



**AeroTTD**  
ESCOLA DE AVIAÇÃO CIVIL

**Sistemas de Admissão e Escapamento**

*Prof. Vanderlei dos Reis*



<b>CNPJ</b>	72.443.914/0001-38
<b>Mantenedora</b>	AERO TD ESCOLA DE AVIAÇÃO CIVIL LTDA - ME
<b>Instituição</b>	AERO TD Escola de Aviação Civil
<b>Esfera Administrativa</b>	Privada
<b>Endereço (Rua, N°.)</b>	Rua Madalena Barbi nº 46.
<b>Cidade UF CEP</b>	Bairro: Centro - Florianópolis SC. CEP: 88.015-200
<b>Telefone Fax</b>	(48) 32235191
<b>Eixo Tecnológico:</b>	Infraestrutura
<b>Curso:</b>	Profissionalizante em Manutenção de Aeronaves - Habilitação Grupo Motopropulsor
<b>Carga Horária Total:</b>	1034 horas

## Sumário

Apresentação da Disciplina ..... 4

Módulo I ..... 6 – 23

Módulo II ..... 26 – 38

Módulo III ..... 41 – 56

Módulo IV ..... 58 - 76

## Apresentação da Disciplina

*Caro aluno,*

*Pretendo que a disciplina **Sistemas de Admissão e de Escapamento** seja um instrumento que ofereça a você o conhecimento dos diversos tipos e admissão de ar utilizados nos motores convencionais e nos motores à reação, bem como os tipos de escapamento que também são instalados nestes motores. Você conhecerá a sua finalidade e constituição.*

*O sistema de escapamento nos motores convencionais possui uma função muito diferente em relação aos motores à reação. Este sistema serve mais para limpeza dos cilindros do motor jogando os gases nocivos da queima para fora no ambiente, numa posição que não afete a estrutura da aeronave e não contamine os ocupantes da mesma.*

*Esta disciplina está dividida em quatro módulos:*

*No módulo I iremos falar sobre o Sistema de Admissão dos Motores Convencionais. Neste módulo você irá conhecer os componentes que fazem parte deste sistema, algumas falhas que podem ocorrer, as suas prováveis causas e como corrigir as mesmas.*

*No módulo II iremos falar sobre o Sistema de Superalimentação. Você aprenderá a finalidade deste sistema em um motor convencional, como são utilizados, as principais panes que podem ocorrer nos mesmos e as ações para correção.*

*No módulo III iremos falar sobre os Sistemas de Admissão dos Motores à Reação. Você conhecerá os tipos de admissão de acordo com o tipo de motor e as diferenças entre eles.*

*No módulo IV iremos falar sobre as práticas de manutenção do sistema de escapamento do motor convencional, sobre reversor e empuxo, supressores de ruído e dissipadores de vortex.*

*Peço a você que leia a apostila com muita atenção para que você possa atingir os objetivos desta matéria. Conte comigo para tirar todas as suas dúvidas. Estarei à sua disposição através dos meios de comunicação que a escola irá disponibilizar a você.*

*Bons estudos.*

*Prof. Vanderlei dos Reis*



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1

## MÓDULO I

### SISTEMA DE ADMISSÃO DE MOTORES CONVENCIONAIS

#### INTRODUÇÃO

Caro aluno,

No decorrer deste módulo você verá o sistema de admissão em um motor convencional. Trataremos aqui, os componentes que fazem parte deste sistema, as unidades adicionais, a inspeção e ações de manutenção das principais falhas que possam vir a ocorrer neste sistema. Falaremos também a respeito dos motores superalimentados.

Vamos lá!



## 1.1 SISTEMA DE ADMISSÃO DOS MOTORES CONVENCIONAIS (ALTERNATIVOS)

O sistema de admissão de um motor convencional de aeronave consiste em: um carburador; uma tomada de ar (ou duto que conduz o ar ao carburador); e uma tubulação de admissão. Essas unidades formam um longo canal curvo, que conduz o ar e a mistura ar/combustível aos cilindros.

Esses 3 componentes, que compõem um sistema de admissão típico, são geralmente suplementados por um sistema indicador e por uma unidade de controle de temperatura, apresentados na forma de uma válvula de ar alternativa e de uma fonte de aquecimento do carburador. Adicionalmente pode haver um sistema para compressão da mistura ar/combustível.

Muitos motores instalados em aeronaves leves não usam qualquer tipo de compressor ou superalimentador, porém os sistemas de admissão para motores convencionais podem ter uma classificação genérica de motores superalimentados ou não.

