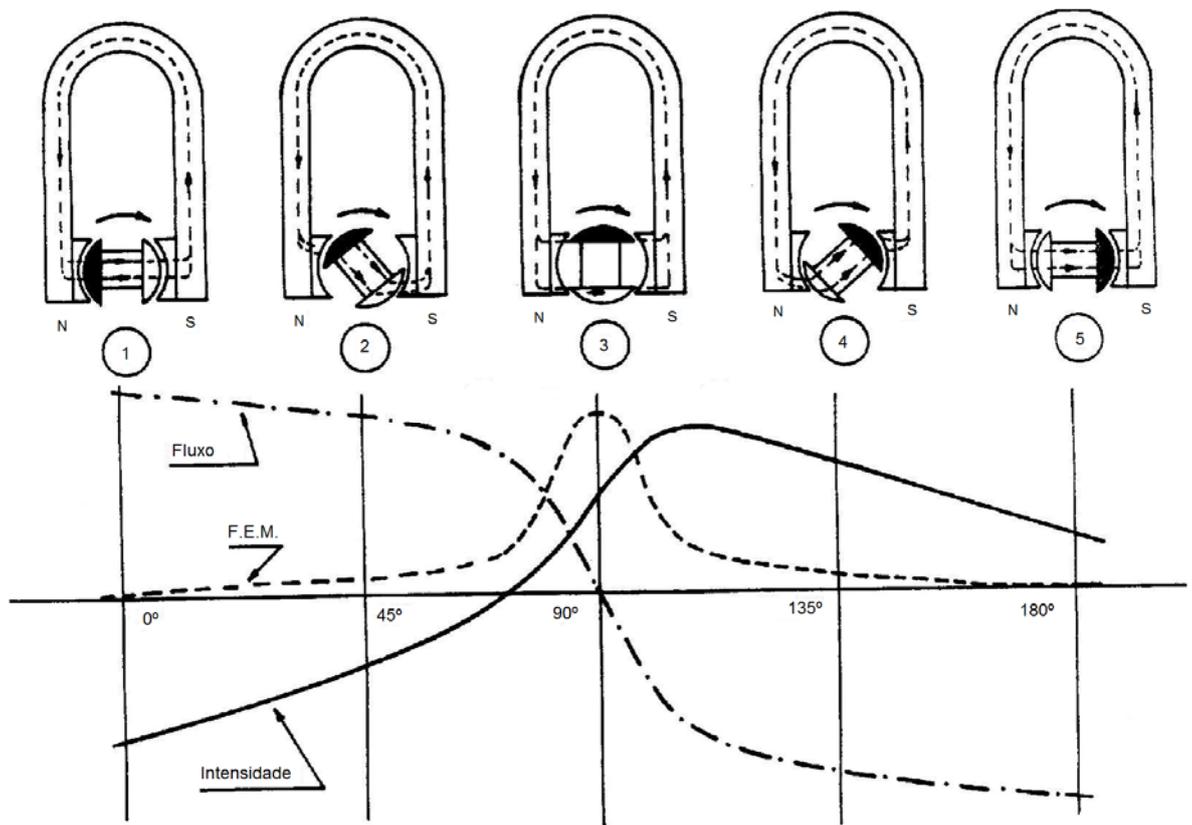


Figura 90 – Variação da Força Electro Motriz em função da posição do rotor

Obtenção da Corrente de Alta Tensão

A corrente de alta tensão necessária à ocorrência do arco eléctrico nas velas é obtida da corrente de baixa tensão gerada pelo magneto com base no princípio de funcionamento da bobine de Rumkorff (bobine elevadora de tensão).

A figura 91 representa um esquema da bobine Rumkorf, no qual figuram um núcleo de ferro, um enrolamento primário formado dum número reduzido de espiras de fio de cobre esmaltado relativamente grosso (enrolamento primário) e, por último, um enrolamento em volta daquele formado por elevado número de espiras de fio de cobre esmaltado bastante fino (enrolamento secundário).

