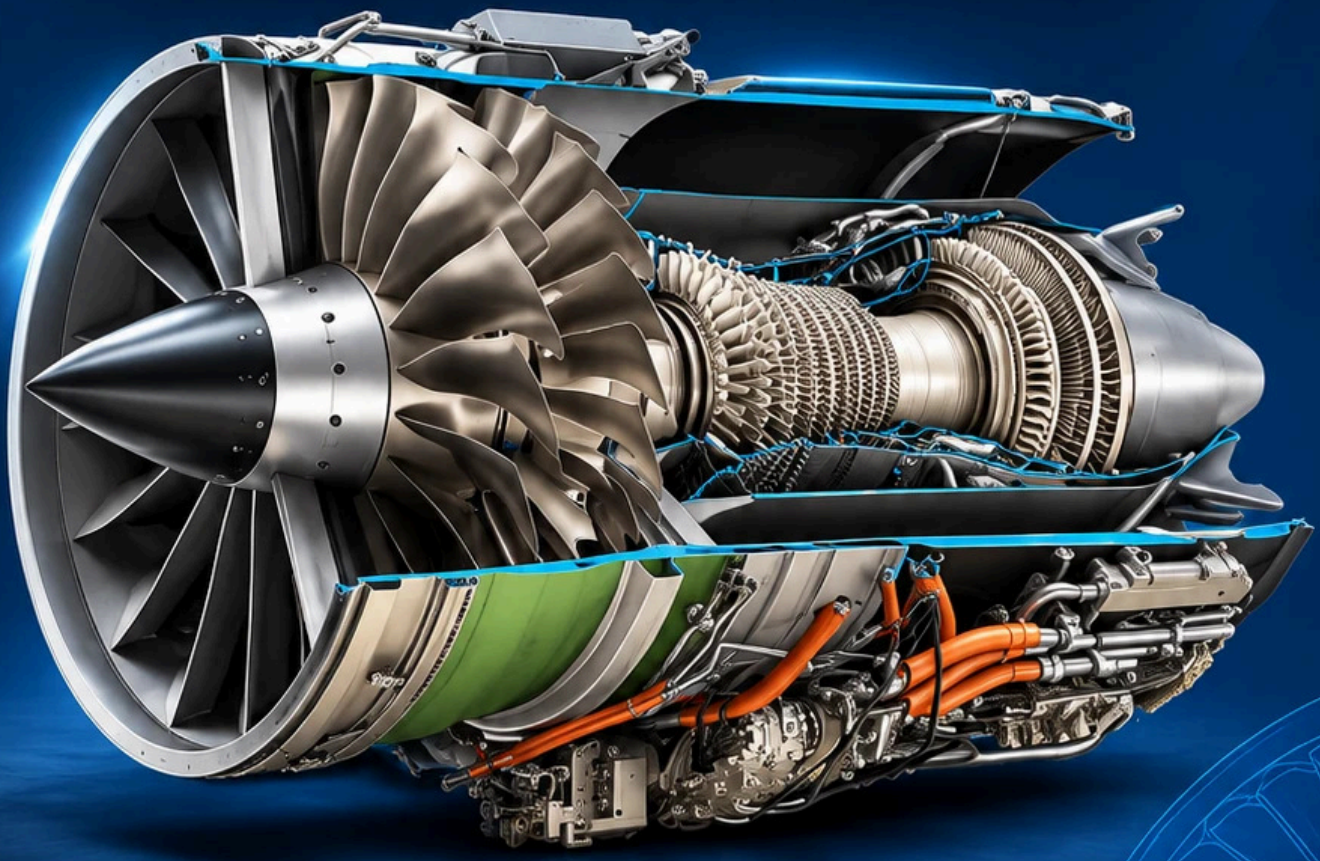
GMP 1

RESUMO

BANCA ANAC/FGV

Resumo completo do que você realmente precisa saber para banca ANAC/FGV.



GMP TURBO - FOCADO NA ANAC/FGV

Sumário

◆ Índice de figuras 3

01 Teoria e Construção de Motores 5

02 Sistemas de Admissão e Escapamento versão completa

03 Sistema de Combustível versão completa

04 Sistema de Ignição e Elétrico versão completa

05 Sistema de Partida versão completa

Como ler esta apostila:

> **MAIS COBRADO**
> Tudo o que está nesta apostila pode ser cobrado na prova. Os quadros MAIS COBRADO marcam os tópicos que mais se repetem nas provas ANAC/FGV: revise-os primeiro, sem deixar de lado o restante.

> Notas como esta, em cinza, registram quando a apostila oficial antiga traz um dado diferente do adotado aqui.

Índice de figuras

01 · Teoria e Construção de Motores

01	Eixo de manivelas: munhão, moente, braço e contrapesos	11
02	Pistão: anéis, pino, tipos e formatos de cabeça	14
03	Conjunto do cilindro em corte	16
04	Numeração dos cilindros e ordem de fogo	18
05	Mecanismo de válvulas do motor de cilindros opostos	22
06	Ciclo de quatro tempos	27
07	Razão de compressão: PMI, PMS e volumes	30
08	Seções do motor turbojato	35
09	Compressor centrífugo: impulsor, difusor e coletor	38
10	Compressor axial: rotor e estator	40

02 · Sistemas de Admissão e Escapamento

11	Sistema de admissão do motor a pistão	versão completa
12	Os três tipos de gelo na admissão	versão completa
13	Turboalimentador em corte	versão completa
14	Pontos de inspeção do sistema de escapamento	versão completa
15	Supressores de ruído: corrugado e multitubular	versão completa

03 · Sistema de Combustível

16	Bomba de palhetas com eliminador de vapor	versão completa
17	Princípio do venturi	versão completa
18	Carburador de boia	versão completa
19	Carburador de pressão: unidade reguladora (câmaras A a E)	versão completa
20	Controle automático de mistura	versão completa
21	Aquecedor de combustível	versão completa
22	Filtro de combustível com válvula de desvio (bypass)	versão completa

04 · Sistema de Ignição e Elétrico

23	Magneto em corte	versão completa
24	Ímã rotativo: capacidade plena e posição neutra	versão completa
25	Platinado sem articulação	versão completa
26	Distribuidor e ordem de ignição do radial de 9 cilindros	versão completa
27	Chave de ignição em OFF aterrando o primário	versão completa
28	Acoplamento de impulso	versão completa

29 Luz de sincronismo dos magnetos versão completa
30 Sistema de ignição capacitivo da turbina versão completa

05 · Sistema de Partida
31 Arranque de inércia (manual e elétrico) versão completa
32 Sequência de partida do motor a turbina (rpm × EGT) versão completa
33 Arranque a ar (turbina de ar) em corte versão completa

CAPÍTULO 1

Teoria e Construção de Motores

CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE MOTORES

Para que uma aeronave permaneça em voo e com velocidade constante, deve existir um EMPUXO IGUAL E EM DIREÇÃO OPOSTA AO ARRASTO AERODINÂMICO dessa aeronave. Esse empuxo ou força propulsora é fornecido por um motor térmico adequado.

> MAIS COBRADO
>
> Todos os motores térmicos têm em comum a capacidade de CONVERTER ENERGIA CALORÍFICA EM ENERGIA MECÂNICA, por meio do fluxo de uma massa de fluido através desse motor.

O ar é o principal fluido utilizado para propulsão em todos os tipos de motores, exceto foguetes, nos quais apenas subprodutos da combustão são acelerados e deslocados. O FOGUETE TRANSPORTA SEU PRÓPRIO OXIDANTE, ao invés de utilizar o ar ambiente para a combustão; por isso, funciona sem captar ar atmosférico.

Os MOTORES TÉRMICOS são divididos em grupos ou tipos dependendo:

- do **FLUIDO DE TRABALHO** utilizado no ciclo do motor;
- dos MEIOS PELOS QUAIS A ENERGIA MECÂNICA É TRANSFORMADA EM FORÇA DE PROPULSÃO;
- do **MÉTODO DE COMPRESSÃO** do fluido de trabalho do motor.

São estes os métodos básicos de compressão:

- COMPRESSOR À TURBINA (MOTOR À TURBINA);
- DESLOCAMENTO POSITIVO, COMPRESSOR TIPO PISTÃO (MOTOR ALTERNATIVO);
- AR DE IMPACTO DEVIDO À VELOCIDADE DE VOO (ESTATO-REATOR)
- AUMENTO DA PRESSÃO DEVIDO À COMBUSTÃO (PULSO JATO E FOGUETE).

PULSOJATO (pulse-jet): motor de reação que respira ar, usado durante a Segunda Guerra Mundial para impulsionar mísseis. O combustível é pulverizado na câmara de combustão e inflamado; o ar aquecido se expande, fecha a válvula unidirecional de persiana na frente do motor e sai pelo bocal traseiro. O empuxo é produzido EM UMA SÉRIE DE PULSOS: a queima é INTERMITENTE.

PULSO JATO (PULSORREATOR) VALVULADO: na partida com o motor parado, o SUPRIMENTO INICIAL DE AR, o COMBUSTÍVEL pulverizado na câmara e a IGNIÇÃO POR CENTELHA estabelecem a combustão inicial. Assim que a PRESSÃO NA CÂMARA DIMINUI com a saída dos gases, a VÁLVULA DE PERSIANA se reabre e entra ar novo. Depois da partida, os GASES QUENTES REMANESCENTES da combustão anterior inflamam as cargas seguintes, sem necessidade da centelha.

MAIS COBRADO

O rendimento útil de todo motor de aeronave é o empuxo, a força que impele a aeronave. Sendo a potência do motor alternativo medida em BHP (cavalo força ao freio), e a potência do motor de turbina a gás medida em THP (cavalo força de empuxo), que varia com a velocidade da aeronave, não é prático comparar as duas em base de potência.

> a apostila IAC traz "medida em libras de empuxo"

Se desejado, o empuxo de um motor de turbina a gás pode ser convertido em THP (cavalo força de empuxo).

Um cavalo-força é igual a 33.000 lb pé por minuto ou 375 libras-milha por hora.

Raramente um motor é mantido à potência máxima por mais de 2 minutos, e usualmente nem atinge esse tempo. Em OPERAÇÃO PROLONGADA, devem ser respeitados os LIMITES DE POTÊNCIA E RPM AUTORIZADOS PARA OPERAÇÃO CONTÍNUA (POTÊNCIA MÁXIMA CONTÍNUA), além dos limites de temperatura e pressão do motor; a operação acima desses limites é limitada em tempo.

O PARÂMETRO BÁSICO para descrever a economia de combustível de motores aeronáuticos é, geralmente, O CONSUMO ESPECÍFICO.

O consumo específico equivalente é utilizado para motores turboélices e é o fluxo em libras por hora dividido pela equivalente potência no eixo.

À baixa velocidade, os motores alternativos e turboélices têm melhor economia que os MOTORES TURBOJATOS.

CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO E OPERAÇÃO

Todos os motores de aeronaves devem obedecer às EXIGÊNCIAS GERAIS DE EFICIÊNCIA, ECONOMIA E CONFIABILIDADE. O motor deve ser capaz de prover ALTA POTÊNCIA DE SAÍDA DE FORMA SUSTENTADA, SEM SACRIFÍCIO DA CONFIABILIDADE.

MAIS COBRADO

PESO ESPECÍFICO DO MOTOR É O PESO DO MOTOR POR BHP; SE ELE DIMINUI, A CARGA ÚTIL E O DESEMPENHO DA AERONAVE AUMENTAM.

DURABILIDADE e CONFIABILIDADE são geralmente consideradas fatores idênticos, uma vez que é difícil mencionar um sem incluir o outro.

Um motor de aeronave é confiável quando pode manter seu desempenho dentro de uma classificação específica, em variações amplas de atitudes de voo, sob condições atmosféricas extremas.

MAIS COBRADO

DURABILIDADE É O TEMPO DE VIDA DO MOTOR, enquanto mantém a confiabilidade desejada.

MAIS COBRADO

O TBO (INTERVALO ENTRE REVISÕES) varia com as condições de operação do motor, tais como temperaturas, duração do tempo em que o motor é operado em alta potência e manutenção recebida. Os TBOs recomendados são especificados pelo FABRICANTE DO MOTOR.

CONFIABILIDADE E DURABILIDADE são, dessa forma, CRIADAS NO MOTOR POR SEU FABRICANTE, porém a confiabilidade continuada desse motor é determinada pela manutenção, revisão geral e pessoal operador.

- **REVISÃO GERAL** (MAJOR OVERHAUL): COMPLETA DESMONTAGEM, limpeza e inspeção do motor, com reparo ou troca de todas as peças que não atendem às especificações do fabricante.
- **HSI** (HOT SECTION INSPECTION, INSPEÇÃO DA SEÇÃO QUENTE): alguns motores a turbina são removidos antes de atingir suas horas-limite para essa inspeção. A SEÇÃO QUENTE é a parte do motor a turbina que trabalha em alta temperatura: seções de combustão, turbina e escapamento.

MAIS COBRADO

FLEXIBILIDADE DE OPERAÇÃO é a capacidade de um motor funcionar suavemente e apresentar o desempenho desejado a cada regime de operação, desde a marcha lenta até a potência máxima.

Para que haja linhas de fluxo apropriadas e balanceamento da aeronave, a forma e o tamanho do motor têm que ser tão compactos quanto possível.

Para aeronaves cujas **VELOCIDADES DE CRUZEIRO NÃO EXCEDERÃO** 250 M.P.H., o motor alternativo é a escolha usual.

Quando é requerida economia em alcance de baixa velocidade, o motor alternativo convencional é escolhido devido à sua excelente eficiência. Quando é requerido um desempenho em grandes altitudes, o motor alternativo com turbocompressor pode ser escolhido devido à capacidade de manter a potência homologada para grandes altitudes (acima de 30.000 pés).

Para alcançar **VELOCIDADES DE CRUZEIRO DE** 180 ATÉ 350 M.P.H., o motor turboélice apresenta muito bom desempenho e desenvolve mais potência por libra de peso que o motor alternativo.

> a apostila IAC traz "melhor desempenho que o apresentado por outros tipos de motores"

MAIS COBRADO

Motores turboélice operam de forma **MAIS ECONÔMICA A GRANDES ALTITUDES,** porém eles têm um teto de serviço ligeiramente inferior ao dos motores alternativos com turbocompressor. Aeronaves que pretendam operar entre ALTAS VELOCIDADES SUBSÔNICAS E MACH 2.0 são equipadas com MOTORES TURBOJATOS.

Quanto ao **TIPO,** os principais motores aeronáuticos são: CONVENCIONAL (alternativo), TURBOÉLICE, TURBOJATO e TURBOFAN. Monomotor, bimotor, trimotor e quadrimotor indicam o NÚMERO DE MOTORES da aeronave, não o tipo de motor.

ARQUITETURA E COMPONENTES DE MOTORES ALTERNATIVOS

Os **MOTORES ALTERNATIVOS** são classificados de acordo com a MONTAGEM DOS CILINDROS EM RELAÇÃO AO EIXO DE MANIVELAS (em linha, em V, radial e opostos) ou de acordo com o MÉTODO DE REFRIGERAÇÃO (a líquido ou a ar).

Nos **MOTORES REFRIGERADOS A AR,** essa transferência de calor é feita diretamente dos CILINDROS PARA O AR. Nos motores refrigerados a líquido, o calor é transferido dos cilindros para o refrigerante, o qual é então enviado através de tubulações e resfriado dentro do radiador, instalado no fluxo de ar.

Um **MOTOR EM LINHA** tem geralmente um número par de cilindros, muito embora alguns motores de 3 cilindros já tenham sido construídos. Esses motores podem ser refrigerados a líquido ou a ar e têm somente um eixo de manivelas, o qual está localizado abaixo ou acima dos cilindros.

Os motores em linha têm maior **RAZÃO PESO-CAVALO-FORÇA** que muitos outros motores. O motor em linha tem PEQUENA ÁREA FRONTAL e é mais bem adaptado à carenagem (ao fluxo de ar); montado com os cilindros na posição invertida, oferece ainda TREM DE POUSO MAIS CURTO e MAIOR VISIBILIDADE PARA O PILOTO.

MOTORES OPOSTOS OU TIPO "O": têm duas carreiras de cilindros diretamente opostos, com eixo de manivelas no centro. Ele é geralmente montado com os cilindros na posição horizontal. Embora possa ser refrigerado a líquido ou a ar, a VERSÃO REFRIGERADA A AR é a usada PREDOMINANTEMENTE EM AVIAÇÃO. O motor oposto tem BAIXA RAZÃO PESO/CAVALO-FORÇA, SILHUETA ESTREITA (ideal para instalação horizontal nas asas, em bimotores) e BAIXA VIBRAÇÃO.

> a apostila IAC traz "horizontal ou vertical"

MAIS COBRADO

NOS MOTORES EM "V" os cilindros são montados em duas carreiras em linha, geralmente a 60º. A maioria dos motores tem 12 cilindros, os quais são refrigerados a líquido ou a ar. Esses motores são designados por um V seguido de um traço e do DESLOCAMENTO DO PISTÃO (cilindrada) EM POLEGADAS CÚBICAS: por exemplo, V-1710.

Os **MOTORES RADIAIS** consistem de uma carreira ou carreiras de cilindros dispostos ao redor de um cárter central.

> MAIS COBRADO
>
> **O NÚMERO DE CILINDROS** que compõem uma carreira pode ser TRÊS, CINCO, SETE OU NOVE. Alguns motores radiais têm DUAS CARREIRAS DE SETE OU NOVE CILINDROS dispostos ao redor do cárter, uma na frente da outra (radiais de dupla carreira). Um tipo de motor radial tem QUATRO CARREIRAS COM SETE CILINDROS EM CADA, num total de 28 CILINDROS.