### Sistemas de Admissão de Motores não Superalimentados

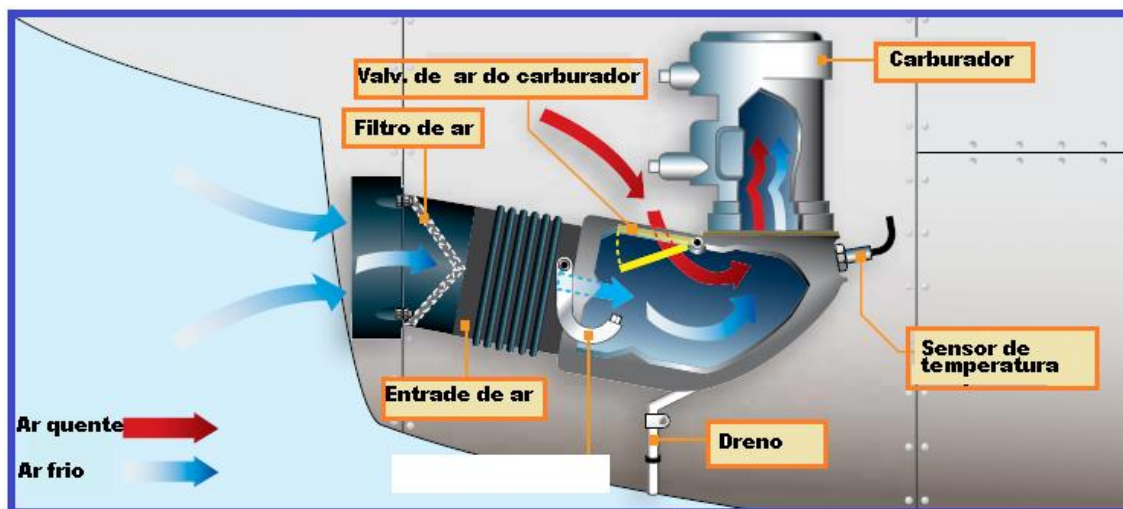
O motor não superalimentado é comumente utilizado em aeronaves leves. O sistema de admissão desses motores pode ser equipado com um carburador ou com sistema de injeção de combustível.

Se for usado um carburador, esse poderá ser do tipo boia ou do tipo pressão. Utilizando a injeção de combustível, esta normalmente será de fluxo constante (por gravidade) ou de alimentação por pressão (pulsed system).

A Figura 2-1 mostra o diagrama de um sistema de admissão em um motor não superalimentado, equipado com um carburador.

Nesse sistema de admissão, o ar frio para o carburador é admitido pelo bordo de ataque da carenagem do nariz, abaixo do cone da hélice e é conduzido através de um filtro de ar até os dutos de alimentação do carburador.

Há no carburador uma válvula, que permite buscar o ar de uma fonte de aquecimento, impedindo a formação de gelo.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1

Figura 2-1 Sistemas de admissão, não superalimentado, usando um carburador.

A válvula de ar frio admite o ar pela tomada externa para a operação normal e é controlada da cabine de comando. A válvula de ar quente admite o ar do compartimento do motor para a operação em condições, onde há formação de gelo e carga de mola para a posição "fechada".

Quando a porta do ar frio é fechada, a seção do motor abre uma válvula de ar quente, que tem carga de mola. Caso haja retorno de chama, enquanto a válvula de ar quente estiver aberta, a tensão da mola fecha a válvula para impedir que as chamas saiam do compartimento do motor.

O filtro de ar do carburador está instalado na tomada de ar em frente ao duto. Sua finalidade é impedir que a poeira ou outros materiais estranhos entrem no motor através do carburador. O filtro de ar consiste em uma armação de liga de alumínio e numa tela de trama bem fechada, para proporcionar o máximo de área de filtragem do fluxo de ar.

Os dutos de ar do carburador consistem em dois dutos, um que é fixo e rebatido à carenagem do nariz e outro flexível entre o fixo e a válvula de ar do carburador.

Os dutos de ar do carburador permitem a passagem de ar externo, ou seja, de ar frio para dentro do carburador.

O ar entra no sistema através de uma tomada de ar de impacto. A abertura dessa tomada de ar está localizada na corrente de ar pressurizada pela hélice, de modo a forçá-lo para dentro do sistema de admissão, dando-lhe um efeito de ar de impacto.

O ar passa através dos dutos para o carburador, este mede o combustível em proporção ao ar admitido e mistura o ar com a quantidade correta de combustível. Da cabine de voo pode-se controlar o carburador na regulagem do fluxo de ar.

O sistema de indicação de temperatura de ar mostra a temperatura do ar medida na entrada do carburador. Se o sensor (bulbo) estiver ao lado do motor e próximo ao carburador, o sistema medirá a temperatura da mistura ar/combustível.