O fenómeno que dá origem à elevação da tensão a que o enrolamento primário está sujeito consiste na indução duma corrente no enrolamento secundário sempre que se provoque uma variação brusca no fluxo magnético criado pela corrente primária. A corrente induzida no secundário terá um valor de tensão tanto mais elevado quanto maior for o número de espiras e menor a espessura do fio que as formam. Por outro lado, esse valor será também tanto mais elevado quanto mais rápida for a variação do fluxo magnético. Deste modo, a mais rápida variação de fluxo é obtida pelo simples corte da corrente primária, isto é, um determinado valor de fluxo passará instantaneamente a zero sempre que a corrente primária cesse bruscamente.

Como foi referido, a figura 91 representa o esquema duma bobine elevadora de tensão cuja corrente primária é fornecida por uma fonte de energia de baixa tensão. No caso do magneto a corrente primária é gerada por ele próprio. O princípio de funcionamento para obtenção de alta tensão é o mesmo que se verifica na bobine Rumkorff bastando para tal envolver o enrolamento primário do magneto com um outro enrolamento secundário com as características referidas anteriormente.

A existência de um dispositivo de ruptura que possa girar com o induzido do magneto permitirá o rápido corte da corrente gerada no enrolamento primário, figura 80. O dispositivo de ruptura aplicado no magneto estudado interrompe a corrente primária duas vezes em cada volta, o que corresponde à indução duma corrente de alta tensão no enrolamento secundário duas vezes numa rotação completa.

Para que o corte da corrente primária se processe com maior rapidez é ainda colocado em paralelo nesse circuito um condensador cuja finalidade principal é a de reduzir quanto possível o arco eléctrico que se forma entre os contactos (platinados) no momento da ruptura.

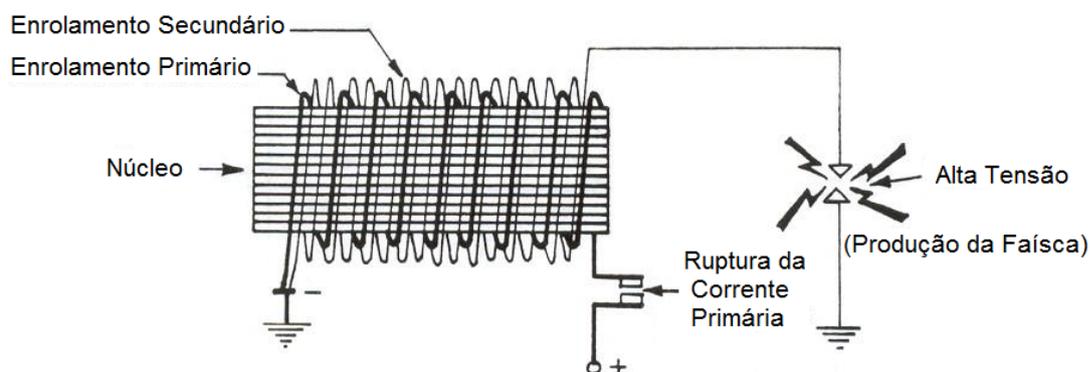


Figura 91 – Enrolamentos constituintes da bobine

Distribuição da Corrente de Alta Tensão

Por mais cilindros que o motor alternativo possua, não existem combustões simultâneas. É necessário distribuir a corrente de alta tensão de acordo com as fases finais de compressão que vão ocorrendo sucessivamente nos cilindros (um pouco antes de os êmbolos atingirem o ponto morto superior). O dispositivo de distribuição, designado por distribuidor, consiste numa caixa circular construída de material isolante provida de um número de contactos igual ao número de cilindros do motor do motor, figura 82.

A corrente de alta tensão é captada através de uma escova que fricciona um anel metálico que gira com o induzido e que se encontra ligado a uma das pontas do enrolamento secundário. Deste modo a corrente de alta tensão induzida num enrolamento que gira juntamente com o induzido está presente num ponto fixo do magneto de modo a ser conduzida até ao eléctrodo central do distribuidor.

O movimento dado ao eléctrodo central, obtido através de engrenagens a partir do movimento do induzido, dá origem a uma distribuição da corrente de alta tensão pelos vários contactos. No exemplo da figura 92, na qual se mostra um distribuidor de um motor de seis cilindros, a desmultiplicação entre o veio do induzido e o veio do eléctrodo central (também designado por caneta distribuidora) é de 3 para 1 uma vez que é necessária uma volta completa do eléctrodo para que todos os cilindros sofram uma combustão.