A potência produzida pelos diferentes **TAMANHOS DE MOTORES RADIAIS** varia de 100 a 3800 cavalos-força.

As **PEÇAS BÁSICAS DE UM MOTOR SÃO O CÁRTER,** os cilindros, os pistões, as bielas, o mecanismo de comando de válvulas e o eixo de manivelas. Na cabeça de cada cilindro estão as válvulas e as velas.

A BASE DE UM MOTOR É O SEU CÁRTER. Ele contém os MANCAIS nos quais o eixo de manivelas se apoia. Além de autossustentar-se, o cárter deve prover um recipiente para o óleo de lubrificação e tem que apoiar diversos mecanismos externos e internos do motor.

LIGAS DE ALUMÍNIO, FUNDIDAS OU FORJADAS, são geralmente usadas na construção de cárter devido à sua leveza e resistência. Cárteres de aço forjado são utilizados em alguns motores de alta potência.

Uma **SEÇÃO DE NARIZ CÔNICA** é utilizada frequentemente em motores de baixa potência de acionamento direto, porque não é requerido espaço extra para alojar as engrenagens de redução da hélice. Em geral, as seções do nariz são CÔNICAS OU ARREDONDADAS, de forma a MANTER O METAL SOB TENSÃO OU COMPRESSÃO, ao invés de esforços cisalhantes.

A SEÇÃO DO NARIZ dos motores que desenvolvem de 1.000 a 2.500 hp é geralmente maior, para alojar as engrenagens de redução, e algumas vezes tem nervuras. As seções do nariz são geralmente FUNDIDAS EM LIGA DE ALUMÍNIO OU MAGNÉSIO. Em alguns dos grandes motores radiais, uma pequena câmara no fundo da seção do nariz coleta o óleo: é o CÁRTER INFERIOR ou COLETOR DE ÓLEO da seção do nariz.

> a apostila IAC traz "liga de alumínio [...] devido à sua adaptação aos processos de forjamento e suas características de absorver vibrações"

Nos motores equipados com biela mestra bipartida e eixo de manivelas tipo maciço, a seção do cárter principal ou de potência pode ser maciça, geralmente de liga de alumínio.

Essa parte do motor é comumente denominada SEÇÃO DE POTÊNCIA, porque é nela que o movimento alternativo do pistão é convertido em movimento rotativo do eixo de manivelas. Os CILINDROS são montados nessa SEÇÃO PRINCIPAL OU DE POTÊNCIA do cárter, sobre superfícies usinadas chamadas BASES DOS CILINDROS (cylinder pads).

O conjunto do berço **SUPORTA TODO O MOTOR,** incluindo a hélice e, dessa forma, é projetado para prover ampla resistência quanto a rápidas manobras ou outras cargas.

> MAIS COBRADO
> **SEÇÃO DE ACESSÓRIOS**: é provida de meios para fixação de acessórios, tais como magnetos, carburadores, bombas de combustível, óleo e vácuo, motores de partida, geradores etc. Ela prevê local de fixação também para as BOMBAS DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL e para o GERADOR DO TACÔMETRO.

Os **EIXOS DE ACIONAMENTO DE ACESSÓRIOS** são montados em buchas de bronze, localizadas nas seções difusora e traseira.

TRENS DE ENGRENAGENS, com engrenagens de dentes retos ou de dentes chanfrados, são usados em diferentes tipos de motores para acionar componentes e acessórios.

> MAIS COBRADO
> As **ENGRENAGENS DE DENTES RETOS** são utilizadas geralmente para acionar os acessórios com CARGAS MAIS PESADAS, aqueles que requerem jogo ou folga mínima no trem de engrenagens.

As **ENGRENAGENS DE DENTES CHANFRADOS** permitem posição angular de eixos principais curtos para os diversos suportes de acessórios.

Nos motores em linha e nos opostos de baixa potência, os trens de engrenagens são geralmente de MONTAGEM SIMPLES.

EIXO DE MANIVELAS E BIELAS

O EIXO DE MANIVELAS é montado em uma POSIÇÃO PARALELA AO EIXO LONGITUDINAL do cárter e é geralmente suportado por meio de um rolamento principal entre cada curso. O rolamento principal do eixo de manivelas deve ser rigidamente apoiado no cárter.

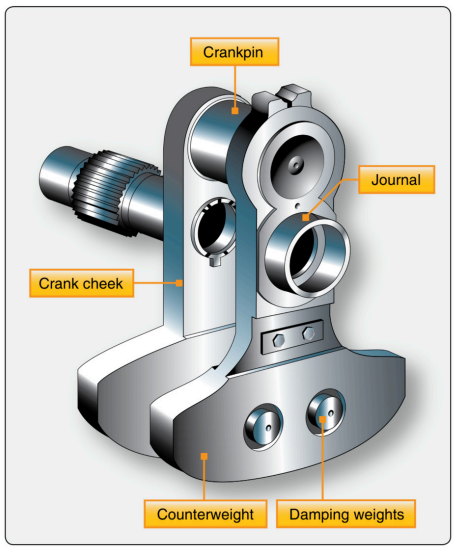
> MAIS COBRADO
> O eixo de manivelas é a **ESPINHA DORSAL DOS MOTORES ALTERNATIVOS.** Seu objetivo principal é TRANSFORMAR O MOVIMENTO ALTERNATIVO DO PISTÃO E DA BIELA EM MOVIMENTO ROTATIVO, para acionamento da hélice.

Os **EIXOS DE MANIVELAS** têm que ser muito resistentes, eles são geralmente forjados em ligas muito resistentes, tais como AÇO CROMO-NÍQUEL-MOLIBDÊNIO. Um eixo de manivelas pode ser construído em uma ou em múltiplas peças.

Os eixos de manivelas dos **MOTORES RADIAIS** podem ser DE MANIVELA ÚNICA, DUAS OU QUATRO MANIVELAS, dependendo do motor, que pode ser do tipo de uma, duas ou quatro fileiras de

cilindros.

Figura 1 — Eixo de manivelas: munhão, moente, braço e contrapesos



Em inglês	Tradução
Counterweight	Contrapeso
Crankpin	Moente
Journal	Munhão
Crank cheek	Braço de manivela
Damping weights	Pesos amortecedores

DESCRIÇÃO DIDÁTICA EM INGLÊS	TRADUÇÃO DA DESCRIÇÃO
Static balance concerns the mass distribution of the entire crankshaft assembly around its rotation axis. The counterweight helps balance that distribution. The damping weights shown are a separate feature for controlling vibration, not the definition of static balance.	O balanceamento estático se refere à distribuição de massa de todo o conjunto do eixo de manivelas ao redor de seu eixo de rotação. O contrapeso ajuda a equilibrar essa distribuição. Os pesos amortecedores mostrados são um recurso distinto para controlar vibrações, não a definição de balanceamento estático.

MAIS COBRADO

EIXO DE MANIVELAS: cada eixo tem três partes principais: MUNHÃO, MOENTE (PINO DA MANIVELA) E BRAÇO DA MANIVELA. Contrapesos e amortecedores são geralmente ligados a ele para reduzir as vibrações do motor.

O MUNHÃO é suportado por um rolamento principal e gira dentro dele.

O MOENTE é a seção à qual a biela está conectada. Ele está fora do CENTRO DO MUNHÃO principal e é comumente chamado de manivela.

A superfície externa é endurecida por **NITRURAÇÃO** para aumentar sua resistência ao desgaste e prover a superfície de contato do rolamento. O MOENTE É GERALMENTE OCO: isso REDUZ O PESO TOTAL do eixo de manivelas e proporciona PASSAGEM PARA A TRANSFERÊNCIA DO ÓLEO DE LUBRIFICAÇÃO.

Nos motores antigos, o **MOENTE OCO** também servia como uma câmara para coleta de borra, depósitos de carbono e outras matérias estranhas; com o uso de óleos dispersantes sem cinzas, os motores mais novos não usam mais câmaras de borra.

O BRAÇO DA MANIVELA CONECTA O MOENTE AO MUNHÃO PRINCIPAL. Em alguns projetos, ele se estende além do munhão e LEVA UM CONTRAPESO PARA BALANCEAR O EIXO DE MANIVELAS: as vibrações causadas pelas MASSAS EXCÊNTRICAS são equilibradas pelos CONTRAPESOS.

O eixo de manivelas mais simples é exatamente o DE MANIVELA ÚNICA OU DE 360º. Esse tipo é usado em motores radiais de uma só carreira de cilindros.

O eixo de **DUPLA MANIVELA OU** 180º é utilizado nos motores radiais de duas carreiras de cilindros.

Eixos de manivelas são **BALANCEADOS ESTÁTICA E DINAMICAMENTE.**

Um eixo de manivelas está estaticamente balanceado quando o peso de todo o conjunto de moentes, braço da manivela e contrapesos está balanceado em volta do eixo de rotação.

Um eixo de manivelas está dinamicamente balanceado, quando todas as forças criadas pela sua rotação e impulsões estão balanceadas entre si, de maneira que pouca ou nenhuma vibração é produzida quando o motor está funcionando.

> MAIS COBRADO
> Para **REDUZIR AO MÍNIMO A VIBRAÇÃO** durante o funcionamento do motor, amortecedores dinâmicos são incorporados ao eixo de manivelas.

A construção do amortecedor dinâmico utilizado em um motor consiste de um CONTRAPESO DE AÇO COM RANHURAS, conectado ao braço da manivela.

> MAIS COBRADO
> As **BIELAS** são elos que TRANSMITEM FORÇAS entre o PISTÃO e o EIXO DE MANIVELAS. Trabalhando em conjunto com o eixo de manivelas, as BIELAS TRANSFORMAM O MOVIMENTO DE VAIVÉM DOS PISTÕES EM ROTAÇÃO DO EIXO DE MANIVELAS.

Existem QUATRO TIPOS DE BIELAS:

> a apostila IAC traz três

- TIPO PLANA
- TIPO FORQUILHA E PÁ
- BIELA MESTRA E ARTICULADA
- TIPO BIPARTIDA

> MAIS COBRADO
> O CONJUNTO DE BIELA MESTRA E ARTICULADA é comumente usado em MOTORES RADIAIS.

Em um **MOTOR RADIAL,** o pistão de um cilindro em cada carreira é conectado ao eixo de manivelas por meio da BIELA MESTRA. O conjunto de cilindros cujos pistões estão ligados à MESMA BIELA

MESTRA (uma carreira) chama-se ESTRELA.

> a apostila IAC traz "cilindro número um"

Em um **MOTOR DE** 18 CILINDROS, o qual tem duas carreiras, existem duas bielas mestras e 16 bielas articuladas. As articuladas são fabricadas em liga de aço forjadas, com seção reta na forma de I ou H.

A BIELA MESTRA serve como articulação de ligação entre o pino do pistão e o moente.

Quando um eixo de manivelas dos tipos FENDA CANELADA OU FENDA EM BRAÇADEIRA é empregado, é utilizada uma BIELA MESTRA DO TIPO INTEIRIÇA.

Os **PINOS DE ARTICULAÇÃO** são de construção sólida, exceto quanto às passagens de óleo usinadas nos pinos, através das quais são lubrificadas as buchas.

> MAIS COBRADO
>
> **BIELA PLANA**: As bielas são usadas nos motores opostos e em linha.

Para manter o **BALANCEAMENTO E A FOLGA APROPRIADOS,** as bielas devem sempre ser reinstaladas no mesmo cilindro e na mesma posição relativa.

> MAIS COBRADO
>
> **BIELA TIPO FORQUILHA E PÁ**: é um conjunto usado principalmente nos MOTORES TIPO EM V.
>
> > a apostila IAC traz "inicialmente"; FAA 2012: pouco usado nos motores modernos

PISTÕES E ANÉIS

O PISTÃO de um MOTOR ALTERNATIVO é uma peça cilíndrica que SE MOVE PARA BAIXO e PARA CIMA dentro de um cilindro de aço.

Conforme o pistão se **MOVE PARA BAIXO NO CILINDRO,** ele ASPIRA A MISTURA AR/COMBUSTÍVEL. Na medida em que ele se MOVE PARA CIMA, COMPRIME A CARGA, ocorre a ignição e os gases em expansão forçam o pistão para baixo. Essa força é transmitida para o eixo de manivelas através da biela.

No GOLPE DE RETORNO, o PISTÃO FORÇA OS GASES DE ESCAPAMENTO PARA FORA do cilindro.

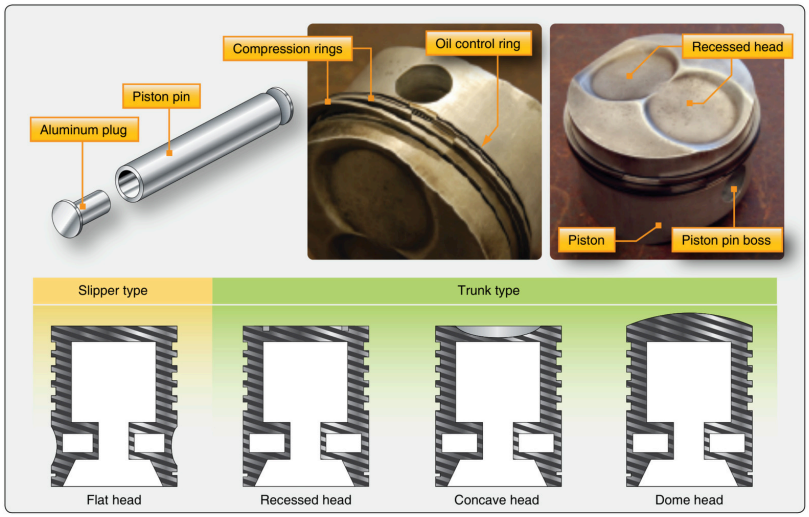
A maioria dos pistões de motores de aeronaves é usinada de FORJAMENTOS DE LIGA DE ALUMÍNIO. A liga de alumínio é LEVE e BOA CONDUTORA DE CALOR. ALETAS DE REFRIGERAÇÃO na parte interna do pistão aumentam a TRANSFERÊNCIA DE CALOR PARA O ÓLEO do motor.

> MAIS COBRADO
>
> OS PISTÕES PODEM SER DO TIPO SAPATA OU ÊMBOLO.

A face superior do pistão, ou cabeça, pode ser PLANA, CONVEXA OU CÔNCAVA.

ATÉ SEIS RANHURAS podem ser usinadas em volta do pistão para acomodar os ANÉIS DE COMPRESSÃO e de ÓLEO.

Figura 2 — Pistão: anéis, pino, tipos e formatos de cabeça



Em inglês	Tradução
Compression rings	Anéis de compressão
Oil control ring	Anel de controle de óleo
Piston pin	Pino do pistão
Aluminum plug	Bujão de alumínio
Recessed head	Cabeça rebaixada
Piston	Pistão
Piston pin boss	Ressalto do pino do pistão
Slipper type	Tipo de saia reduzida
Trunk type	Tipo de saia integral
Flat head	Cabeça plana
Concave head	Cabeça côncava
Dome head	Cabeça abaulada

DESCRIÇÃO DIDÁTICA EM INGLÊS	TRADUÇÃO DA DESCRIÇÃO
Compression rings are installed below the piston head to limit combustion-gas leakage. Oil control rings regulate the oil film; the scraper ring described in the manual helps prevent excessive oil consumption. Their functions must not be confused.	Os anéis de compressão ficam abaixo da cabeça do pistão para limitar a fuga de gases de combustão. Os anéis de controle de óleo regulam a película lubrificante; o anel raspador descrito no manual ajuda a evitar consumo excessivo de óleo. Suas funções não devem ser confundidas.

Os **ANÉIS DE COMPRESSÃO** estão instalados nas TRÊS RANHURAS SUPERIORES, os anéis de controle de óleo estão instalados imediatamente acima do pino do pistão.

Um **ANEL RASPADOR DE ÓLEO** está instalado na BASE DA PAREDE DO PISTÃO OU SAIA, para evitar o consumo excessivo de óleo.

> MAIS COBRADO
>
> **O PINO DO PISTÃO UNE O PISTÃO À BIELA.** É usinado na forma de tubo, de aço-níquel, forjado, CEMENTADO e retificado.

Os pinos do pistão usados nos motores de aeronaves modernas são do tipo completamente FLUTUANTE, assim chamado porque O PINO ESTÁ LIVRE PARA GIRAR NOS MANCAIS, tanto do pistão quanto da biela.

> MAIS COBRADO
>
> Os **ANÉIS DE SEGMENTO EVITAM O VAZAMENTO DE GASES SOB PRESSÃO** e reduzem ao mínimo a INFILTRAÇÃO DE ÓLEO na câmara de combustão.

A maioria dos **ANÉIS DE SEGMENTO** é fabricada com FERRO FUNDIDO DE ALTOS TEORES. Seu propósito é VEDAR A FOLGA ENTRE O PISTÃO E A PAREDE DO CILINDRO, eles têm que se ajustar na parede do cilindro, o suficiente para torná-lo hermeticamente fechado. Se essa vedação falha e o VAZAMENTO DE PRESSÃO É EXCESSIVO, o cilindro NÃO DESENVOLVE TODA A SUA POTÊNCIA: anéis de segmento gastos causam PERDA DE POTÊNCIA. A FOLGA ENTRE AS PONTAS DO ANEL (folga da união) é PEQUENA e deve ser conferida, assim como a folga lateral do anel na ranhura; se a folga entre as pontas estiver apertada demais, retira-se metal das pontas do anel com uma lima.