### **Unidades Adicionais do Sistema de Admissão**

As unidades do sistema de admissão típico, como o anteriormente descrito, atendem às necessidades do motor no que se refere à sua capacidade de produzir força.

Existem duas unidades adicionais que não acrescentam nada que auxilie o motor a fazer o seu trabalho, mas que são vitais para que haja uma operação eficiente: uma unidade é o pré-aquecedor e a outra é o degelo com fluido.

A formação de gelo no sistema de admissão pode ser impedida ou eliminada pelo aumento da temperatura do ar que passa através do sistema. Isso é conseguido, utilizando-se de um pré-aquecedor localizado no início da linha, próximo à entrada do sistema de admissão e à frente, portanto, das perigosas zonas de formação de gelo.

O calor é usualmente obtido através da abertura de uma válvula de controle, que permite ao ar quente circular no compartimento do motor, atingindo o sistema de admissão.

Quando há perigo de formação de gelo no sistema de admissão, deve-se mover o dispositivo de controle na cabine de voo para a posição "hot", até que seja obtida uma temperatura de ar no carburador, capaz de proporcionar a proteção necessária.

Obstrução da borboleta por gelo ou qualquer formação de gelo que restrinja a passagem do fluxo de ar ou reduza a pressão nos dutos, pode ser removida pelo uso de calor em todo carburador.

Se o calor obtido no compartimento do motor for suficiente e a sua aplicação for rápida, o gelo será eliminado em questão de poucos minutos. Caso a temperatura no compartimento do motor não seja alta o suficiente para combater o gelo, a capacidade de pré-aquecimento pode ser aumentada fechando-se os flapes de capota e elevando a potência do motor. Isto, entretanto, pode mostrar-se ineficiente se a formação de gelo tiver progredido demais, quando então, a perda de potência tornará impossível gerar calor suficiente para a remoção do gelo.



O uso inadequado do aquecimento do carburador pode ser tão perigoso quanto uma grande formação de gelo nos sistemas de admissão. O aumento da temperatura do ar faz com que este se expanda e perca a densidade. Esta ação faz com que se reduza o peso da carga entregue ao cilindro, levando a uma sensível perda de potência devido à eficiência volumétrica diminuída. Além disso, a alta temperatura do ar de entrada pode causar detonação e falha do motor, especialmente durante a decolagem e em operação com alta potência. Portanto, durante todas as fases de operação do motor, a temperatura do carburador deve ser capaz de proporcionar o máximo de proteção contra a formação de gelo e detonação.

Quando não há perigo de formação de gelo, o controle de calor é normalmente mantido na posição "cold". Será melhor deixar o controle nessa posição, se houver partículas de neve seca ou de gelo no ar. O uso do calor poderá derreter o gelo e a umidade resultante poderá concentrar-se e congelar nas paredes do sistema de admissão.

Para impedir que haja danos às válvulas do aquecedor no caso de retorno de chama, os aquecedores do carburador não deverão ser utilizados durante a partida do motor.

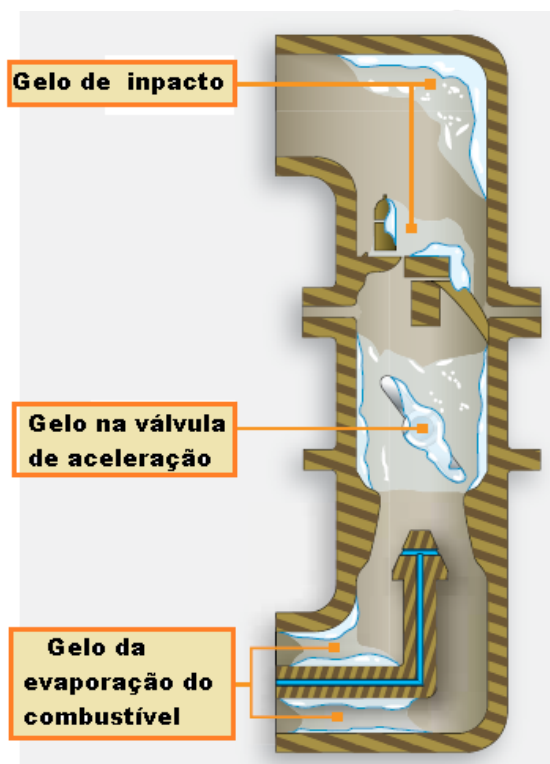
Do mesmo modo, durante a operação no solo deve-se utilizar o calor do carburador apenas na quantidade suficiente que permita uma operação suave do motor. O medidor de temperatura do ar de entrada do carburador deve ser monitorado para que se tenha certeza de que não foi excedido o valor máximo especificado pelo fabricante do motor.