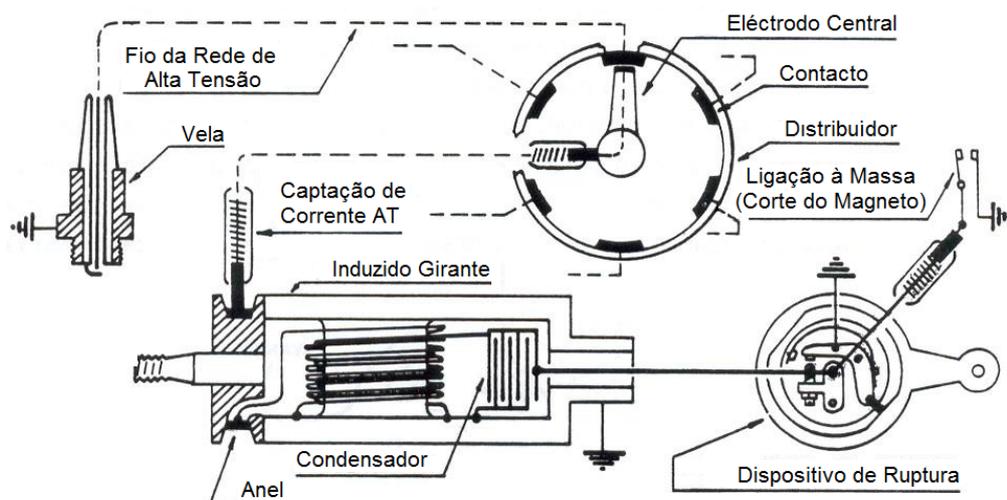


Figura 92 – Sistema de distribuição

Métodos Auxiliares de Arranque

Durante o arranque a velocidade do magneto não produz energia suficiente para provocar a ignição da mistura. É necessária a utilização de métodos auxiliares que provoquem um aumento de energia nas velas. Um dos métodos consiste no fornecimento de sucessivos impulsos eléctricos de alta voltagem ao rotor do distribuidor. Outro método consiste no fornecimento de baixa voltagem ao primário do magneto durante a sequência de arranque. Este aumento de energia do primário permite a operação normal do magneto.

Teste de Magnetos

Por questões de segurança, nos motores aeronáuticos existem duas velas por cilindro. O motor possui dois magnetos fornecendo cada um deles corrente a uma das velas de cada cilindro. O teste de magnetos tem a finalidade de verificar o correcto funcionamento das velas e dos magnetos. Consiste em desligar um magneto de cada vez e em verificar a queda de rpm do motor, devendo esta queda acontecer dentro de limites indicados pelo fabricante.

Quando se desliga um dos magnetos, a queda de rpm do motor é devida ao aumento do tempo de combustão da mistura dentro dos cilindros.

COMBUSTÍVEIS

INTRODUÇÃO

Designam-se por combustíveis todas as substâncias que ao serem queimadas libertam grande quantidade de calor. Em máquinas térmicas podem ser utilizados combustíveis:

- Sólidos;
- Líquidos;
- Gasosos.

Os combustíveis sólidos não têm aplicação directa nos motores actuais. Têm que ser em primeiro lugar gaseificados em transformadores especiais (gasogénio) donde, depois de purificados e arrefecidos, são enviados para o motor. Este combustível, de emprego vulgar em instalações fixas, só em circunstâncias anormais é empregue nos automóveis devido às dificuldades do seu transporte, armazenagem e ao seu grande peso. Tiveram alguma utilização durante a Segunda Guerra Mundial nos países onde se sentiu a falta de combustíveis habituais. Então, transformava-se madeira, carvão mineral ou vegetal em gás pobre, por destilação ou combustão incompleta nos gasogénios. A potência obtida com estes gases, devido ao seu baixo poder calorífico, era 25% a 30% mais baixa que a obtida com a gasolina. Entre os combustíveis sólidos consideram-se:

- Naturais: madeira, carvões, hulha, lenhite e turfa;
- Artificiais: carvão de madeira, gorduras sólidas (parafinas, sebos, etc.);

E nos combustíveis gasosos:

- Naturais: metano, gás natural;
- Artificiais: hidrogénio, acetileno, gás de iluminação, gás dos altos-fornos ou gás pobre, gás de água.