> MAIS COBRADO
>
> **FERRO FUNDIDO CINZENTO** é frequentemente mais usado na FABRICAÇÃO DE ANÉIS DE SEGMENTO.

Em alguns motores, são usados **ANÉIS DE AÇO MACIO CROMADO** na ranhura superior de compressão, porque esses anéis resistem melhor às altas temperaturas presentes nesse ponto.

A finalidade dos anéis de compressão **É EVITAR O ESCAPAMENTO DE GASES ATRAVÉS DO PISTÃO,** durante a operação do motor. Eles são colocados nas ranhuras, imediatamente abaixo da cabeça do pistão. O TESTE DE COMPRESSÃO DOS CILINDROS determina se VÁLVULAS, ANÉIS E PISTÕES estão vedando adequadamente a câmara de combustão: compressão ABAIXO DO NORMAL indica provável perda de pressão pelas SEDES DAS VÁLVULAS, pelos ANÉIS DE SEGMENTO ou por ambos.

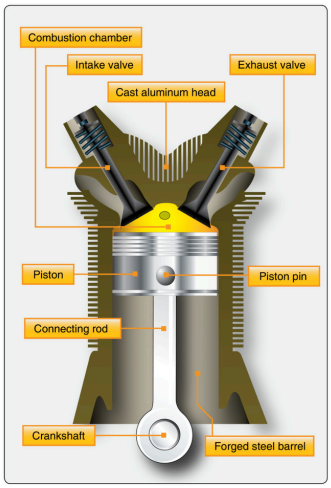
Os **ANÉIS DE CONTROLE DE ÓLEO** são colocados nas ranhuras, imediatamente abaixo dos anéis de compressão e acima das cavidades dos pinos do pistão.

Os anéis de controle de óleo regulam a ESPESSURA DO FILME DE ÓLEO sobre a parede do cilindro. Se passa óleo demais para a câmara de combustão, ele queima e deixa uma camada de CARBONO nas paredes da câmara, na cabeça do pistão, nas velas e nas cabeças das válvulas; esse carbono pode causar FALHA DAS VELAS, DETONAÇÃO, PRÉ-IGNIÇÃO ou CONSUMO EXCESSIVO DE ÓLEO.

O ANEL RASPADOR DE ÓLEO geralmente tem uma face chanfrada, e está instalado em uma ranhura no fundo da saia do pistão. Na posição reversa, o anel raspador retém o óleo em excesso acima dele, no golpe ascendente do pistão.

CILINDROS E VÁLVULAS

Figura 3 — Conjunto do cilindro em corte



Em inglês	Tradução
Connecting rod	Biela
Piston	Pistão
Piston pin	Pino do pistão
Crankshaft	Eixo de manivelas
Combustion chamber	Câmara de combustão
Intake valve	Válvula de admissão
Exhaust valve	Válvula de escapamento
Cast aluminum head	Cabeça de alumínio fundido
Forged steel barrel	Corpo de aço forjado

DESCRIÇÃO DIDÁTICA EM INGLÊS	TRADUÇÃO DA DESCRIÇÃO
The connecting rod links the piston to the crankshaft. This cutaway shows the piston pin at the small end and the crankshaft connection at the other end of the rod.	A biela liga o pistão ao eixo de manivelas. Este corte mostra o pino do pistão na extremidade menor e a ligação ao eixo de manivelas na outra extremidade da biela.

A parte do motor na qual a POTÊNCIA É DESENVOLVIDA é chamada de CILINDRO.

A CABEÇA DE CILINDRO de um motor refrigerado a ar é geralmente FEITA DE LIGA DE ALUMÍNIO, porque essa liga constitui um bom condutor de calor, e seu baixo peso reduz o peso total do motor.

Cabeças de cilindro são **FORJADAS OU FUNDIDAS SOB PRESSÃO** para maior resistência.

> MAIS COBRADO
>
> **A FORMA INTERNA DA CABEÇA DE UM CILINDRO pode ser:**

- PLANA
- SEMIESFÉRICA
- FORMA DE TELHADO

O tipo **SEMIESFÉRICO TEM SIDO SATISFATÓRIO** porque é mais forte e ajuda numa expulsão mais rápida e mais completa dos gases de escapamento.

CADA CILINDRO É UM CONJUNTO DE DUAS PARTES PRINCIPAIS:

- A CABEÇA DO CILINDRO
- O CORPO DO CILINDRO.

Alguns cilindros são construídos em **PEÇA ÚNICA,** em liga de alumínio, fundidos em areia.

> MAIS COBRADO
>
> **A FINALIDADE DA CABEÇA DO CILINDRO** é prover um lugar para a COMBUSTÃO DA MISTURA AR/COMBUSTÍVEL e dar ao cilindro maior condutividade de calor para uma adequada refrigeração.

A mistura ar/combustível é inflamada pela **CENTELHA NA CÂMARA DE COMBUSTÃO** e dá início à queima quando o pistão se desloca em direção ao ponto morto superior, no TEMPO DE COMPRESSÃO.

> a apostila IAC traz "quando o pistão passa através do ponto morto superior"

As passagens das **VÁLVULAS DE ADMISSÃO E ESCAPAMENTO** estão localizadas na cabeça do cilindro, junto com as velas e mecanismos das válvulas. Nos furos das velas, muitos motores fabricados atualmente usam ROSCAS POSTIÇAS (HELI-COIL) DE AÇO INOXIDÁVEL.

Guias de **VÁLVULAS DE BRONZE OU AÇO** são geralmente contraídas ou roscadas em aberturas usinadas na cabeça do cilindro, para prover guias para as hastes das válvulas.

> MAIS COBRADO
>
> As **SEDES DAS VÁLVULAS** são anéis circulares de metal endurecido, o qual protege o metal, relativamente macio, da cabeça do cilindro, da AÇÃO DE MARTELAMENTO DAS VÁLVULAS e dos gases de escapamento.

As **CABEÇAS DE CILINDRO** dos motores refrigerados a ar estão sujeitas a TEMPERATURAS EXTREMAS. É, portanto, necessário prover adequadas áreas com ALETAS DE REFRIGERAÇÃO e utilizar metais que CONDUZAM CALOR RAPIDAMENTE.

As grandes melhorias na refrigeração a ar têm resultado da REDUÇÃO DA ESPESSURA DAS ALETAS E DO AUMENTO DE SUAS PROFUNDIDADES. Com isso, a área das aletas tem sido aumentada de aproximadamente 1200 PARA MAIS DE 7500 POLEGADAS QUADRADAS por cilindro, nos motores modernos.

> MAIS COBRADO
>
> Aletas de refrigeração são afiladas de 0,090" NA BASE PARA 0,060" NAS PONTAS.

A região da **VÁLVULA DE ESCAPAMENTO** é a parte mais quente da superfície interna, por isso, maior área de aletas deve prover a face externa do cilindro, nessa seção.

Em geral, o corpo do cilindro, no qual o pistão trabalha, tem que ser fabricado de um MATERIAL DE ALTA RESISTÊNCIA, geralmente aço.

O corpo do cilindro é **FABRICADO DE LIGA DE AÇO FORJADO,** com a face interna endurecida para resistir ao desgaste provocado pelo pistão e pelos anéis, os quais deslizam apoiados nele. Essa superfície interna, onde o pistão e os ANÉIS DE SEGMENTO deslizam e se apoiam, é a CAMISA do cilindro; nos cilindros de peça única fundidos em areia, a camisa de aço se estende por todo o corpo do cilindro. Alguns cilindros são ESTRANGULADOS (choked) NO TOPO: o diâmetro é MENOR JUNTO À CABEÇA (câmara de combustão), para compensar a DILATAÇÃO TÉRMICA e o DESGASTE. O MAIOR DESGASTE da parede do cilindro ocorre PERTO DO TOPO, no limite superior do curso dos anéis.

> a apostila IAC traz "liga de alumínio forjado"

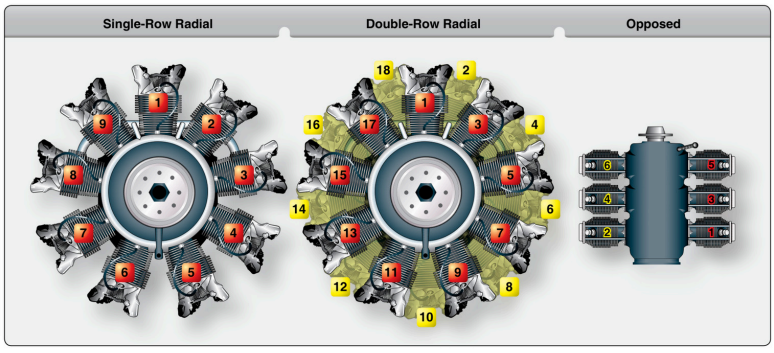
Esse endurecimento é geralmente feito, **EXPONDO-SE O AÇO À AMÔNIA OU AO CIANURETO,** enquanto ele estiver muito quente.

> **MAIS COBRADO**
>
> O aço absorve nitrogênio, o qual forma FERRO NITRURADO sobre a superfície exposta. Como resultado desse processo, O METAL PASSA A SER CHAMADO DE NITRETADO.

CILINDROS DE MOTORES RADIAIS são numerados no sentido horário quando vistos da seção de acessórios. Os cilindros dos motores em linha ou em V são conhecidos como séries direita e esquerda, quando vistos da parte dos acessórios.

Os cilindros de motores radiais com uma só carreira de cilindros são numerados no sentido horário, quando vistos da parte traseira.

Figura 4 — Numeração dos cilindros e ordem de fogo



Em inglês	Tradução
Single-row radial	Radial de uma fileira
Double-row radial	Radial de duas fileiras
Opposed	Cilindros opostos
Cylinder numbers	Números dos cilindros
Firing order	Ordem de ignição

DESCRIÇÃO DIDÁTICA EM INGLÊS	TRADUÇÃO DA DESCRIÇÃO
Cylinder numbering identifies positions; firing order identifies the sequence of power events. The sequence is selected to balance power impulses and reduce vibration. Do not assume that cylinder numbers are automatically the firing order.	A numeração dos cilindros identifica posições; a ordem de ignição identifica a sequência dos eventos de potência. Essa sequência é escolhida para equilibrar os impulsos e reduzir vibrações. A numeração dos cilindros não é automaticamente a ordem de ignição.

MAIS COBRADO

A ORDEM DE FOGO de um motor é a SEQUÊNCIA NA QUAL O TEMPO MOTOR OCORRE nos diferentes cilindros. A ordem de fogo é projetada para PROPORCIONAR O BALANCEAMENTO e para ELIMINAR A VIBRAÇÃO ao máximo possível.

Os **MOTORES EM LINHA DE SEIS CILINDROS** geralmente têm a ordem de fogo 1-5-3-6-2-4.

A ordem de fogo dos motores opostos de 6 cilindros é 1-4-5-2-3-6.

Nos motores radiais de uma só fileira de cilindros, primeiramente todos os cilindros ímpares queimam em sucessão numérica, depois queimam em sucessão numérica os cilindros pares.

Nos motores radiais de 5 cilindros, por exemplo, a ordem de fogo é 1-3-5-2-4.

Nos motores radiais de 7 cilindros, a ordem de fogo é 1-3-5-7-2-4-6.

MAIS COBRADO

A ORDEM DE FOGO EM UM MOTOR RADIAL DE 9 CILINDROS É 1-3-5-7-9-2-4-6-8.

Nos **MOTORES RADIAIS DE DUAS CARREIRAS,** a ordem de fogo ALTERNA ENTRE AS CARREIRAS: o impulso ocorre num cilindro de uma carreira e depois num cilindro da outra; DOIS CILINDROS DA MESMA CARREIRA NUNCA DISPARAM EM SEQUÊNCIA.

Um método fácil de calcular a ordem de fogo de um motor radial de duas fileiras, 14 cilindros, é começar com qualquer número de 1 a 14, e adicionar 9 ou subtrair 5 (esses são chamados de números de ordem de fogo), quaisquer que sejam, darão uma ordem de fogo entre 1 e 14, inclusive. No motor radial de DUAS FILEIRAS e 18 CILINDROS, os números de ordem de fogo são 11 E 7: começa-se com qualquer número de 1 a 18 e SOMA-SE 11 ou SUBTRAI-SE 7 (N+11 e N-7).

A MISTURA AR/COMBUSTÍVEL entra nos cilindros através das passagens das válvulas de admissão, e os GASES QUEIMADOS SÃO EXPELIDOS através das passagens das válvulas de escapamento.

MAIS COBRADO

NUM MOTOR TÉRMICO CUJO AVANÇO DE ADMISSÃO É DE 10 GRAUS, A VÁLVULA DE ADMISSÃO ABRE 10 GRAUS ANTES DO PMS (PONTO MORTO SUPERIOR), NO TEMPO DE ESCAPAMENTO.

As VÁLVULAS UTILIZADAS em motores de aeronaves são do tipo:

- GATILHO CONVENCIONAL.

As denominações dos **TIPOS DE VÁLVULAS** são também em FUNÇÃO DE SUA FORMA e são ainda chamadas de COGUMELO OU TULIPA, devido à sua semelhança com a forma dessas plantas.

Devido ao fato de as **VÁLVULAS DE ADMISSÃO** trabalharem em temperaturas mais baixas que as temperaturas das válvulas de escapamento, elas podem ser FABRICADAS DE AÇO CROMO-NÍQUEL. As VÁLVULAS DE ESCAPAMENTO são geralmente fabricadas de NICROMO, SILCROMO OU AÇO COBALTO-CROMO.

> MAIS COBRADO
>
> **A FACE DA VÁLVULA** é geralmente retificada para um ÂNGULO DE 30º OU 45º. Em alguns motores a FACE DA VÁLVULA DE ADMISSÃO é retificada para um ângulo de 30º e a FACE DA VÁLVULA DE ESCAPAMENTO, retificada para um ângulo de 45º.

As **FACES DAS VÁLVULAS** são frequentemente mais duráveis por meio da aplicação de um material denominado ESTELITA; cerca de 1/16" dessa liga é soldada à face da válvula, e retificada para o ângulo correto.

Alguns fabricantes de válvulas usam um revestimento de NICROMO. O NICROMO é utilizado com a MESMA FINALIDADE DA ESTELITA.

Algumas válvulas de admissão e de escapamento SÃO OCAS e, parcialmente, CHEIAS COM SÓDIO METÁLICO. Esse material é utilizado porque é um excelente condutor de calor.

O SÓDIO IRÁ FUNDIR A APROXIMADAMENTE 208ºF (cerca de 98ºC; a apostila IAC traz 110ºC), e o movimento alternativo da válvula faz circular o sódio líquido, facilitando a retirada de calor da cabeça da válvula para a haste, onde é dissipado através da guia da cabeça do cilindro e das aletas de refrigeração. Então, a temperatura de operação da válvula pode ser reduzida em até 300ºF a 400ºF (cerca de 167ºC a 222ºC; a apostila IAC traz "reduzida tanto a 167ºC como a 230ºC").

> MAIS COBRADO
>
> SOB NENHUMA CIRCUNSTÂNCIA DEVE UMA VÁLVULA CHEIA DE SÓDIO SER CORTADA, OU SUJEITA A TRATAMENTO, O QUAL POSSA CAUSAR RUPTURA.

MECANISMO DE VÁLVULAS E SINCRONISMO

As **VÁLVULAS DE ADMISSÃO** comumente mais utilizadas TÊM HASTE SÓLIDA, e as cabeças são na forma PLANA OU DE TULIPA. Válvulas de admissão, para motores de baixa potência, são geralmente de cabeça plana.

As válvulas de admissão são abertas antes do êmbolo ou pistão atingir o PONTO MORTO SUPERIOR e as válvulas de escapamento permanecem abertas após o ponto morto superior.

> MAIS COBRADO
>
> Em um instante particular, contudo, **AMBAS AS VÁLVULAS SÃO ABERTAS AO MESMO TEMPO** (fim do escapamento e início da admissão).

O CURSO DA VÁLVULA (distância que a válvula é desalojada de sua sede) e a duração (tempo que a válvula permanece aberta) são determinados pela FORMA DO RESSALTO DE CAME.

> MAIS COBRADO
>
> **A PARTE DO RESSALTO** que pouco a pouco dá início ao MECANISMO DE OPERAÇÃO DA VÁLVULA é chamada RAMPA OU DEGRAU.

O mecanismo da válvula de um motor radial é operado por meio de um ou dois anéis de ressaltos dependendo do número de carreiras de cilindros.

Em um **MOTOR RADIAL,** com uma só carreira de cilindros, é utilizado um anel com dupla curva motriz (ou trilha).

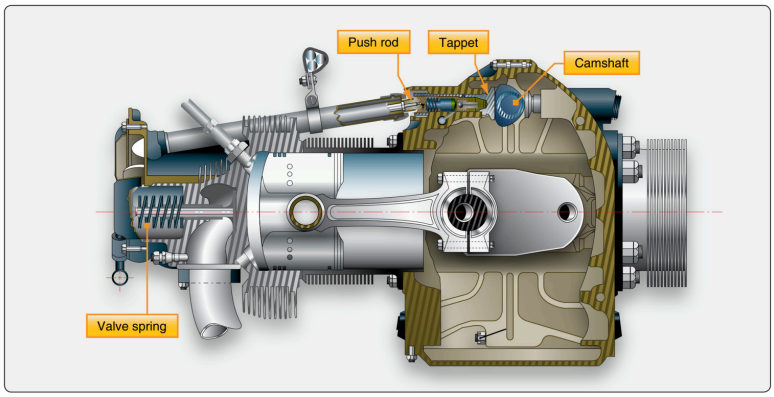
> MAIS COBRADO
>
> A superfície desses lóbulos e o espaço entre eles (sobre o qual o rolete do tucho desliza) são conhecidos como CURVA MOTRIZ.