Em algumas aeronaves, o sistema básico de degelo é suplementado por um sistema de degelo fluido. Esse sistema auxiliar consiste em um tanque, uma bomba, bicos de vaporização adequados instalados no sistema de admissão e de uma unidade de controle na cabine de voo. Tal estrutura destina-se a eliminar o gelo, sempre que o calor do compartimento do motor não for alto o suficiente para prevenir sua remoção.

O uso de álcool como agente descongelante tende a enriquecer a mistura de combustível e em regime de alta potência esse leve enriquecimento é desejável. Por outro lado, em regime de baixa potência, o uso do álcool poderá super enriquecer a mistura. Por esta razão, a aplicação de álcool deverá ser feita com muito cuidado.

## 1.2 FORMAÇÃO DE GELO NO SISTEMA DE ADMISSÃO

Uma breve explicação a respeito da formação e dos pontos onde ocorre a formação de gelo no sistema de admissão tem utilidade para o mecânico (figura 2-2), muito embora normalmente ele não esteja concentrado em operações que ocorram quando a aeronave está em voo.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
Figura 2-2 Tipos de gelo no sistema de admissão.

O mecânico deve saber alguma coisa sobre a formação de gelo no sistema de admissão, principalmente por causa do seu reflexo no desempenho do motor.

Mesmo quando a inspeção mostra que tudo está funcionando corretamente, o gelo no sistema de admissão pode levar um motor a falhar e perder potência no ar, ainda que o motor trabalhe perfeitamente no solo. Muitos problemas com motores, comumente atribuídos a outros motivos são, na verdade, causados pela formação de gelo no sistema de admissão.

A formação de gelo no sistema de admissão é um problema operacional perigoso, porque é capaz de cortar o fluxo da carga de ar/combustível ou variar a razão de proporção entre ar e combustível.

O gelo pode se formar no sistema de admissão enquanto a aeronave está voando em nuvens, neblina, chuva, granizo, neve ou até mesmo em céu claro em que o ar tenha uma alta taxa de umidade.

A formação de gelo no sistema de admissão é geralmente classificada em três tipos: gelo de impacto, gelo da evaporação de combustível e gelo na válvula de aceleração.

Para que se entenda porque a operação com potência reduzida leva à formação de gelo, é preciso que se examine a área de produção de forças durante a operação.

Quando a borboleta é colocada em uma posição parcialmente fechada causa, na verdade, uma limitação da quantidade de ar disponível para o motor. O ângulo de planeio, que permite que uma hélice de passo fixo gire em cata-vento, faz com que o motor consuma maior quantidade de ar que o seu normal, agravando, desta forma, a falta de ar atrás da borboleta.

Sob tais circunstâncias, a borboleta parcialmente fechada imprime ao ar que passa por ela, uma velocidade muito maior que a normalmente verificada naquele ponto, produzindo assim, uma área de pressão extremamente baixa. A área de baixa pressão diminui a temperatura do ar em torno das válvulas de aceleração, pela mesma lei física que eleva a temperatura do ar quando este é comprimido.

Se a temperatura do ar cair abaixo do ponto de congelamento e houver presença de umidade, o gelo se formará nas pás da borboleta e nas unidades próximas, do mesmo modo que o gelo de impacto se forma em unidades expostas a temperaturas abaixo do ponto de congelamento.

O gelo na borboleta de aceleração pode ser minimizado em motores equipados com hélices de passo variável, por meio do uso de uma pressão efetiva média ao freio (BMEP-brake mean effective pressure) maior que a normal, aplicada à baixa potência.

A BMEP alta reduz a tendência de formação de gelo, porque uma grande abertura da borboleta com uma baixa r.p.m. do motor, remove parcialmente a obstrução que reduz a temperatura, oferecida pela operação com potência reduzida.

## Filtragem no Sistema de Admissão

Enquanto a poeira é meramente um incômodo para a maioria das pessoas, para o motor de uma aeronave torna-se uma fonte de sérios problemas. A poeira consiste em partículas de material sólido e abrasivo, que pode ser carregado para dentro dos cilindros do motor pelo mesmo ar que é aspirado. Pode formar-se acúmulo de poeira também nos elementos medidores de combustível do carburador, alterando a proporção adequada entre o fluxo de ar/combustível, em todos os regimes de potência.