O hidrogénio seria o combustível ideal para motores de explosão, dado o elevadíssimo poder calorífico (cerca de 30 000 kcal/kg) se não fosse tão cara a sua fabricação e tão difícil o seu armazenamento. Devido ao pequeno peso, teria que ser transportado fortemente comprimido, solução perigosa, ou no estado líquido, o que é dispendioso.

O acetileno é não só de produção dispendiosa mas também de manipulação perigosa. Quanto aos outros gases, nota-se um abaixamento do poder calorífico e subsistem os problemas de fabricação, armazenamento e transporte. O gás dos altos-fornos ou gás pobre, possui poder calorífico muito baixo (cerca de 1000 kcal/m³) aumentando-se, muitas vezes, a sua riqueza pela adição de vapor de água o qual dissociado pelo carvão ao rubro, dá origem a hidrogénio livre. Chama-se então gás de água.

Quanto aos combustíveis líquidos, diremos que neles estão incluídos os de utilização normal nos motores de

explosão e, particularmente, nos de aviação. A maioria destes combustíveis é de origem mineral e constituídos por derivados de petróleo bruto. Contudo, é possível a utilização de óleos vegetais (azeites, óleos de palmeira, de rícino, etc.), depois de convenientemente neutralizados, em motores que funcionam segundo o ciclo de diesel.

Os combustíveis líquidos podem dividir-se em:

- Naturais: petróleo bruto e óleos brutos;
- Artificiais: gasolinas naturais ou sintéticas, gás-oil, fuel-oil, éteres, benzol, álcoois e suas misturas.

Com base nas suas características físicas, principalmente na volatilidade, é costume ordená-los em:

- Carburantes ou essências;
- Óleos ou naftas.

Carburantes – Neste grupo incluem-se os combustíveis líquidos mais voláteis, em geral menos densos, de mais fácil vaporização no ar atmosférico susceptíveis de com ele formarem misturas homogêneas capazes de arder rapidamente desde que os componentes estejam nas devidas proporções. É esta propriedade que torna possível o emprego dos carburantes de sucção.

Óleos ou naftas – Compreendem os combustíveis menos voláteis ou mais pesados.

DESTILAÇÃO FRACCIONADA DOS PETRÓLEOS NATURAIS

Nesta operação, realizada em instalações especiais (refinarias), libertam-se por aquecimento, primeiro os produtos mais voláteis, que se vaporizam a temperaturas inferiores, e, por último, os menos voláteis. Por meio de condensação são recuperados os produtos vaporizados. Estes são fundamentalmente constituídos por hidrocarbonetos de quase todos os tipos. Os que se libertam até 40°C não se condensam à pressão atmosférica e por isso não são considerados.

Dos 40° aos 70°C obtêm-se os éteres de petróleo de baixa densidade (0,65) e de grande poder calorífico, 13 000 kcal/kg. Entre os 60° e 160° C libertam-se os hidrocarbonetos que constituem gasolinas de boa qualidade (poder calorífico médio de 11 000 kcal/kg e densidade de 0,75). Entre 160° e 280° C tem-se gasolina de qualidade inferior e petróleos refinados. O produto remanescente, conhecido por mazute, pode ser empregue nas máquinas de combustão externa.

Pelo mesmo processo são obtidos, entre 280° e 320° C, ao gás-oil e óleo Diesel (poder calorífico 10 000 a 10 500 kcal/kg e densidades 0,80 a 0,85). Até aos 360° C podem obter-se óleos de lubrificação (densidade 0,85 a 0,95).

Como último produto de destilação obtêm-se a vaselina ou parafina. Este produto residual é muitas vezes misturado com óleos pesados (gás-oil e óleos Diesel) para formar um combustível usado em caldeiras e conhecido por fuel-oil, astaki, ou nafta. O mesmo produto residual contém hidrocarbonetos pesados ou

pouco voláteis, os quais, tratados por métodos particulares, decomposição a temperaturas elevadas, reacções químicas, aquecimento em presença de catalizadores ou hidrogenação "*Cracking*" são transformados em hidrocarbonetos voláteis.

Estes processos conseguiram duplicar a produção de gasolina obtida dos petróleos brutos. Enquanto que inicialmente, de 100 bidões de petróleo bruto só eram obtidos 20 de gasolina, o "*Cracking*" elevou a produção para 45.