O TEMPO DE OPERAÇÃO DAS VÁLVULAS é determinado pelo ESPAÇAMENTO DESSES LÓBULOS e pela VELOCIDADE E DIREÇÃO, na qual os anéis de ressaltos são acionados em relação à velocidade e direção do eixo de manivelas. Se as engrenagens de redução engrenam com a PARTE EXTERNA do anel de ressaltos, ele gira NO MESMO SENTIDO de rotação do eixo de manivelas; se o anel é acionado pela PARTE INTERNA, gira em SENTIDO OPOSTO ao do eixo de manivelas.

> MAIS COBRADO
>
> NOS MOTORES DE NOVE CILINDROS, O ESPAÇAMENTO ENTRE CILINDROS É DE 40º E A ORDEM DE FOGO É 1-3-5-7-9-2-4-6-8.

A fórmula que algumas vezes é utilizada no cômputo da velocidade do anel é: VELOCIDADE DO ANEL DE RESSALTOS = ½ ÷ PELO NÚMERO DE LÓBULOS EM CADA CURVA MOTRIZ.

Figura 5 — Mecanismo de válvulas do motor de cilindros opostos



Em inglês	Tradução
Camshaft	Eixo de comando de válvulas
Tappet	Tucho
Push rod	Vareta de comando
Valve spring	Mola da válvula

DESCRIÇÃO DIDÁTICA EM INGLÊS	TRADUÇÃO DA DESCRIÇÃO
The camshaft acts through the tappet, push rod, and rocker arm to open the valve. The valve spring closes it. This is the mechanical valve-operating system of the opposed engine shown.	O eixo de comando atua pelo tucho, vareta e balancim para abrir a válvula. A mola da válvula faz seu fechamento. Este é o sistema mecânico de comando de válvulas do motor de cilindros opostos mostrado.

O mecanismo de um motor de cilindros opostos é acionado pelo EIXO DE RESSALTOS (ou eixo de comando de válvulas). O eixo de ressaltos é acionado por uma engrenagem que se une a outra presa ao eixo de manivelas.

> MAIS COBRADO
>
> O EIXO DE RESSALTOS SEMPRE GIRA COM METADE DA VELOCIDADE DO EIXO DE MANIVELAS.

> MAIS COBRADO
>
> **A FUNÇÃO DO CONJUNTO DE TUCHOS** é converter o MOVIMENTO DE ROTAÇÃO DO LÓBULO DO ANEL DE RESSALTOS EM MOVIMENTO ALTERNATIVO, transmitir esse movimento para a haste impulsora e balancim e então para a extremidade da válvula, abrindo esta no tempo apropriado.

O propósito da mola do tucho é ocupar a FOLGA ENTRE O BALANCIM E A EXTREMIDADE DA VÁLVULA, para reduzir o impacto quando a válvula for aberta.

Alguns motores de aeronaves incorporam tuchos hidráulicos, os quais, automaticamente, MANTÊM A FOLGA DAS VÁLVULAS A ZERO, eliminando a necessidade de qualquer ajuste no mecanismo de claro de válvulas.

As **HASTES IMPULSORAS DE FORMA TUBULAR** transmitem a força de levantamento do tucho para o balancim. Ao desligar as hastes dos balancins, os parafusos e porcas soltos devem ser RECOLOCADOS NAS PRÓPRIAS HASTES OU NAS PERNAS DOS BALANCINS, para que não se percam.

> MAIS COBRADO
>
> Os **BALANCINS** transmitem a força de acionamento do ressalto para as válvulas. Em funcionamento, os balancins sofrem ESFORÇOS DE FLEXÃO.

Os CONJUNTOS DE BALANCINS são suportados por:

- MANCAIS LISOS
- ROLETES
- ESFERAS

Algumas vezes, **A EXTREMIDADE DO BALANCIM** possui uma ranhura para acomodar um rolete de aço.

> MAIS COBRADO
>
> **CADA VÁLVULA É FECHADA POR MEIO DE DUAS OU TRÊS MOLAS HELICOIDAIS.** Se apenas UMA MOLA fosse utilizada, ela VIBRARIA ou oscilaria EM DETERMINADAS VELOCIDADES; por isso, duas ou mais molas (uma dentro da outra) são instaladas em cada válvula, eliminando essas vibrações.

As molas são mantidas no lugar por meio de TRAVAS BIPARTIDAS, instaladas no rebaixo do batente superior da mola da válvula ou arruela, e engrazam num entalhe usinado na haste da válvula.

> MAIS COBRADO
>
> AS FUNÇÕES DAS MOLAS SÃO FECHAR AS VÁLVULAS E PRENDÊ-LAS SEGURAMENTE EM SUAS SEDES.

LEVANTADORES HIDRÁULICOS DE VÁLVULAS são normalmente ajustados durante a revisão geral. Eles são montados a seco (sem lubrificação), as folgas são verificadas e os ajustes são geralmente feitos por meio de hastes impulsoras de diferentes comprimentos. São estabelecidas as folgas mínima e máxima.

FOLGA DE VÁLVULA (a folga AJUSTÁVEL entre o balancim e a ponta da haste da válvula; não confundir com o CRUZAMENTO DE VÁLVULAS, em que as duas válvulas ficam abertas ao mesmo tempo): é conferida e ajustada com o pistão no PONTO MORTO SUPERIOR DO TEMPO DE COMPRESSÃO, quando as DUAS VÁLVULAS ESTÃO FECHADAS. Folga fora do valor especificado muda o tempo de abertura e fechamento das válvulas.

- **FOLGA EXCESSIVA NA VÁLVULA DE ESCAPAMENTO**: a válvula ABRE TARDE E FECHA CEDO. O tempo de escapamento fica ENCURTADO e a EXPULSÃO DOS GASES É DEFICIENTE (recuperação deficiente); a abertura tardia pode SUPERAQUECER O CILINDRO, porque os gases quentes ficam retidos além do tempo previsto.

- **FOLGA INSUFICIENTE NA VÁLVULA DE ESCAPAMENTO**: a válvula ABRE CEDO E FECHA TARDE. A abertura antecipada causa PERDA DE POTÊNCIA por ENCURTAR O TEMPO MOTOR (a pressão é liberada antes de toda a expansão útil agir sobre o pistão); o fechamento tardio pode deixar sair mistura boa pelo escapamento.

MANCAIS E ENGRENAGENS DE REDUÇÃO

MAIS COBRADO

Um **MANCAL** é qualquer SUPERFÍCIE QUE SUPORTA, OU É SUPORTADA, por outra superfície. Um bom mancal permite que a outra superfície se movimente com um MÍNIMO DE ATRITO E DESGASTE; os mancais são usados para REDUZIR O ATRITO ENTRE AS PEÇAS MÓVEIS, de forma que a perda de potência não seja excessiva.

Os mancais são requeridos para suportar:

- CARGAS RADIAIS
- CARGAS DE EMPUXO
- OU UMA COMBINAÇÃO DAS DUAS

MAIS COBRADO

Os três diferentes tipos de mancais em uso geral são:

- LISOS
- ROLETE
- ESFERA

Os **MANCAIS LISOS** são utilizados geralmente nos eixos de manivelas, anéis de ressaltos, eixo de comando de ressaltos, bielas e eixo de acionamento de acessórios. Estão, geralmente, sujeitos apenas a CARGAS RADIAIS.

Os **MANCAIS PLANOS** são, de modo geral, fabricados de METAIS NÃO FERROSOS (sem ferro), tais como prata, bronze, alumínio, e diversas ligas de cobre, estanho ou chumbo.

Um **MANCAL DE ESFERAS** consiste em CANAIS RANHURADOS INTERNO E EXTERNAMENTE, um ou mais conjuntos de esferas, e, nos mancais projetados para serem desmontáveis, um retentor. Os MANCAIS DE ESFERAS são usados nos EIXOS DE VENTOINHA DOS COMPRESSORES e nos BALANCINS de alguns motores; MANCAIS DE ESFERAS ESPECIAIS (DEEP-GROOVE) transmitem o EMPUXO DA HÉLICE e as cargas radiais para a SEÇÃO DO NARIZ dos motores radiais.

MANCAIS DE ROLETES são fabricados de muitos tipos e formas, porém os dois tipos geralmente usados nos motores de aeronaves são os ROLETES RETOS E DE ROLETES CÔNICOS. Mancais de roletes retos são utilizados onde esse mancal está sujeito apenas a cargas radiais. Eles são usados

como MANCAIS PRINCIPAIS DOS EIXOS DE MANIVELAS nos motores alternativos de ALTA POTÊNCIA e também onde as CARGAS RADIAIS são elevadas.

MAIS COBRADO

ENGRENAGENS DE REDUÇÃO: existem em uso muitos tipos de sistemas de redução. Os três tipos comumente mais utilizados são:

- PLANETÁRIO DE DENTES RETOS
- PLANETÁRIO DE DENTES CHANFRADOS
- PINHÃO CILÍNDRICO

Os sistemas de **ENGRENAGENS DE REDUÇÃO DO TIPO PLANETÁRIO** são usados com motores radiais e opostos, e os de DENTES RETOS E PINHÃO CILÍNDRICO são usados com os motores do tipo em linha e em "V".

Os sistemas de **ENGRENAGENS DO TIPO PLANETÁRIO DE DENTES RETOS** consistem de uma grande engrenagem acionadora ou ENGRENAGEM SOL, presa por estrias (e algumas vezes por contração) ao eixo de manivelas, uma grande engrenagem estacionária chamada ENGRENAGEM SINO, e um conjunto de pequenas engrenagens planetárias de dentes retos, montadas sobre um anel de suporte.

> a apostila IAC traz "presa por chaveta (e algumas vezes por estrias)"

No sistema de **ENGRENAGENS DE REDUÇÃO DO TIPO PLANETÁRIO DE DENTES CHANFRADOS,** a engrenagem acionadora é usinada com DENTES EXTERNOS CHANFRADOS e presa ao eixo de manivelas.

Um conjunto de **ENGRENAGENS DE PINHÃO CÔNICO CONJUGADO** é montado na caixa ligada ao eixo da hélice.

MAIS COBRADO

Os EIXOS DE HÉLICES podem ser de três tipos principais:

- CÔNICO
- ESTRIADO
- FLANGEADO

EIXOS CÔNICOS são identificados pelos NÚMEROS DE CONICIDADE.

OS EIXOS ESTRIADOS E FLANGEADOS são identificados pelos NÚMEROS SAE.

O RASGO DA CHAVETA E INDICADOR DE POSIÇÃO ("key index") da hélice está relacionado ao ponto morto superior do cilindro número 1.

O EIXO é geralmente usinado de uma LIGA DE AÇO FORJADO por todo o seu comprimento.

> MAIS COBRADO
> Um MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA é um dispositivo para CONVERSÃO DE ENERGIA TÉRMICA EM ENERGIA MECÂNICA.

A válvula que permite a saída dos gases queimados é chamada de VÁLVULA DE ESCAPAMENTO, e a válvula pela qual entra a carga de mistura ar/combustível é denominada VÁLVULA DE ADMISSÃO. Essas válvulas são abertas e fechadas mecanicamente nos tempos apropriados, por meio do mecanismo de operação das válvulas.

Chamamos de **DIÂMETRO DE UM CILINDRO, SEU DIÂMETRO INTERNO.** Esse diâmetro interno do cilindro é chamado ALESAGEM (bore).

> MAIS COBRADO
> **O CURSO** é a distância que o êmbolo se move de uma extremidade à outra do cilindro, especificamente do P.M.S. (PONTO MORTO SUPERIOR) AO P.M.I. (PONTO MORTO INFERIOR), ou vice-versa. Com o curso fixo, a VELOCIDADE LINEAR MÉDIA DO PISTÃO cresce com a ROTAÇÃO do eixo de manivelas: a cada volta o pistão percorre DOIS CURSOS, então a velocidade média = 2 × curso × RPM (distância por minuto). Ela é maior no regime de MAIOR ROTAÇÃO.

CICLOS DE OPERAÇÃO E PARÂMETROS DE DESEMPENHO

Existem diversos CICLOS DE OPERAÇÃO em uso:

> a apostila IAC traz "dois ciclos de operação de uso geral"

- CICLO DE DOIS TEMPOS,
- CICLO DE QUATRO TEMPOS,
- CICLO ROTATIVO,
- CICLO DIESEL.

Os **MOTORES DE DOIS TEMPOS** requerem apenas um movimento para cima e um para baixo, para que o êmbolo complete a série de eventos requeridos dentro do cilindro. Dessa forma, o motor completa o ciclo de operação com uma rotação do eixo de manivelas.

MOTOR DE DOIS TEMPOS, fases de cada curso:

- **CURSO ASCENDENTE**: ADMISSÃO (a mistura é puxada para o cárter) e, ao mesmo tempo, COMPRESSÃO da mistura no cilindro; perto do topo do curso, a vela provoca a IGNIÇÃO e começa a COMBUSTÃO.
- **CURSO DESCENDENTE**: os gases em queima e EXPANSÃO empurram o pistão para baixo; perto do fim do curso, o pistão descobre a janela de ESCAPAMENTO e os gases queimados saem do

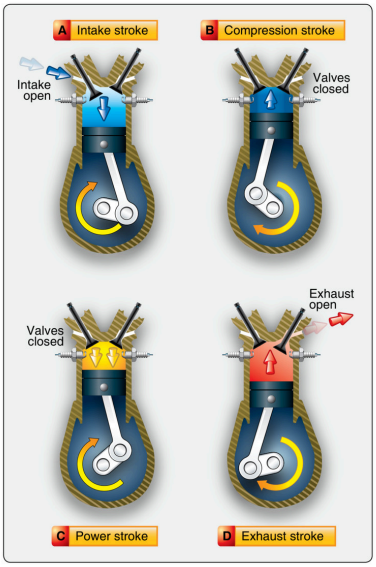
cilindro.

MAIS COBRADO

A MAIORIA DOS MOTORES ALTERNATIVOS de aeronaves opera com o CICLO DE QUATRO TEMPOS, às vezes CHAMADO DE CICLO OTTO, o nome do seu descobridor, um físico alemão. O CICLO OTTO é o CICLO DE VOLUME CONSTANTE de transformação de energia usado pelos motores alternativos: no modelo ideal, a ADIÇÃO DE CALOR se dá A VOLUME CONSTANTE (o ciclo de pressão constante é o de Brayton, da turbina a gás).

Nesse tipo de motor, **SÃO REQUERIDOS QUATRO TEMPOS** para completar a série de eventos do ciclo de operação de cada cilindro: ADMISSÃO, COMPRESSÃO, IGNIÇÃO, QUEIMA, EXPANSÃO E ESCAPAMENTO, ou seja, SEIS EVENTOS (também chamados de FASES) em quatro tempos. Em outra contagem, cada tempo é um evento e a ignição, no fim do tempo de compressão, é o quinto: CINCO EVENTOS EM QUATRO TEMPOS. Os TEMPOS são os cursos (movimentos mecânicos) do pistão no cilindro; as FASES (ou eventos do ciclo) são o que acontece com a mistura durante esses cursos.

Figura 6 — Ciclo de quatro tempos



Em inglês	Tradução
A — Intake stroke	A — Admissão
Intake open	Admissão aberta
B — Compression stroke	B — Compressão
Valves closed	Válvulas fechadas
C — Power stroke	C — Expansão (tempo motor)
D — Exhaust stroke	D — Escapamento
Exhaust open	Escapamento aberto

DESCRIÇÃO DIDÁTICA EM INGLÊS	TRADUÇÃO DA DESCRIÇÃO
A four-stroke cycle consists of intake, compression, power, and exhaust. During the power stroke, expanding combustion gases push the piston down. During exhaust, the rising piston expels burned gases. The complete cycle requires two crankshaft revolutions.	O ciclo de quatro tempos compreende admissão, compressão, expansão (tempo motor) e escapamento. Na expansão, os gases de combustão empurram o pistão para baixo. No escapamento, o pistão que sobe expulsa os gases queimados. O ciclo completo exige duas voltas do eixo de manivelas.

MAIS COBRADO

CICLO DE 4 TEMPOS: São requeridas DUAS VOLTAS COMPLETAS DO EIXO DE MANIVELAS (720º) para os quatro tempos; então, cada cilindro em um motor desse tipo queima uma vez a cada duas voltas do eixo de manivelas.

PRIMEIRO TEMPO ADMISSÃO: corresponde ao movimento do pistão do PMS (ponto morto superior) para o PMI (ponto morto inferior) com a válvula de admissão aberta; nesse tempo o pistão aspira a mistura de ar e combustível para dentro do cilindro. A descida do pistão REDUZ A PRESSÃO NO CILINDRO, e essa diminuição de pressão faz a mistura entrar.

SEGUNDO TEMPO COMPRESSÃO: O segundo tempo chama-se "compressão" e corresponde ao movimento do pistão do PMI (ponto morto inferior) para o PMS (ponto morto superior), a válvula de admissão fecha entre 50º e 75º após o ponto morto inferior, dependendo do motor, e a partir daí as duas válvulas ficam fechadas. Nesse tempo o pistão comprime a mistura ar e gasolina que ficou presa dentro do cilindro.

TERCEIRO TEMPO MOTOR OU TEMPO DE POTÊNCIA: A carga é inflamada por uma centelha elétrica quando o pistão se aproxima do ponto morto superior, no tempo de compressão. O terceiro tempo corresponde à descida do pistão do PMS para o PMI, provocada pela rápida expansão dos gases queimados. Perto do fim do tempo motor, a VÁLVULA DE ESCAPAMENTO É ABERTA ANTES DO PMI, AINDA NO TEMPO DE POTÊNCIA (em alguns motores, de 50° a 75° antes do PMI), enquanto ainda existe pressão no cilindro: essa pressão força a saída dos gases pelo escapamento o mais rápido possível, livrando o cilindro das sobras de calor (calor excessivo). É o AVANÇO DE ESCAPAMENTO: num motor com avanço de escapamento de 50°, a válvula de escapamento abre 50° antes do PMI (PMB, ponto morto baixo).

QUARTO TEMPO ESCAPAMENTO: O quarto tempo se chama "ESCAPAMENTO" ou "EXAUSTÃO" e corresponde à subida do pistão do PMI para o PMS com a válvula de escapamento aberta e a de admissão fechada; perto do fim desse tempo, a válvula de admissão abre, entre 8º e 55º antes do ponto morto superior, em muitos motores.

O TEMPO DAS VÁLVULAS E DA IGNIÇÃO (avanços e atrasos) é SEMPRE ESPECIFICADO EM GRAUS DE GIRO DO EIXO DE MANIVELAS, isto é, pela posição angular do MOENTE (manivela) em relação ao PMS ou ao PMI.

> MAIS COBRADO
>
> **A VÁLVULA DE ADMISSÃO É REGULADA PARA FECHAR ENTRE** 50 E 75° APÓS O PONTO MORTO INFERIOR NO TEMPO DE COMPRESSÃO, DEPENDENDO DO MOTOR. Esse ATRASO NO FECHAMENTO da válvula de admissão aproveita a INÉRCIA (impulso) da mistura ar/combustível que entra em rápido movimento, para CARREGAR O CILINDRO MAIS COMPLETAMENTE.

> MAIS COBRADO
>
> ABERTURA DA VÁLVULA DE ADMISSÃO É REGULADA PARA OCORRER ENTRE 8° E 55° ANTES DO PONTO MORTO SUPERIOR, NO TEMPO DE ESCAPAMENTO, EM MUITOS MOTORES. A válvula de admissão é aberta antes do PMS, no tempo de escapamento, para INDUZIR MAIOR QUANTIDADE DE CARGA AR/COMBUSTÍVEL no cilindro e, assim, AUMENTAR A POTÊNCIA.

MAIS COBRADO

O TEMPO DA IGNIÇÃO VARIA DE 20° A 35° ANTES DO PONTO MORTO SUPERIOR, DEPENDENDO DO MOTOR. Esse AVANÇO DE IGNIÇÃO garante a COMBUSTÃO COMPLETA DA CARGA quando o pistão estiver logo após o PMS: melhora a queima da mistura e aproveita melhor a pressão dos gases sobre o pistão.

CRUZAMENTO DE VÁLVULAS OU CLARO DE VÁLVULAS: É o nome dado à situação que ocorre no INÍCIO DA ADMISSÃO, quando as DUAS VÁLVULAS FICAM ABERTAS SIMULTANEAMENTE, devido ao avanço na abertura da válvula de admissão e ao atraso no fechamento da válvula de escapamento. O cruzamento permite MELHOR EFICIÊNCIA VOLUMÉTRICA e MENORES TEMPERATURAS DE OPERAÇÃO do cilindro: ajuda a REFRIGERAR O CILINDRO INTERNAMENTE (pela mistura fria que entra), AUMENTA A QUANTIDADE DE MISTURA admitida e ajuda a EXPULSAR OS SUBPRODUTOS DA COMBUSTÃO.

Os físicos definem trabalho da seguinte forma: “Trabalho é força multiplicada por distância”.

MAIS COBRADO

O trabalho realizado por uma força agindo sobre um corpo é igual ao produto dessa força pela distância através da qual ela age. TRABALHO (W) = FORÇA (F) X DISTÂNCIA (D).

O trabalho é medido em diversos sistemas; a unidade mais comum é chamada LIBRA-PÉ.

CAVALO-VAPOR (HP): A unidade comum de potência mecânica é o hp (ou HP). No SISTEMA MÉTRICO, a potência mecânica no eixo de um motor é expressa em CV (CAVALO-VAPOR); no sistema inglês, em HP.

Para calcular a **CAPACIDADE DE UM MOTOR EM HP,** divide-se a potência desenvolvida em LB.PÉ por minuto por 33.000, ou a potência em LB.PÉ por segundo por 550. Em unidades métricas, 1 HP (550 lb.pé por segundo) equivale a cerca de 76 KGF.M/S; o CV métrico vale 75 kgf.m/s.

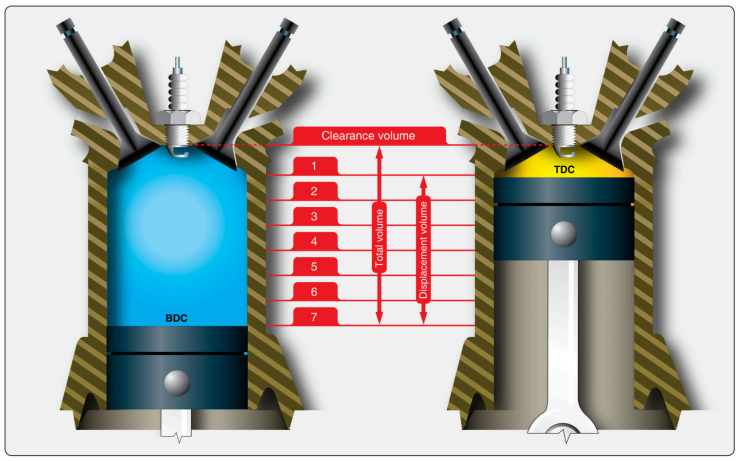
MAIS COBRADO

Quando um êmbolo se move do ponto MORTO INFERIOR PARA O PONTO MORTO SUPERIOR, ele desloca um volume específico. O volume deslocado é conhecido como CILINDRADA, e é expresso em polegadas cúbicas para a maioria dos motores de fabricação americana, e centímetros cúbicos para os outros.

O VOLUME DESLOCADO PELO PISTÃO DE UM CILINDRO (ou cilindrada) pode ser obtido multiplicando a área da seção reta de um cilindro pela distância total que o êmbolo se desloca em um tempo do motor.

Todo **MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA** tem que comprimir a MISTURA AR/COMBUSTÍVEL, para receber uma quantidade razoável de trabalho em cada tempo de potência.

Figura 7 — Razão de compressão: PMI, PMS e volumes



Em inglês	Tradução
BDC — bottom dead center	BDC — ponto morto inferior
TDC — top dead center	TDC — ponto morto superior
Clearance volume	Volume residual da câmara de combustão
Total volume	Volume total
Displacement volume	Volume deslocado
1–7	Unidades de volume do exemplo 7:1

DESCRIÇÃO DIDÁTICA EM INGLÊS	TRADUÇÃO DA DESCRIÇÃO
The left piston is at bottom dead center (BDC); the right piston is at top dead center (TDC). The total volume at BDC divided by the clearance volume at TDC is the compression ratio. One travel between these positions is one stroke. The illustrated ratio is 7:1; other questions may use different stated values.	O pistão à esquerda está no ponto morto inferior (BDC); o da direita, no ponto morto superior (TDC). O volume total no PMI dividido pelo volume residual no PMS é a taxa de compressão. Um deslocamento entre essas posições corresponde a um curso. A razão ilustrada é 7:1; outras questões podem usar valores diferentes declarados no enunciado.

A RAZÃO DE COMPRESSÃO de um motor é uma COMPARAÇÃO do volume de um cilindro quando o êmbolo está no ponto morto inferior, e do volume quando ele está no ponto morto superior.

MAIS COBRADO

TAXA DE COMPRESSÃO é um fator de controle na MÁXIMA POTÊNCIA DESENVOLVIDA por um motor, mas ela está limitada pela qualidade (grau) dos combustíveis atuais, pelas elevadas velocidades dos motores e pressões de admissão requeridas para decolagem. Quanto MAIOR a taxa de compressão, maior a parte da energia térmica da combustão transformada em TRABALHO ÚTIL no eixo de manivelas; mantidas as demais condições, REDUZIR A TAXA DE COMPRESSÃO REDUZ A POTÊNCIA.

> a apostila IAC traz "quantidade"

PRESSÃO DE ADMISSÃO é a pressão MÉDIA ABSOLUTA da carga de ar ou ar/combustível na entrada, e é medida em polegadas de mercúrio. A pressão de admissão depende da velocidade do motor (posição da manete) e do compressor. O compressor interno acionado pelo motor (ventoinha) e o compressor externo acionado pelos gases de escapamento (turbo) são geralmente do tipo CENTRÍFUGO. Quando um ou ambos são usados, a pressão de admissão pode ser CONSIDERAVELMENTE MAIS ELEVADA QUE A PRESSÃO ATMOSFÉRICA: o SUPERALIMENTADOR VERDADEIRO eleva a pressão de admissão ACIMA DA PRESSÃO AMBIENTE.

Com o **MOTOR PARADO,** o indicador de pressão de admissão deve marcar aproximadamente a PRESSÃO ATMOSFÉRICA (BAROMÉTRICA) LOCAL: cerca de 30 in Hg ao nível do mar e menos nos aeródromos acima do nível do mar.

A TAXA DE COMPRESSÃO e a PRESSÃO DE ADMISSÃO determinam a pressão no cilindro naquela parte do ciclo de operação em que ambas as válvulas estão fechadas. A pressão no auge da compressão (logo antes da ignição) é a PRESSÃO DE ADMISSÃO MULTIPLICADA PELA TAXA DE COMPRESSÃO: com 30 polHg e taxa de 7:1, cerca de 210 polHg; com 20 polHg e taxa de 8:1, 160 polHg (20 × 8). Reduzir o volume do gás a 1/8, sem variar a temperatura, multiplica a pressão por 8.

Sem entrar em detalhes, foi mostrado que o TEMPO DE COMPRESSÃO aumenta o efeito da variação de pressão de admissão e o aumento de ambos afeta a pressão da carga de combustível, exatamente no momento que antecede a ignição.

- **DETONAÇÃO**: a carga é inflamada pela vela, mas, em vez de queimar a uma taxa controlada, EXPLODE, fazendo as TEMPERATURAS E PRESSÕES DO CILINDRO subirem muito rapidamente (picos). Se durar muito, pode danificar ou destruir o motor.
- **PRÉ-IGNIÇÃO**: a mistura começa a queimar ANTES DE A VELA CENTELHAR, antes do tempo normal de ignição. É muitas vezes causada por OBJETOS INCANDESCENTES (pontos excessivamente quentes) dentro do cilindro, como ELETRODOS DE VELA EM BRASA e DEPÓSITOS DE CARBONO, e pelo SUPERAQUECIMENTO.

Alguns fabricantes de motores de alta compressão SUPRIMEM A DETONAÇÃO a altas pressões de admissão usando combustível de alta octanagem e limitando a pressão máxima de admissão.

> a apostila IAC traz "injetando um fluido antidetonante na mistura ar/combustível"; FAA 2012: injeção de água tem uso hoje muito limitado

MAIS COBRADO

A POTÊNCIA INDICADA, produzida por um motor, é a POTÊNCIA CALCULADA DA PRESSÃO EFETIVA MÉDIA e de outros fatores, os quais afetam a potência de saída de um motor.

POTÊNCIA INDICADA é a potência DESENVOLVIDA NA CÂMARA DE COMBUSTÃO sem referência a perdas por atrito no interior do motor.

O CÁLCULO DA POTÊNCIA INDICADA é a POTÊNCIA TEÓRICA de um motor SEM ATRITO.

A potência **ENTREGUE PARA A HÉLICE** para trabalho útil é conhecida como B.H.P. (potência ao freio).

MAIS COBRADO

A DIFERENÇA ENTRE POTÊNCIA INDICADA E POTÊNCIA AO FREIO é conhecida como POTÊNCIA DE ATRITO, a qual é a potência requerida para vencer as perdas mecânicas, tais como a ação de bombeamento e atrito dos êmbolos e de todas as partes móveis.

TORQUE = FORÇA x DISTÂNCIA (A 90º DA FORÇA)

TORQUE, ou MOMENTO DE TORÇÃO, é o produto de uma FORÇA pela DISTÂNCIA dessa força ao EIXO sobre o qual ela atua: é o efeito de uma força que tende a fazer um corpo GIRAR em torno de um eixo.

Torque é uma **MEDIDA DE CARGA,** expressa em LIBRA-POLEGADA (LB.POL.) OU LIBRA-PÉ, e não deverá ser confundido com trabalho, que é expresso em polegada-libra (pol.lb) ou pé-libra (pé.lb). A POTÊNCIA é função tanto do TORQUE quanto da RPM e pode ser alterada mudando-se o torque, a RPM ou ambos: aumentar o torque mantendo a RPM, aumentar a RPM mantendo o torque, ou aumentar os dois, AUMENTA A POTÊNCIA no eixo. Se a RPM varia na proporção inversa do torque, a potência não muda.

> MAIS COBRADO
> **O FREIO DE PRONY** é um desses dispositivos típicos, que mede a POTÊNCIA DE SAÍDA disponível de um motor na BANCADA DE TESTE.

> MAIS COBRADO
> **POTÊNCIA DE ATRITO** é a potência INDICADA MENOS A POTÊNCIA DE FREIO. É a potência usada por um motor para vencer o atrito entre as partes móveis, aspirar combustível, expulsar os gases de escapamento, acionar bombas de óleo e combustível, e similares. Nos motores aeronáuticos modernos, essa potência perdida por atrito é elevada, podendo atingir de 10% A 15% DA POTÊNCIA INDICADA.

A P.E.M.I. (**PRESSÃO EFETIVA MÉDIA INDICADA**), discutida anteriormente, é a pressão média produzida na câmara de combustão durante o ciclo de operação, e é uma expressão teórica de potência sem fricção, conhecida como potência indicada.

A potência indicada não informa quanta potência real é entregue ao eixo da hélice para produzir trabalho útil.

> MAIS COBRADO
> A P.E.M.I. é uma expressão útil da POTÊNCIA TOTAL DE SAÍDA DO CILINDRO, mas não é a quantidade física real. Da mesma forma, P.E.M.A. e P.E.M.F. são teóricas, mas expressões úteis das perdas por atrito e potência líquida de saída.

Uma das limitações básicas da operação do motor é a pressão desenvolvida no cilindro, durante a combustão.

POTÊNCIA DE EMPUXO pode ser considerada como resultado do trabalho conjunto do motor e da hélice.

Contudo, a **EFICIÊNCIA DA HÉLICE** varia com a VELOCIDADE DO MOTOR, ATITUDE, ALTITUDE, TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR, portanto, a razão da potência de empuxo e a potência ao freio entregue para o eixo da hélice nunca serão iguais.

O calor produzido pela queima da gasolina nos cilindros causa uma rápida expansão dos gases nesses cilindros, e eles, por sua vez, movimentam os êmbolos e criam energia mecânica.

> MAIS COBRADO
> Calor pode ser então medido em **UNIDADES DE TRABALHO** (Lb.pé por exemplo), bem como em unidades de calor. O BTU (UNIDADE INGLESA DE MEDIÇÃO DE CALOR) é a quantidade de calor requerida para aumentar a temperatura de uma Lb de água de 1ºF. Isso é equivalente a 778 Lb.pé de trabalho mecânico.

A razão de trabalho útil produzido por um motor, em relação à energia calorífica do combustível que ele utiliza, expressa em unidades de trabalho e calor, é chamada de RENDIMENTO TÉRMICO. Um ALTO RENDIMENTO TÉRMICO também significa um BAIXO CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL.

> MAIS COBRADO
> Do calor total produzido, 25% A 30% É UTILIZADO NA POTÊNCIA DE SAÍDA, 15% A 20% É PERDIDO EM REFRIGERAÇÃO (calor irradiado das aletas da cabeça do cilindro), 5% A 10% É PERDIDO PARA VENCER O ATRITO no movimento de peças, e 40% A 45% É PERDIDO ATRAVÉS DO ESCAPAMENTO.

RAZÃO DE COMPRESSÃO é a razão entre o volume deslocado pelo pistão mais o volume da câmara de combustão e o volume da câmara de combustão.

> a apostila IAC traz "razão entre o volume deslocado pelo pistão e o volume da câmara de combustão"

> MAIS COBRADO
> O RENDIMENTO TÉRMICO DE UM MOTOR PODE SER BASEADO EM BHP OU IHP.

O RENDIMENTO TÉRMICO dos motores alternativos situa-se em aproximadamente 34%, isto é, eles transformam apenas cerca de 34% DO CALOR PRODUZIDO PELO COMBUSTÍVEL QUEIMADO EM ENERGIA MECÂNICA. O calor restante é perdido através dos gases de escapamento, refrigeração do sistema e atrito interno do motor.

RENDIMENTO MECÂNICO é a taxa que mostra o quanto da potência desenvolvida pelos gases expandidos no cilindro é realmente entregue na saída do eixo. É uma comparação entre BHP e IHP.

MAIS COBRADO

POTÊNCIA AO FREIO É A POTÊNCIA ÚTIL ENTREGUE AO EIXO DA HÉLICE; POTÊNCIA INDICADA É A POTÊNCIA TOTAL DESENVOLVIDA NOS CILINDROS. A potência ao freio (BHP) também é chamada de POTÊNCIA EFETIVA: é a potência disponível no EIXO DE MANIVELAS do motor.