A não existência de petróleo nalguns países levou os investigadores a procurarem métodos de obtenção de gasolinas sintéticas a partir de óleos vegetais, por meio de catalisação desidratantes, ou pela hidrogenação dos alcatrões derivados da turfa, hulha e lenhite, ou directamente da hulha, e também pelo tratamento do gás de água.

GASOLINAS

São constituídas por misturas de hidrocarbonetos. Pelas suas características gerais de volatilidade (em todas as condições de temperatura) homogeneidade, poder calorífico elevado e resistência à detonação, a gasolina é o combustível mais usado nos motores de explosão, principalmente em aeronáutica. Tais características garantem aos motores:

- Facilidade de arranque mesmo a baixas temperaturas;
- Facilidade de aceleração;
- Segurança e regularidade de funcionamento do motor em todos os regimes;
- Baixo consumo;
- Rendimento elevado.

GASOLINA PARA AVIAÇÃO

A gasolina para aviação deve possuir um certo número de propriedades, fornecidas pelo produtor no quadro de especificação. Destas, as principais são:

- Curva de volatilidade;
- Pureza;
- Índice de octana;
- Poder calorífico.

CURVA DE VOLATILIDADE

A curva de volatilidade (curva de destilação) relaciona a percentagem de gasolina que se vai evaporando com o aumento da temperatura. Foram fixadas certas percentagens e respectivas temperaturas por definirem pontos característicos da curva. Esses pontos são, figura 93:

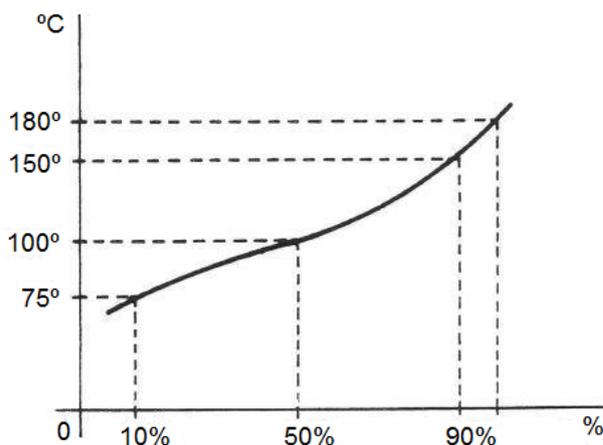


Figura 93 – Curva de volatilidade da gasolina

Ponto 10% – Por indicar a percentagem de produtos mais voláteis, está ligado à facilidade de arranque em qualquer motor. A temperatura anda à volta de 75° C.

Ponto 50% – Característico de homogeneidade e combustão da gasolina. A temperatura correspondente não deve afastar-se dos 100° C.

Ponto 90% – Indica a qualidade de gasolina mais pesada que pode ser carburada (queimada em boas condições). A temperatura é de cerca de 150° C.

Ponto final – Mostra que a gasolina não se vaporiza normalmente. Tais resíduos produzem fumos que, imperfeitamente queimados, passam pelos segmentos e se dissolvem no óleo de lubrificação alterando-lhe as propriedades. A temperatura é de cerca de 180° C.

PUREZA

Esta propriedade diz respeito à ausência de matérias estranhas como a água, poeira, enxofre, resinas, etc.:

- **Enxofre.** É um elemento muito corrosivo, especialmente sobre peças de cobre e latão. A vaporização de gasolina sobre chapas polidas de cobre não deve deixar manchas;
- **Resinas.** Formam gomas que se depositam nas tubagens de gasolina, torneiras, válvulas, etc. Os produtores costumam juntar às gasolinas substâncias que evitam a formação de resinas;
- **Acidez.** Deve ser evitada e verifica-se com metil-orange, não devendo dar origem a precipitados vermelhos.

ÍNDICE DE OCTANA

Define o poder anti detonante da gasolina, ou seja, a capacidade de suportar compressões elevadas. Se o índice de octanas for baixo é pobre o poder anti-detonante e aparecerá no motor a detonação.