O rendimento mecânico de um motor aeronáutico alternativo médio aproxima-se de 90%. O ATRITO entre as peças móveis permanece PRATICAMENTE CONSTANTE em toda a faixa de velocidade do motor; por isso, o rendimento mecânico é MAIOR na RPM em que se desenvolve a BHP máxima. Com rendimento perto de 90%, a MAIOR PARTE DA POTÊNCIA INDICADA CHEGA AO EIXO como potência ao freio.

MAIS COBRADO

RENDIMENTO VOLUMÉTRICO, outro rendimento do motor, É UMA TAXA EXPRESSA EM TERMOS DE PORCENTAGEM. É uma comparação entre volume da carga ar/combustível (corrigida pela temperatura e pressão) introduzida nos cilindros e o deslocamento total do êmbolo do motor.

RENDIMENTO PROPULSIVO: Uma hélice é utilizada com um motor para prover empuxo. O motor fornece BHP através da rotação do eixo, e a hélice absorve a BHP e a converte em potência de empuxo. Nessa conversão, alguma potência é perdida.

Na média, a potência de empuxo constitui aproximadamente 80% DA POTÊNCIA AO FREIO. Os outros 20% SÃO PERDIDOS EM ATRITO e escorregamento.

MOTORES A REAÇÃO

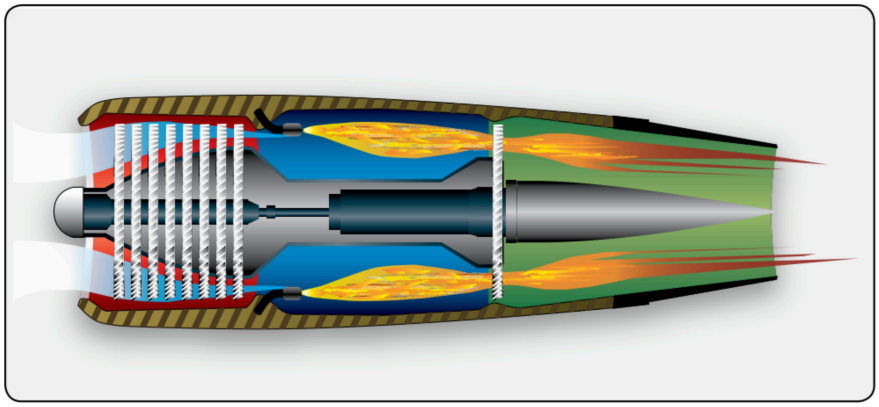
Um MOTOR DE TURBINA A GÁS típico consiste em:

- UMA ENTRADA DE AR
- SEÇÃO DO COMPRESSOR
- SEÇÃO DE COMBUSTÃO
- SEÇÃO DE TURBINA
- SEÇÃO DE ESCAPAMENTO
- SEÇÃO DE ACESSÓRIOS

MAIS COBRADO

O fator que mais influencia as características de construção de um motor de turbina a gás é o tipo do COMPRESSOR (DE FLUXO AXIAL OU CENTRÍFUGO) para o qual o motor é projetado.

Figura 8 — Seções do motor turbojato



Em inglês	Tradução
Compressor	Compressor
Combustion chamber	Câmara de combustão
Turbine	Turbina
Exhaust nozzle	Bocal de escapamento

DESCRIÇÃO DIDÁTICA EM INGLÊS	TRADUÇÃO DA DESCRIÇÃO
The turbojet flow passes through compressor, combustor, turbine and exhaust. The turbine is downstream of the combustor and extracts energy to turn the compressor and accessories; the remaining energy supports the exhaust jet. An approximate 60–70% extraction is a gas-generator teaching estimate, not a fixed value for all engines.	O fluxo do turbojato atravessa compressor, câmara de combustão, turbina e escapamento. A turbina fica a jusante da combustão e extrai energia para girar o compressor e os acessórios; a energia restante sustenta o jato de saída. A extração aproximada de 60–70% é uma estimativa didática para o gerador de gases, não um valor fixo de todos os motores.

UMA VANTAGEM SIGNIFICANTE DO MOTOR DE TURBINA A GÁS é que existem SEÇÕES SEPARADAS PARA CADA FUNÇÃO, e todas as funções ocorrem SIMULTANEAMENTE, SEM INTERRUPÇÃO. No motor alternativo, a admissão, a compressão, a combustão e o escapamento ocorrem na MESMA CÂMARA DE COMBUSTÃO, e cada função ocupa a câmara com exclusividade durante sua parte do ciclo. Outra grande vantagem dos motores a reação sobre os motores a pistão é terem POUCAS PEÇAS MÓVEIS.

No **MOTOR DE FLUXO AXIAL,** o duto da entrada de ar é um dos principais componentes do motor; por outro lado, no MOTOR DE FLUXO CENTRÍFUGO, o ar, após passar pela entrada, é dirigido para as aletas indutoras do compressor através de passagens circunferenciais, localizadas à frente e atrás do impelidor.

A parte dianteira do motor de fluxo axial é utilizada como ENTRADA DE AR; consequentemente, os acessórios deverão estar localizados em outra parte.

A ENTRADA DE AR é projetada de forma a dirigir o ar para o compressor com um mínimo de perda de energia, resultante do arrasto aerodinâmico ou pressão de impacto, ou seja, o fluxo de ar no compressor deve estar livre de turbulência para alcançar o máximo de eficiência de operação.

> MAIS COBRADO
>
> **A QUANTIDADE DE AR que entra no motor depende de três fatores:**

- VELOCIDADE DO COMPRESSOR (RPM)
- VELOCIDADE DA AERONAVE
- DENSIDADE DO AR AMBIENTE

Existem DOIS TIPOS BÁSICOS DE ENTRADA DE AR em uso:

- ENTRADA SIMPLES
- ENTRADA DIVIDIDA

Geralmente é mais vantajoso utilizar um motor com ENTRADA SIMPLES COM FLUXO AXIAL, para se obter a máxima pressão de impacto, através do fluxo direto.

Uma **ENTRADA DIVIDIDA** oferece maior oportunidade de difusão do ar, e uma entrada na câmara plena, com a velocidade suficientemente baixa, requerida para utilizar com eficiência um compressor de entrada dupla.

> MAIS COBRADO
>
> **A CÂMARA PLENA** é um lugar de ACÚMULO DE AR DE IMPACTO, geralmente associado com a instalação da fuselagem.

Em aeronaves militares, a entrada dividida permite o uso de DUTOS MUITO CURTOS, com menor queda de pressão resultante, devido ao atrito com a superfície.

A SEÇÃO DE ACESSÓRIOS de um motor TURBOJATO tem diversas funções. A função principal é prover espaço para instalação dos acessórios necessários à operação e controle do motor. Geralmente, também são incluídos acessórios concernentes à aeronave, tais como geradores elétricos e bombas de fluidos.

As **FUNÇÕES SECUNDÁRIAS** incluem a utilização como reservatório e/ou coletor de óleo e alojamento de engrenagens acionadoras de acessórios e engrenagens de redução.

ACESSÓRIOS ACIONADOS são geralmente montados em apoios comuns, acima ou adjacentes à seção do compressor, dependendo de ser um motor de fluxo centrífugo ou axial.

> FAA 2012: nos turbofans, na caixa de acessórios embaixo do motor; na maioria dos turboélices e turboeixos, na parte traseira do motor

Os elementos básicos de uma SEÇÃO DE ACESSÓRIOS DE UM MOTOR DE FLUXO CENTRÍFUGO são:

- Caixa de acessórios, a qual tem usinados adaptadores para os acessórios acionados pelo motor
- O trem de engrenagens, o qual está alojado no interior da caixa de acessórios.
- A caixa de acessórios pode ser projetada para servir como um reservatório de óleo.

> MAIS COBRADO
>
> A caixa de acessórios é também provida de tubulações adequadas ou passagens na própria carcaça, para BORRIFAR ÓLEO DE LUBRIFICAÇÃO sobre o trem de engrenagens e mancais de apoio.

As **ENGRENAGENS DE REDUÇÃO** na caixa de engrenagens proveem velocidade adequada para cada acessório ou componente do motor.

Os **ACESSÓRIOS ACIONADOS** são suportados por MANCAIS DE ESFERAS, montados nos furos do adaptador da caixa de acessórios.

Os componentes de uma seção de acessórios de um motor de fluxo axial são uma caixa de engrenagens de acessórios e um conjunto de potência de decolagem, alojando os eixos de acionamento necessários e engrenagens de redução.

DOIS FATORES AFETAM A LOCALIZAÇÃO DAS CAIXAS DE ENGRENAGENS:

- DIÂMETRO DO MOTOR
- INSTALAÇÃO DO MOTOR

A caixa de engrenagens de acessórios tem basicamente a mesma função da seção de acessórios de um motor de fluxo centrífugo.

Os acessórios, **USUALMENTE INSTALADOS EM UM MOTOR,** são o controle de combustível com seus dispositivos de governo, a(s) bomba(s) de alta pressão de combustível, bombas de pressão e de retorno de óleo, bomba auxiliar de combustível e, algumas vezes, bomba de combustível de partida e diversos acessórios do motor, incluindo motor de partida, gerador e tacômetro. Desses acessórios, todos são do tipo ACIONADO PELO MOTOR, EXCETO OS MOTORES DE PARTIDA.

> MAIS COBRADO
>
> **A SEÇÃO DO COMPRESSOR** de um motor de TURBINA A GÁS tem muitas funções. A principal delas é SUPRIR AR EM QUANTIDADE SUFICIENTE às necessidades dos QUEIMADORES DE COMBUSTÃO. O ar sai do compressor com GRANDE AUMENTO DE PRESSÃO (e de temperatura) e DIMINUIÇÃO DE VOLUME, criados pela AÇÃO MECÂNICA DO COMPRESSOR.

Uma **FUNÇÃO SECUNDÁRIA DO COMPRESSOR** é suprir AR DE SANGRIA para as diversas finalidades no motor e na aeronave. No compressor axial, a SANGRIA também serve para ALIVIAR O COMPRESSOR em certas condições de operação, a fim de EVITAR O ESTOL.

A LOCALIZAÇÃO EXATA das tomadas de sangria depende naturalmente da pressão ou temperatura requerida para um propósito particular.

> MAIS COBRADO
>
> **O AR** é frequentemente EXTRAÍDO DO ÚLTIMO ESTÁGIO ou estágio de pressão mais elevado, uma vez que nesse ponto, a pressão e temperatura do ar estão no máximo.

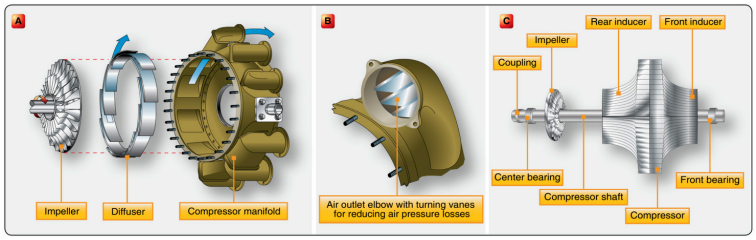
O AR SANGRADO DO MOTOR é utilizado numa ampla variedade de situações, incluindo o ACIONAMENTO DOS ACESSÓRIOS; algumas das aplicações correntes do ar extraído são:

- PRESSURIZAÇÃO, AQUECIMENTO E REFRIGERAÇÃO DA CABINE
- EQUIPAMENTOS DE DEGELO E ANTIGELO
- PARTIDA PNEUMÁTICA DE MOTORES
- UNIDADE DE ACIONAMENTO AUXILIAR (ADU)
  > a apostila IAC traz "APU"
- SISTEMA SERVO DE REFORÇO
- POTÊNCIA PARA ACIONAMENTO DE INSTRUMENTOS

No motor de **FLUXO CENTRÍFUGO,** o compressor está localizado entre a seção de acessórios e a seção de combustão; no motor de fluxo axial o compressor está localizado entre o duto de entrada de ar e a seção de combustão.

Os dois tipos principais de **COMPRESSORES,** sendo utilizados correntemente em motores TURBOJATOS de aeronaves, são de FLUXO CENTRÍFUGO E AXIAL.

Figura 9 — Compressor centrífugo: impulsor, difusor e coletor



Em inglês	Tradução
A — Impeller	A — Impulsor
Diffuser	Difusor
Compressor manifold	Coletor do compressor
B — Air outlet elbow with turning vanes for reducing air pressure losses	B — Cotovelo de saída com palhetas defletoras para reduzir perdas de pressão
C — Impeller	C — Impulsor
Coupling	Acoplamento
Center bearing	Mancal central
Compressor shaft	Eixo do compressor
Front bearing	Mancal dianteiro
Rear inducer	Indutor traseiro
Front inducer	Indutor dianteiro
Compressor	Compressor

DESCRIÇÃO DIDÁTICA EM INGLÊS	TRADUÇÃO DA DESCRIÇÃO
The centrifugal compressor has an impeller, diffuser, and manifold. The impeller accelerates the air, and the diffuser converts part of its velocity into static pressure. High pressure rise per stage is an advantage of this compressor; axial compressors achieve high overall pressure ratios using many stages.	O compressor centrífugo tem impulsor, difusor e coletor. O impulsor acelera o ar, e o difusor transforma parte da velocidade em pressão estática. A elevada razão de pressão por estágio é uma vantagem deste compressor; compressores axiais obtêm altas razões totais usando vários estágios.

MAIS COBRADO

Nos **MOTORES DE FLUXO CENTRÍFUGO,** o compressor alcança seu propósito, captando a massa de ar de entrada e acelerando-a de dentro para fora através de ação centrífuga. Parte da compressão já é obtida no próprio IMPULSOR (ventoinha); o restante, no DIFUSOR.

No **MOTOR DE FLUXO AXIAL,** o ar é comprimido enquanto continua em sua direção original de fluxo, evitando dessa forma perda de energia causada pelas mudanças de direção (curvas) do fluxo.

a apostila IAC traz "rotação"

Da entrada para a saída, o ar flui por um CAMINHO AXIAL, e é comprimido a uma razão aproximada de 1,25:1 POR ESTÁGIO.

MAIS COBRADO

O COMPRESSOR CENTRÍFUGO consiste basicamente de:

- UM IMPULSOR (ROTOR)
- UM DIFUSOR (ESTATOR)
- UM COLETOR COMPRESSOR.
- OS DOIS PRINCIPAIS ELEMENTOS FUNCIONAIS SÃO O IMPULSOR E O DIFUSOR.

O IMPULSOR é geralmente fabricado em liga de alumínio forjado, tratado termicamente, usinado e polido para restrição mínima ao fluxo e turbulência.

O IMPULSOR pode ser de ENTRADA SIMPLES ou de ENTRADA DUPLA. O de ENTRADA SIMPLES permite um DUTO DIRETO e conveniente até o OLHO DO IMPULSOR (aletas indutoras), em vez do duto mais complicado necessário para chegar ao lado traseiro do impulsor de entrada dupla; é ligeiramente mais eficiente na recepção do ar, mas precisa de DIÂMETRO MAIOR para fornecer a mesma quantidade de ar. O de ENTRADA DUPLA tem diâmetro menor e gira em rotação mais alta.

Incluídas em algumas instalações, como **PEÇA ESSENCIAL DA CÂMARA PLENA,** estão as ENTRADAS DE AR AUXILIARES (BLOW-IN DOORS). Essas entradas auxiliares admitem ar para o compartimento do motor durante a operação no solo, quando o ar requerido para o motor excede o fluxo que passa através dos dutos de entrada.

O DIFUSOR é uma CÂMARA ANULAR provida de uma quantidade de aletas formando uma série de passagens divergentes no coletor. As ALETAS DIFUSORAS dirigem o fluxo para reter a máxima quantidade de energia imprimida pelo impulsor. Elas também DISTRIBUEM O AR PARA O COLETOR a uma velocidade e pressão satisfatórias para uso nas câmaras de combustão.

a apostila IAC traz "impelidor"

O COLETOR tem uma SAÍDA PARA CADA CÂMARA, a fim de que o ar seja igualmente dividido.

MAIS COBRADO

O COMPRESSOR DE FLUXO AXIAL tem dois elementos principais:

- ROTOR
- ESTATOR

O rotor tem lâminas fixas a um eixo. Essas lâminas impelem o ar para trás da mesma forma que uma hélice, devido aos seus ângulos e perfil de aerofólio. A AÇÃO DO ROTOR AUMENTA A COMPRESSÃO

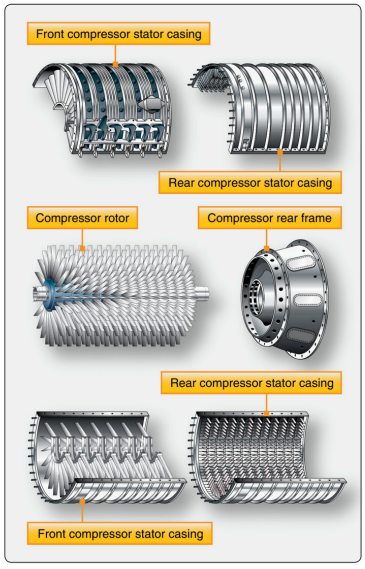
DO AR EM CADA ESTÁGIO e o acelera para trás; em seguida, as lâminas estatoras convertem parte da velocidade em pressão. Assim, no compressor axial, a PRESSÃO SOBE NO ROTOR E NO ESTATOR.

As **LÂMINAS ESTATORAS** atuam como DIFUSORES EM CADA ESTÁGIO, convertendo parcialmente alta velocidade em pressão. CADA PAR CONSECUTIVO DE ROTOR E LÂMINAS ESTATORAS constitui um ESTÁGIO DE PRESSÃO (estágio de compressão) do compressor axial.

O NÚMERO DE FILEIRAS DE LÂMINAS (estágios) é determinado pela quantidade de ar e aumento de pressão total requerido. Quanto maior o número de estágios, mais alta será a taxa de compressão. A maioria dos motores utiliza até 16 estágios ou mais. A TAXA (RAZÃO) DE COMPRESSÃO DO COMPRESSOR é a relação entre a PRESSÃO DE SAÍDA e a PRESSÃO DE ENTRADA do compressor (pressão de saída dividida pela pressão de entrada).

> a apostila IAC traz "de 10 a 16 estágios"

Figura 10 — Compressor axial: rotor e estator



Em inglês	Tradução
Compressor rotor	Rotor do compressor
Front compressor stator casing	Carcaça dianteira do estator do compressor
Rear compressor stator casing	Carcaça traseira do estator do compressor
Compressor rear frame	Estrutura traseira do compressor

DESCRIÇÃO DIDÁTICA EM INGLÊS	TRADUÇÃO DA DESCRIÇÃO
An axial compressor combines successive rotor and stator rows. Adding stages increases the overall pressure ratio. Stage pressure ratios multiply: for eleven equal stages and an overall ratio of 13.75:1, each stage has a ratio of about 1.269:1, not 13.75 divided by 11.	Um compressor axial combina fileiras sucessivas de rotor e estator. A adição de estágios aumenta a razão de pressão total. As razões dos estágios se multiplicam: para onze estágios iguais e razão total de 13,75:1, cada estágio tem razão de aproximadamente 1,269:1, não 13,75 dividido por 11.

A CARCAÇA DO COMPRESSOR, na qual as LÂMINAS ESTATORAS SÃO FIXAS, em alguns casos é dividida horizontalmente em metades. As LÂMINAS ESTATORAS projetam-se radialmente e ficam bem próximas de CADA LADO DE CADA ESTÁGIO DO ROTOR: as PALHETAS DO ROTOR GIRAM ENTRE AS PALHETAS DO ESTATOR. A CARCAÇA DO COMPRESSOR não apenas SUPORTA AS LÂMINAS ESTATORAS e forma a parede externa do caminho do ar, mas também PROVÊ OS MEIOS PARA A EXTRAÇÃO DE AR do compressor para diversos propósitos.

A FUNÇÃO DAS LÂMINAS É DUPLICADA. Elas são projetadas para receber ar do duto de entrada ou de cada estágio precedente do compressor, e distribuí-lo para o estágio seguinte ou para os queimadores, à pressão e velocidade trabalháveis. Além da função difusora, as lâminas estatoras também CONTROLAM A DIREÇÃO DO AR para cada estágio do rotor, corrigindo o desvio do ar que sai das palhetas do rotor, para obter a máxima eficiência das palhetas do compressor.

> MAIS COBRADO
>
> As **PALHETAS DO ROTOR** são geralmente precedidas por um CONJUNTO DE LÂMINAS GUIAS de entrada. As LÂMINAS-GUIA DE ENTRADA, fixas ou variáveis, DIRIGEM O AR para as palhetas do PRIMEIRO ESTÁGIO DO ROTOR no ângulo adequado e imprimem ao ar um PRÉ-REDEMOINHO no sentido de rotação do motor, o que melhora as características aerodinâmicas do compressor, reduzindo o arrasto nas palhetas do primeiro estágio.

> MAIS COBRADO
>
> As **LÂMINAS-GUIA SÃO LÂMINAS DE AÇO CURVAS,** geralmente SOLDADAS A PROTEÇÕES DE AÇO, interna e externamente. As lâminas-guia podem ser precedidas de uma tela de proteção na entrada de ar.

As **LÂMINAS ESTATORAS** são geralmente FABRICADAS DE AÇO, RESISTENTE À CORROSÃO E À EROSÃO. Frequentemente elas são protegidas por uma cinta de material apropriado para simplificar o problema de fixação. As lâminas são soldadas nos reforços, e a cinta externa é presa à parede interna do compressor por meio de parafusos de retenção.

> MAIS COBRADO
>
> As **PALHETAS DO ROTOR** são fabricadas geralmente em AÇO INOXIDÁVEL, com os últimos estágios de TITÂNIO. Quanto aos métodos para fixação das palhetas nas bordas dos discos do rotor, elas são geralmente fixas aos discos por raiz tipo BULBO ou por raiz tipo PINHEIRO. As palhetas do compressor axial têm TORÇÃO DA RAIZ PARA A PONTA, para corrigir o ÂNGULO DE ATAQUE DO AR NA PÁ ao longo do seu comprimento.

As pontas das palhetas do compressor são de espessura reduzida por "cutouts" chamadas de contorno de palhetas.

ROTOR: ele pode ser de construção tipo TAMBOR ou tipo DISCO.

O ROTOR DO TIPO TAMBOR consiste de ANÉIS FLANGEADOS para fixar um contra o outro, em que o conjunto pode então ser preso através de parafusos. Esse tipo de construção é satisfatório para COMPRESSORES DE BAIXA VELOCIDADE onde as tensões centrífugas são baixas.

O ROTOR TIPO DISCO consiste de uma SÉRIE DE DISCOS USINADOS DE ALUMÍNIO FORJADO, encaixados por contração em um eixo de aço, com PALHETAS DO TIPO CAUDA DE ANDORINHA, nas bordas dos discos.

> MAIS COBRADO
>
> Os **ROTORES TIPO DISCO** são usados quase que exclusivamente em todos os MOTORES DE ALTA VELOCIDADE ATUAIS.

Realmente existem duas configurações do compressor axial correntemente em uso, O ROTOR SIMPLES E O ROTOR DUPLO, às vezes chamados de COMPRESSOR TIPO CARRETEL - SÓLIDO E CARRETEL BIPARTIDO, respectivamente.

Em alguns motores, as **ALETAS-GUIA DE ENTRADA** e as primeiras fileiras de aletas estatoras são VARIÁVEIS: seu ângulo é controlado em RELAÇÃO DIRETA COM A POTÊNCIA REQUERIDA DO MOTOR, conforme a posição da manete de potência.

Os motores de fluxo centrífugo e axial dominam o campo das TURBINAS A GÁS.

Analisando os compressores de motores de fluxo centrífugo e axial, o de fluxo axial parece ter vantagens definidas. O advento do COMPRESSOR AXIAL DO TIPO CARRETEL BIPARTIDO tornou essas vantagens bem mais positivas, oferecendo maior flexibilidade de partida e melhorando a performance em grandes altitudes. Comparando dois motores de mesmas características, um com compressor centrífugo e outro com compressor axial, o motor de COMPRESSOR AXIAL tem EMPUXO MAIOR.

As VANTAGENS do compressor de FLUXO CENTRÍFUGO são:

- A ALTA PRESSÃO A CADA ESTÁGIO
- BOA EFICIÊNCIA SOBRE LARGO ALCANCE DE VELOCIDADE ROTACIONAL
- SIMPLICIDADE DE FABRICAÇÃO, ALÉM DO BAIXO CUSTO
- BAIXO PESO
- NECESSIDADE DE BAIXA POTÊNCIA DE PARTIDA

As DESVANTAGENS dos compressores de FLUXO CENTRÍFUGO são:

- EXTENSA ÁREA FRONTAL PARA O FLUXO OBTIDO
- NÃO SÃO PRÁTICOS PARA MAIS DE DOIS ESTÁGIOS, DEVIDO ÀS PERDAS NAS CURVAS ENTRE ESTÁGIOS

As VANTAGENS do compressor de FLUXO AXIAL são:

- ALTO RENDIMENTO MÁXIMO;
- PEQUENA ÁREA FRONTAL PARA UM DADO FLUXO DE AR;
- FLUXO DIRETO, PERMITINDO ALTA EFICIÊNCIA DE IMPACTO;
- ELEVAÇÃO DA PRESSÃO, ATRAVÉS DO AUMENTO DO NÚMERO DE ESTÁGIOS COM PERDAS DESPREZÍVEIS.

As DESVANTAGENS do compressor de FLUXO AXIAL são:

- SÃO EFICIENTES APENAS NUMA ESTRITA FAIXA DE ROTAÇÃO;
- DIFÍCIL FABRICAÇÃO E ALTO CUSTO;
- RELATIVAMENTE PESADO;
- REQUER ALTA POTÊNCIA PARA PARTIDA (ISSO TEM SIDO PARCIALMENTE SUPERADO PELOS COMPRESSORES DIVIDIDOS).

> MAIS COBRADO
>
> **A SEÇÃO DE COMBUSTÃO** encerra o processo de combustão, o qual eleva a temperatura do ar que passa através do motor. Esse processo libera a energia contida na mistura ar/combustível.

A função principal da **SEÇÃO DE COMBUSTÃO** é, naturalmente, queimar a mistura ar/combustível, adicionando dessa forma energia calorífica ao ar. A função do QUEIMADOR na câmara de combustão é semelhante à de um MAÇARICO.

A posição da **SEÇÃO DE COMBUSTÃO** é entre o compressor e as seções da turbina. Na câmara de combustão acontece a EXPANSÃO (que inclui a potência): a queima do combustível EXPANDE O AR AO AQUECÊ-LO. Comparando com os tempos do motor convencional, no motor a reação a ADMISSÃO ocorre na ENTRADA DE AR, a COMPRESSÃO no COMPRESSOR, a EXPANSÃO na CÂMARA DE COMBUSTÃO e o ESCAPAMENTO na SEÇÃO DE ESCAPAMENTO.

> MAIS COBRADO
>
> **Existem três tipos básicos de câmara de combustão. Esses tipos são:**

- CÂMARA MÚLTIPLA OU CANECA;
- ANULAR OU TIPO CESTA;
- CANECA ANULAR, OU CANELAR

A câmara de combustão **TIPO CANECA** é típica dos modelos usados, tanto nos motores de fluxo centrífugo quanto nos de fluxo axial. É particularmente adequada para motores de compressor centrífugo.

> FAA 2012: típica hoje de turboeixos e APUs; os motores modernos geralmente têm câmara anular

Cada câmara de combustão tipo caneca consiste de uma CARCAÇA EXTERNA, dentro da qual existe uma CAMISA DE AÇO INOXIDÁVEL PERFURADA (resistente a altas temperaturas) ou camisa interna.

Os **TUBOS INTERCONECTORES** (propagadores de chama) são peças necessárias das câmaras de combustão TIPO CANECA.

> FAA 2012: nos motores antigos com várias canecas

Devemos ter em mente que as câmaras não apenas devem estar interconectadas por um tubo externo (nesse caso uma virola), mas deve haver também um tubo ligeiramente maior, dentro do tubo externo, para interconectar as camisas das câmaras onde a chama está localizada.

> MAIS COBRADO
>
> Os **TUBOS EXTERNOS OU INVÓLUCROS** em volta dos TUBOS DE INTERCONEXÃO da chama não apenas proporcionam um fluxo de ar entre as câmaras, mas também cumprem uma função isoladora em volta dos tubos de chama.

Os **IGNITORES** anteriormente mencionados são geralmente DOIS, e estão localizados em duas câmaras de combustão tipo caneca.

O ar que entra na câmara de combustão é dividido entre os próprios FUROS, VENEZIANAS E FENDAS em duas correntes principais: ar primário e ar secundário.

> MAIS COBRADO
>
> **O AR PRIMÁRIO OU DE COMBUSTÃO** é dirigido dentro da camisa na extremidade frontal, onde se mistura com o combustível e é queimado.

O AR SECUNDÁRIO OU AR DE REFRIGERAÇÃO passa entre a carcaça externa e a camisa e se junta aos gases de combustão através dos furos maiores em direção à parte traseira da camisa, RESFRIANDO OS GASES DE COMBUSTÃO de cerca de 1.927ºC (3.500ºF) para aproximadamente 815ºC (1.500ºF). As VENEZIANAS e os FUROS ao longo da camisa dirigem uma CAMADA DE AR DE REFRIGERAÇÃO pela parede interna da camisa; essa camada também controla a forma da chama, MANTENDO-A CENTRADA NA CAMISA e EVITANDO A QUEIMA DAS PAREDES DA CAMISA.

> a apostila IAC traz 192ºC

Os **ATOMIZADORES** distribuem o combustível na camisa numa forma finamente atomizada de BORRIFO. Quanto mais fino o borrifo, mais rápido e eficiente é o processo de queima.

Dois tipos de **ATOMIZADORES DE COMBUSTÍVEL** correntemente usados em diversos tipos de câmaras de combustão são os atomizadores simples e os atomizadores duplos.

A CÂMARA DE COMBUSTÃO ANULAR consiste basicamente de um alojamento e uma camisa, assim como a do tipo caneca.

As **VELAS DE IGNIÇÃO** das câmaras de combustão anulares são do mesmo tipo básico utilizado na câmara tipo caneca, embora os detalhes de construção possam variar. Em alguns motores com câmara de combustão ANULAR, olhando o motor DE FRENTE, os ignitores ficam nas posições de 2 E 10 HORAS.

Existem geralmente **DUAS VELAS** instaladas em DOIS ORIFÍCIOS providos em cada carcaça de câmara.

O COMPRESSOR BIPARTIDO requer dois eixos concêntricos ligando os estágios da turbina aos seus respectivos compressores. Nos motores de dois eixos, a rotação do compressor de BAIXA PRESSÃO (primeiro estágio) é indicada como N1 e a do compressor de ALTA PRESSÃO (segundo estágio) como N2; o N2 é o eixo que o motor de partida gira e cuja RPM o controle de combustível governa (glossário FAA: "N1. A symbol representing the rotational speed of the low-pressure compressor"; "N2. ... of the high-pressure compressor"). No motor de compressor duplo, o ar passa PRIMEIRO PELO COMPRESSOR DE BAIXA PRESSÃO (N1, o primeiro carretel; nos grandes turbofans, ele inclui o fan na frente) e DEPOIS PELO COMPRESSOR DE ALTA PRESSÃO (N2, o segundo carretel), que fornece o ar à seção de combustão.

As câmaras de combustão tipo **CANECA ANULAR** são montadas radialmente em volta do eixo do motor, sendo o eixo nesse caso a carcaça do eixo do rotor. A câmara CANECA ANULAR (CANELAR) consiste em CANECAS INDIVIDUAIS, nas quais o combustível é pulverizado e inflamado, montadas num DUTO ANULAR: combina as câmaras tipo caneca e anular.

> FAA 2012: esse tipo de câmara não é usado nos motores modernos

> MAIS COBRADO
>
> Os **QUEIMADORES** estão interligados por TUBOS DE CHAMA SALIENTE, os quais facilitam o processo de partida do motor (como mencionado anteriormente na familiarização da câmara de combustão tipo caneca).

O FUNDO DAS CÂMARAS DE COMBUSTÃO dispõe de dois orifícios para instalação das velas.

As ALETAS DE TURBILHONAMENTO desempenham DUAS IMPORTANTES FUNÇÕES imperativas para a propagação adequada da chama:

- ALTA VELOCIDADE DE CHAMA: MELHOR MISTURA DE AR E COMBUSTÍVEL, ASSEGURANDO QUEIMA ESPONTÂNEA
- BAIXA VELOCIDADE DO AR, AXIALMENTE: O TURBILHONAMENTO EVITA QUE A CHAMA SE PROPAGUE MUITO RÁPIDO

As **ALETAS DE TURBILHONAMENTO** ajudam em muito a propagação da chama, uma vez que É DESEJADO UM ALTO GRAU DE TURBULÊNCIA na combustão precoce e nos estágios de refrigeração.

As câmaras de combustão caneca anular também devem ter as válvulas dreno requeridas, localizadas em dois ou mais dos fundos das câmaras, assegurando a drenagem apropriada e a eliminação do combustível residual para a partida seguinte.

Um **SISTEMA ESPECIAL DE DEFLETORES** é utilizado para provocar uma turbulência no fluxo de ar.

MAIS COBRADO

A TURBINA transforma uma quantidade de energia cinética dos gases de escapamento em ENERGIA MECÂNICA, para acionar o compressor e acessórios. A QUANTIDADE EXATA DE ENERGIA ABSORVIDA PELA TURBINA é determinada pela CARGA que ela aciona: o TAMANHO E O TIPO DO COMPRESSOR, a QUANTIDADE DE ACESSÓRIOS e, no turboélice, a hélice e suas engrenagens de redução.

MAIS COBRADO

Essa é a **ÚNICA FINALIDADE DA TURBINA** do gerador de gás e essa função absorve aproximadamente 60 A 70% DA ENERGIA TOTAL de pressão dos gases de escapamento.

> a apostila IAC traz 60 a 80%

A seção da turbina de um motor TURBOJATO está localizada na parte traseira ou a jusante da seção da câmara de combustão.

O CONJUNTO DA TURBINA consiste de dois elementos básicos:

- ESTATOR
- ROTOR

O ESTATOR é conhecido por uma variedade de nomes, como: aletas guias dos bocais da turbina e aletas guias da turbina. As aletas guias dos bocais da turbina estão localizadas após a câmara de combustão e imediatamente à frente da roda da turbina. Ali, na ENTRADA DA TURBINA DE ALTA PRESSÃO, está a TEMPERATURA MAIS ALTA que entra em contato com componentes metálicos do motor.

A função das ALETAS GUIAS DA TURBINA é dupla:

- O TRABALHO DOS BOCAIS EJETORES É PREPARAR O FLUXO DA MASSA DE AR PARA ACIONAMENTO DO ROTOR DA TURBINA.
- A SEGUNDA FINALIDADE DOS BOCAIS EJETORES DA TURBINA É DEFLETIR OS GASES PARA UM ÂNGULO ESPECÍFICO NA DIREÇÃO DE ROTAÇÃO DA RODA DA TURBINA.