De entre os hidrocarbonetos, o heptano é o mais detonante e o iso-octano o menos detonante. Estabeleceu-

se uma escala em que o poder anti detonante do heptano é de zero e o do iso-octano é de 100. Ao misturar-se iso-octano com heptano obtém-se um poder anti detonante compreendido entre zero e cem cujo valor depende da percentagem de iso-octano na mistura. Convencionou-se ainda definir o poder anti detonante pela percentagem, em volume, de iso-octano que entra na mistura, chamando-se a esse número índice de octana. Isto é, a mistura formada por 80% de iso-octano e por 20% de heptano tem no índice de octana 80.

Para determinar o índice de octana de outra gasolina utiliza-se um motor mono cilíndrico especial cuja câmara de compressão é de volume variável, mesmo em funcionamento. Posto o motor a trabalhar com a gasolina a ensaiar, vai-se aumentando a taxa de compressão até começar a aparecer a detonação. Fixando então esta taxa de compressão, utilizam-se depois misturas de heptano e iso-octano de vários tipos, aos mesmos regimes do motor, até encontrar a que se comporte de forma idêntica. A percentagem de iso-octano nesta mistura dá o índice de octana da gasolina ensaiada.

PODER CALORÍFICO

É uma propriedade importante, pois o consumo de combustível para a mesma potência é tanto menor quanto maior for o poder calorífico. O seu valor oscila entre 10.500 e 11.000 kcal/kg.

Há ainda outras propriedades de certa importância, como tensão de vapor, peso específico, ponto de congelação, calor latente de vaporização, origem, etc.

A diminuição de pressão atmosférica favorece a formação de vapores que podem ser perigosos por poderem interromper a alimentação normal do motor ("vapor lock").

O peso específico tem uma importância relativa, dizendo respeito às quantidades de gasolina que podem ser transportadas e, portanto, à autonomia do voo.

O ponto de congelação interessa em aviação não só pelas temperaturas extremas encontradas em altitude, mas principalmente, pela possibilidade de operação e de estacionamento prolongado em climas frios. Não deve exceder -50° a -60°C .

O calor latente de vaporização não deve ser demasiadamente alto para facilitar as condições de vaporização e não produzir abaixamentos excessivos de temperatura nos carburadores, favoráveis à formação de gelo.

A origem ganha importância pelo facto de variarem as composições dos petróleos naturais com as regiões onde são extraídas, variando com elas muitas das propriedades acima descritas.

COMPOSIÇÃO DAS GASOLINAS

Inicialmente, as gasolinas obtidas exclusivamente pela destilação fraccionada dos petróleos brutos tinham um índice de octana baixo, oscilando entre 40 a 60.

Notando-se já durante a 1ª Guerra Mundial que a origem tinha influência naqueles valores, começaram a ser analisadas e verificou-se que, conforme a região produtora, assim predominam os hidrocarbonetos:

- **Aromáticos** – Com maior poder anti-detonante, mas menor poder calorífico;
- **Nafténios** – De elevado poder calorífico, mas com tendência para a formação de gomas;
- **Asfálticos** – de bom poder anti-detonante, mas com tendência para formação de gomas.

Foram então misturadas nas proporções mais convenientes gasolinas de destilação fraccionada de origens diversas. Deste modo foi possível conseguir gasolinas com índices de octana da ordem dos 74.

O interesse dos construtores de motores em aumentarem as taxas de compressão levou-os a estudar o problema da detonação. Tendo concluído que a detonação resultava da combustão rapidíssima de gases ainda não queimados nos cilindros, começaram a admitir que a utilização de substâncias solúveis de cor negra, absorvendo o calor de radiação, evitariam aquele fenómeno quando adicionadas à gasolina. Procuraram tais substâncias e obtiveram um primeiro êxito com a iodine, mas tal hipótese caiu por terra quando um pouco mais tarde conseguiram um produto mais solúvel, de cor negra, cujo efeito era nulo. Posta de lado a ideia de produtos de cor negra, começaram a experimentar outros produtos. Acabaram por descobrir algumas substâncias notáveis, das quais a mais importante é o tetraetilo de chumbo.

Embora fosse desconhecido o papel do tetraetilo de chumbo na combustão, a adição de percentagens mínimas deste produto às gasolinas de destilação fraccionada, fez subir para valores de 87 e 91 os índices de octana.