MAIS COBRADO

A câmara de combustão deve **RESFRIAR** os produtos da combustão para uma temperatura na qual as palhetas da turbina possam resistir sob condições de operação.

O número de aletas empregadas varia com os diferentes tipos e tamanhos dos motores.

As aletas têm que ser construídas para permitir a EXPANSÃO TÉRMICA.

O ROTOR DA SEÇÃO DA TURBINA consiste essencialmente de um eixo e uma roda.

A RODA DA TURBINA é uma unidade BALANCEADA DINAMICAMENTE, consistindo de lâminas presas a um disco rotativo.

Existe folga suficiente entre a raiz das aletas e os entalhes para permitir o movimento das aletas quando o DISCO ESTÁ FRIO. Durante a operação do motor, a expansão do disco diminui a folga. Isso faz com que a raiz da aleta fique justa na borda do disco.

O EIXO DA TURBINA é geralmente fabricado de LIGA DE AÇO. O eixo deve ser capaz de absorver os altos torques que são exercidos sobre ele.

> a apostila IAC traz "quando é dada partida num compressor de fluxo axial"

> MAIS COBRADO
> Existem diversos meios de **FIXAR PALHETAS,** alguns similares à fixação das aletas do compressor. O método mais satisfatório usado é o FORMATO PINHEIRO.

As palhetas são presas às suas **RESPECTIVAS RANHURAS** por uma variedade de métodos. Alguns dos mais comuns são MARTELAGEM, SOLDAGEM, FRENAGEM E REBITAGEM.

As palhetas da turbina podem ser **FORJADAS OU FUNDIDAS,** dependendo da composição da liga. A maioria das aletas é fundida com precisão e usinada para a forma desejada.

> MAIS COBRADO
> **UM ESTÁGIO DE TURBINA** consiste de UMA FILEIRA DE ALETAS ESTACIONÁRIAS, SEGUIDA DE UMA FILEIRA DE LÂMINAS ROTATIVAS. Em alguns modelos de motores turboélice, tanto quanto cinco estágios de turbina têm sido utilizados com sucesso.

Nas **TURBINAS DE ROTOR COM ESTÁGIO SIMPLES,** a potência é desenvolvida por um rotor e todas as peças acionadas pelo motor são acionadas por essa roda simples.

Na **TURBINA COM MÚLTIPLOS ROTORES** a potência é desenvolvida por dois ou mais. É possível cada rotor de turbina acionar uma peça separada do motor.

SEÇÃO DE ESCAPAMENTO: eles têm que dirigir o fluxo de gases quentes para trás, de maneira a evitar turbulência e ao mesmo tempo conceder uma alta velocidade final ou de saída para os gases.

A seção de escapamento está **LOCALIZADA ATRÁS DA SEÇÃO DA TURBINA,** e termina quando os gases são ejetados na parte traseira, na forma de um jato de alta velocidade.

> MAIS COBRADO
> **O CONE DE ESCAPAMENTO** coleta os gases descarregados da palheta da turbina e, gradualmente, converte esses gases num jato sólido.

O conjunto do cone de escapamento consiste de um revestimento externo ou duto, um cone interno, TRÊS OU QUATRO LONGARINAS RADIAIS OCAS OU ALETAS, e a quantidade necessária de tirantes para ajudar as longarinas a suportar o cone interno do duto.

O revestimento externo, ou duto, é geralmente fabricado de AÇO INOXIDÁVEL, e é preso ao flange traseiro da carcaça da turbina.

> MAIS COBRADO
>
> As **LONGARINAS RADIAIS** têm uma função duplicada. Elas não apenas fixam o cone interno ao duto de escapamento, como também desempenham a importante missão de ALINHAMENTO DOS GASES DE ESCAPE, que, de outra forma, deixariam a turbina a um ângulo de aproximadamente 45º.

O conjunto do cone de escapamento completa o motor básico. Os componentes restantes (bocal de descarga e bocal ejetor) são geralmente considerados componentes da fuselagem.

O BOCAL DE DESCARGA é geralmente fabricado com CARACTERÍSTICAS SEMIFLEXÍVEIS. Mais uma vez, a necessidade dessas características depende do seu comprimento.

> MAIS COBRADO
>
> Em alguns **BOCAIS DE ESCAPE,** uma MONTAGEM DE FOLES é incorporada à sua construção, permitindo movimentos tanto na instalação quanto na manutenção, além da expansão térmica. Isso ELIMINA AS TENSÕES E DEFORMAÇÕES que, de outra forma, estariam presentes.

A irradiação de calor do cone e bocal de escapamento pode danificar os componentes da estrutura em volta dessa unidade. Por essa razão, alguns processos de isolamento devem ser idealizados.

Existem diversos métodos disponíveis para proteção da estrutura da fuselagem, sendo os dois mais comuns a MANTA DE ISOLAMENTO e as PROTEÇÕES DE ISOLAMENTO.

Embora essas mantas protejam a fuselagem da irradiação de calor, elas são utilizadas, principalmente, para REDUZIR PERDAS DE CALOR do sistema de escapamento.

Existem dois tipos de projetos de bocal ejetor:

- **CONVERGENTE,** para velocidades SUBSÔNICAS dos gases.
- **CONVERGENTE-DIVERGENTE,** para velocidades SUPERSÔNICAS dos gases.

O DIFUSOR é a seção divergente do motor. Tem a importante FUNÇÃO DE TROCAR A ALTA VELOCIDADE DO AR DE DESCARGA DO COMPRESSOR para pressão estática. Isso prepara o ar para entrar nos queimadores à baixa velocidade, de forma que irá queimar sem que apague. O difusor fica ENTRE O COMPRESSOR E A CÂMARA DE COMBUSTÃO; por isso, a MAIOR PRESSÃO ESTÁTICA do motor está na ENTRADA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.

O ROTOR do motor é uma combinação dos rotores do compressor e da turbina em um eixo comum. O EIXO COMUM LIGA OS EIXOS DA TURBINA E DO COMPRESSOR por um método conveniente. O rotor está apoiado por mancais, os quais estão apoiados em convenientes caixas de mancais.

Os **MANCAIS PRINCIPAIS** têm a função crítica de SUPORTAR O ROTOR PRINCIPAL.

> MAIS COBRADO
> Os **ROTORES DE TURBINA A GÁS** são geralmente suportados, ou por MANCAIS DE ESFERAS, ou de ROLETES.

MANCAIS HIDRODINÂMICOS OU TIPO DESLIZANTE estão recebendo alguma atenção quanto ao uso em turbinas, onde a velocidade de operação do rotor APROXIMA-SE DE 45.000 RPM e onde são previstas excessivas cargas nos mancais durante o voo.

Os mancais ANTIFRICÇÃO DE ESFERAS OU ROLETES são preferidos, uma vez que eles:

- Oferecem pouca resistência à rotação;
- Facilitam a precisão de alinhamento dos elementos rotativos;
- São relativamente baratos;
- São facilmente substituídos;
- Resistem às sobrecargas momentâneas;
- São de fácil refrigeração, lubrificação e manutenção;
- Acomodam tanto cargas radiais quanto axiais;
- São relativamente resistentes a temperaturas elevadas.

> MAIS COBRADO
> Devido ao fato de os **MANCAIS DE ROLETES** apresentarem uma superfície de trabalho maior, eles são mais bem equipados para SUPORTAR CARGAS RADIAIS que cargas de tração. Portanto, eles são utilizados primariamente para esse propósito.

> MAIS COBRADO
> **O SELO DE ÓLEO** pode ser O LABIRINTO OU DO TIPO FIO HELICOIDAL. Esses selos também podem ser pressurizados para minimizar o vazamento de óleo ao longo do eixo.

O SELO LABIRINTO é geralmente pressurizado, porém o selo helicoidal depende apenas do ROSQUEAMENTO REVERSO para impedir o vazamento. Esses dois tipos de selos são similares, diferindo apenas no tamanho do fio, e no fato de que o selo labirinto é pressurizado.

Outro tipo de **SELO DE ÓLEO** utilizado em alguns dos motores mais recentes é o SELO DE CARBONO. Esses selos são geralmente CARREGADOS POR MOLA e são similares quanto ao material e aplicação às escovas de carvão utilizadas em motores elétricos.

O MOTOR TURBOÉLICE é a combinação de uma turbina a gás e uma hélice. A turbina a gás gira a hélice através de uma CAIXA DE ENGRENAGENS DE REDUÇÃO DE VELOCIDADE: a HÉLICE GIRA MAIS DEVAGAR QUE O COMPRESSOR.

Contudo, a diferença é que a turbina no motor turboélice geralmente tem mais estágios que a do motor TURBOJATO. Esses ESTÁGIOS EXTRAS extraem a energia que ACIONA A HÉLICE: além de acionar o compressor e os acessórios, a TURBINA do turboélice transmite potência para a frente, através de um eixo e de um trem de engrenagens, para acionar a hélice.

Os **GASES DE ESCAPAMENTO** também contribuem para a potência entregue pelo motor através da REAÇÃO, embora a quantidade de energia disponível para o empuxo seja consideravelmente reduzida.

Um **MOTOR DE TURBINA A GÁS** que entrega potência através de um eixo para acionar alguma coisa além da hélice é chamado de MOTOR TURBOEIXO (turboshaft).

> a apostila IAC traz "motor à turbina"

> MAIS COBRADO
>
> **O MOTOR TURBOFAN** é, a princípio, o mesmo que o turboélice, exceto que a hélice é substituída por uma VENTOINHA AXIAL DO DUTO. A ventoinha pode ser parte das palhetas do primeiro estágio do compressor ou pode ser montada como um conjunto separado de palhetas. As PÁS DO FAN são MENORES que as pás da hélice de um turboélice. Com a mesma velocidade na ponta das pás, o fan, de raio menor, gira com ROTAÇÃO MAIOR que a hélice, de raio maior (velocidade de ponta = rotação x raio).

O princípio geral do motor **TURBOFAN** é converter o máximo de energia do combustível em pressão.

Uma das grandes vantagens é que o TURBOFAN produz esse empuxo adicional sem aumento do fluxo de combustível. O resultado final é ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL com consequente aumento no alcance. Os turbofans podem ser de BAIXO ou de ALTO BYPASS: a quantidade de ar desviada ao redor do núcleo do motor (fluxo secundário) determina a RAZÃO DE BYPASS, característica do TURBOFAN (também chamado bypass engine). Nos turbofans dos aviões de linha, o fan produz cerca de 80% do empuxo do motor.

MAIS COBRADO

O princípio usado por um **MOTOR TURBOJATO,** quando ele provê força para mover um avião, baseia-se na LEI DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO DE NEWTON. Essa lei estabelece que para toda ação há uma reação igual e oposta; portanto, se um motor acelerar uma massa de ar, ele aplicará uma força à aeronave. A FORÇA DE PROPULSÃO é obtida pelo DESLOCAMENTO DE UM FLUIDO DE TRABALHO NA DIREÇÃO OPOSTA àquela na qual a aeronave é propelida; isso é uma aplicação da TERCEIRA LEI DE NEWTON (LEI DA AÇÃO E REAÇÃO): o motor acelera o fluido para trás e a aeronave recebe uma força para a frente.

> a apostila IAC traz "segunda lei de Newton", que mostra que uma força é requerida para acelerar uma massa

A FÓRMULA PARA EMPUXO pode ser derivada da segunda lei de Newton, a qual estabelece que a força é proporcional ao produto da massa pela aceleração. Essa lei é expressa na fórmula: F=MXA

MASSA se refere a uma quantidade de matéria, enquanto PESO se refere à atração da gravidade sobre aquela quantidade de matéria. Ao nível do mar, sob condições padrão, um quilo de massa terá o peso de um quilo.

Em qualquer fórmula envolvendo trabalho, o **FATOR TEMPO** tem que ser considerado.

MAIS COBRADO

CICLO DE BRAYTON é o nome dado ao ciclo termodinâmico de um motor de turbina a gás destinado a produzir empuxo.

O ciclo de Brayton é comumente chamado de CICLO DE PRESSÃO CONSTANTE; um termo mais recente é CICLO DE COMBUSTÃO CONTÍNUA. Na etapa de ADIÇÃO DE CALOR (queima do combustível na câmara de combustão), a PRESSÃO PERMANECE RELATIVAMENTE CONSTANTE, mas ocorre um ACENTUADO AUMENTO DE VOLUME.

Os quatro EVENTOS CONTÍNUOS E CONSTANTES são:

- ADMISSÃO
- COMPRESSÃO
- EXPANSÃO (INCLUI POTÊNCIA)
- ESCAPAMENTO.

O PRINCÍPIO DE BERNOULLI (sempre que um fluxo de um fluido qualquer tiver sua velocidade aumentada em um dado ponto, a pressão desse fluxo nesse ponto é menor que no resto do fluxo) é aplicado ao motor a jato através dos projetos de seus dutos de ar. Os dois tipos de dutos são CONVERGENTES E DIVERGENTES. No DUTO CONVERGENTE, a área da seção transversal DIMINUI progressivamente no sentido do fluxo; no DUTO DIVERGENTE, a área AUMENTA no sentido do fluxo (como a seção traseira do duto de admissão supersônico, que funciona como difusor subsônico).

MAIS COBRADO

O DUTO CONVERGENTE aumenta a velocidade e diminui a pressão. O DUTO DIVERGENTE diminui a velocidade e aumenta a pressão. O princípio de convergência é geralmente utilizado para o tubo e bocal de descarga. O princípio de divergência é utilizado no compressor, onde a velocidade do ar é diminuída e o ar pressurizado. A SEÇÃO DE ESCAPAMENTO é um DUTO CONVERGENTE que converte o volume em expansão e a pressão decrescente dos gases numa ALTA VELOCIDADE FINAL: a velocidade dos gases queimados DIMINUI NA TURBINA (que transforma energia de velocidade em energia mecânica) e volta a AUMENTAR NO BOCAL PROPULSOR.

A EFICIÊNCIA TÉRMICA é o fator principal no desempenho de uma turbina a gás. É a razão entre o TRABALHO LÍQUIDO produzido pelo motor e a ENERGIA QUÍMICA suprida na forma de combustível.

MAIS COBRADO

Os três fatores mais importantes que afetam a eficiência térmica são: ✓ A TEMPERATURA DA ENTRADA DA TURBINA ✓ A RAZÃO DE COMPRESSÃO ✓ AS EFICIÊNCIAS COMPONENTES DO COMPRESSOR E DA TURBINA

Na turbina a gás, a EFICIÊNCIA TÉRMICA AUMENTA COM A RAZÃO DE COMPRESSÃO; por isso, com MENOR RAZÃO DE PRESSÃO DO COMPRESSOR, o CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTÍVEL AUMENTA.

Outros fatores que afetam a eficiência térmica são:

- TEMPERATURA DA ENTRADA DO COMPRESSOR
- EFICIÊNCIA DOS QUEIMADORES.

R.P.M. é uma medida direta **DE RAZÃO DE COMPRESSÃO;** portanto, à RPM constante, a eficiência térmica máxima pode ser obtida mantendo a temperatura do tubo de escapamento o mais alto possível.

MAIS COBRADO

As três principais variáveis que afetam as condições de entrada de ar são: ✓ A VELOCIDADE DA AERONAVE ✓ A ALTITUDE DA AERONAVE ✓ A TEMPERATURA AMBIENTE

Para simplificar a análise, a combinação dessas três variáveis pode ser representada por uma simples variável, denominada "DENSIDADE DE ESTAGNAÇÃO".

A potência produzida por um motor a turbina é proporcional à densidade de estagnação na entrada.

O EMPUXO melhora rapidamente com a redução da temperatura do ar exterior à altitude, RPM e velocidade da aeronave constantes.

Além disso, **O EMPUXO LIBERADO IRÁ AUMENTAR,** uma vez que o ar em temperaturas reduzidas tem uma densidade aumentada. O aumento na densidade causa o aumento do fluxo de massa através do motor.

> MAIS COBRADO
> Uma vez que o **GRADIENTE DE TEMPERATURA** é menor que o gradiente de pressão, conforme se aumenta a altitude, a densidade é reduzida.

Para explicar o efeito da velocidade da aeronave, é necessário primeiro entender o efeito da velocidade da aeronave sobre os fatores que se combinam para produzir o empuxo liberado. Esses fatores são o EMPUXO ESPECÍFICO e o FLUXO DE AR DO MOTOR.

EMPUXO ESPECÍFICO são os quilogramas de empuxo liberado, desenvolvido por quilograma de fluxo de ar por segundo. Ele é o restante do empuxo específico bruto, menos a resistência aerodinâmica específica.

À BAIXA VELOCIDADE, a redução do empuxo específico é mais rápida que o aumento do fluxo de ar, causando uma redução do empuxo líquido.

Um **AUMENTO NA PRESSÃO NA ENTRADA DO MOTOR,** acima da pressão atmosférica, como resultado da velocidade da aeronave, é denominado IMPACTO.

VERSÃO DEMONSTRATIVA · GMP TURBO 1

Gostou do Capítulo 1?

Esta demonstração traz o capítulo 1 completo. A apostila **GMP TURBO 1** completa tem 5 capítulos:

01	Teoria e Construção de Motores	(nesta demonstração)
02	Sistemas de Admissão e Escapamento	
03	Sistema de Combustível	
04	Sistema de Ignição e Elétrico	
05	Sistema de Partida	

168	33	5
páginas	figuras	capítulos

Quero a apostila completa

hangarmma.com.br/gmp-turbo.html

HANGAR MMA