Paralelamente a estas descobertas havia a necessidade de se aumentar a produção de gasolina tendo surgido os métodos de *Cracking* já citados. As gasolinas de *Cracking* possuíam um índice de octana bastante elevado, chegando a atingir 70 a 75 octanas, podendo este valor ser aumentado com a adição de tetraetilo de chumbo.

Como desvantagem, as gasolinas de *Cracking* apresentavam tendência para a formação de resinas ou gomas, formação de produtos carbonosos e fumo. Devidamente misturadas com gasolinas obtidas pela destilação directa vieram a formar a maioria das gasolinas para automóveis. Durante a 2ª Guerra Mundial começaram a ser aproveitados os gases naturais libertados nos terrenos petrolíferos. Por seu lado, as destilarias criaram novos processos de desintegração catalítica "Houdry Themofor", os quais não só destilam os produtos mais voláteis dos óleos minerais como alteram a sua constituição química. Com este processo obtêm-se gasolinas de grande poder anti detonante. Por métodos de polimerização, produzem-se compostos da família do iso-octano. Para tal são reunidos e tratados convenientemente alguns gases naturais com outros resultantes da destilação do petróleo. Desta forma são conseguidos o codimer, da família do iso-octano, e o alquilato, ambos com mais de 90 octanas.

De outros gases do petróleo e do benzol deriva o cumeno com mais de 100 octanas. O iso-octano é pouco usado nas gasolinas devido ao baixo ponto de ebulição e ao seu elevado custo. É substituído pelos três produtos atrás referidos que, doseados em misturas com gasolina de destilação catalítica e de destilação directa do tetraetilo de chumbo, formam as gasolinas de aviação de 100 octanas. É natural que novos métodos tenham sido descobertos para aumentar o poder anti detonante das gasolinas actuais, cujo índice

de octana atinge valores de 145, mas que são mantidos secretos.

O poder anti-detonante das gasolinas pode ser expresso através de dois números, *performance number*. O índice mais baixo (número menor) diz respeito ao poder anti-detonante nos regimes de baixa potência do motor e o índice mais alto (número maior) diz respeito ao poder anti-detonante nos regimes potência elevadas. Exemplo, *performance number* 80/87, 100/130.

As gasolinas utilizadas nos motores alternativos de avião têm os seguintes graus e *performance numbers*:

Grau	Performance Number	Cor	Densidade	Teor de chumbo
AVGAS 80	80/87	Vermelha	0.72	Muito baixo
AVGAS 100	100/130	Verde	0.72	Alto
AVGAS 100 LL	100/130	Azul	0.72	Baixo

Existem já motores alternativos tipo diesel que utilizam o mesmo combustível dos motores de turbina. Este combustível é o AVTUR, "Aviation Kerosene".

O AVTUR é uma mistura de hidrocarbonetos pesados destilado a partir de óleo mineral. À semelhança do AVGAS, também pode ter diferentes graus:

- ***JET B*** – É uma mistura de gasolina e querosene nas proporções 30% e 70%, respectivamente, sendo apenas utilizado em locais de baixas temperaturas como o Canadá e o Alasca devido à sua qualidade de baixo ponto de congelação;
- ***JET A*** – Combustível normalmente utilizado em voos domésticos nos USA devido ao seu relativo baixo custo;
- ***JET A1*** – Combustível desenvolvido para voos a grande altitude. É o combustível utilizado na aviação militar.

BIBLIOGRAFIA

Oxford Aviation – *Powerplant* – Publicações Jeppesen Gmbh, Frankfurter, 2001;

Jeppesen – *Powerplant* – Publicações Jeppesen Gmbh, Frankfurter, 2004;

MDSINST 144-15 – *Propulsão Vol I* – Direcção do Serviço de Instrução, 1977.

LISTA DE PÁGINAS EM VIGOR

PÁGINAS	EM VIGOR
Capa (Verso em branco)	ORIGINAL
Carta de promulgação (Verso em branco)	ORIGINAL
Registo de alterações (Verso em branco)	ORIGINAL
1 (Verso em branco)	ORIGINAL
3 a 6	ORIGINAL
7 (Verso em branco)	ORIGINAL
9 a 80	ORIGINAL
81 (Verso em branco)	ORIGINAL
83 a 102	ORIGINAL
103 (Verso em branco)	ORIGINAL
105 (Verso em branco)	ORIGINAL
LPV-1 (Verso em branco)	ORIGINAL