A poeira pode atuar nas paredes do cilindro, desgastando as superfícies e os anéis do pistão. Com isso, acaba por contaminar o óleo que é passado pelo motor, provocando o desgaste dos rolamentos e engrenagens. Em casos extremos, a poeira pode bloquear uma passagem de óleo, causando danos por falta de lubrificação.

Uma quantidade de poeira já foi encontrada em voo, sendo o suficiente para prejudicar a visibilidade do piloto. Em algumas partes do mundo a poeira pode ser carregada para altitudes extremamente elevadas. Uma operação continuada sob tais condições, sem contar com a proteção para o motor, resultará em um desgaste excessivo, ocasionando um grande consumo de óleo.

Quando for necessária a operação em atmosfera onde tiver poeira, o motor pode ser protegido por uma tomada de ar alternativa para o sistema de admissão, a qual inclui um filtro para poeira.

Esse tipo de filtro de ar consiste normalmente em um elemento filtrante, de uma porta e de um atuador, operados eletricamente. No momento em que o sistema de filtragem está em funcionamento, o ar é conduzido ao motor através de um painel com aletas que não está voltado diretamente para a corrente de ar. Por causa da localização da entrada de ar, uma quantidade considerável de poeira é removida na medida em que o ar é forçado a mudar o seu curso, entrando no duto.

Uma vez que as partículas de poeira são sólidas, têm a tendência de continuar a trajetória em linha reta. As partículas de poeira, que por ventura são levadas para dentro das aletas são facilmente removidas pelo filtro.

Em voo, estando os filtros em funcionamento, há que se considerar todas as possíveis condições em que possa ocorrer a formação de gelo, seja pelo seu acúmulo em superfícies, ou por congelamento do filtro, que venha a ser encharcado por água de chuva.

Algumas instalações apresentam o filtro equipado com uma porta movida por carga de mola, que automaticamente passa à posição aberta quando o filtro fica excessivamente bloqueado. Isto impede que o fluxo de ar seja interrompido quando ocorrer o bloqueio do filtro por formação de gelo ou acúmulo de sujeira. Outros sistemas utilizam uma proteção contra gelo instalada na entrada do ar filtrado.

Essa proteção contra gelo consiste em uma tela grossa, áspera, localizada a uma pequena distância do ar filtrado. Nessa posição, a tela do filtro fica instalada diretamente na trajetória do ar que está sendo aspirado, forçando-o a passar através, ou em torno da tela.

Quando se forma gelo na tela, o ar, que perdeu suas partículas pesadas de umidade, passará contornando a tela congelada, entrando no filtro. A eficiência de qualquer sistema de filtro depende de sua manutenção e serviços adequados. A remoção e limpeza periódica do filtro são essenciais para que se proporcione ao motor uma proteção satisfatória.

### **1.3 INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE ADMISSÃO**

Durante todas as inspeções periódicas de rotina do motor, o sistema de admissão deve ser checado para constatar a existência ou não de rachaduras e vazamentos. Deve ser verificada a segurança da instalação de suportes em todas as unidades do sistema.

O sistema deve ser mantido limpo, uma vez que fibras de tecidos ou pedaços de papel podem vir a restringir o fluxo de ar, se entrar nas tomadas de ar ou dutos.

Parafusos e porcas frouxos podem também causar sérios danos se passarem para dentro do motor.

Em sistemas equipados com filtro de ar do carburador, deve haver uma inspeção regular do filtro.

Se estiver sujo ou sem a película de óleo adequada, o filtro deve ser removido e limpo. Depois de seco, ele é geralmente imerso em uma mistura de óleo e composto anti-ferrugem. O fluido em excesso é então drenado antes de proceder à reinstalação do filtro.

CAUSA PROVÁVEL 1. Falha na partida do motor

#### **Pesquisa de Panes no Sistema de Admissão**

O quadro seguinte fornece uma orientação geral referente às panes mais comuns no sistema de admissão.

CAUSA PROVÁVEL	PROCEDIMENTO DE PESQUISA	CORREÇÃO
<b>1. Falha na partida do motor</b>		
( a ) Sistema de admissão obstruído. ( b ) Vazamento de ar.	( a ) Inspeccionar a tomada e dutos de ar.  ( b ) Inspeccionar o suporte do carburador e dutos de entrada de ar.	( a ) Remover as obstruções. ( b ) Fixar/apertar o carburador, e reparar ou substituir o duto de entrada de ar.
<b>2. Mal funcionamento do motor</b>		
( a ) Dutos de ar soltos. ( b ) Vazamento nos dutos coletores de ar.  ( c ) Válvulas do motor prendendo. ( d ) Hastes de comando das válvula tortas ou desgastadas.	( a ) Inspeccionar a tomada de ar e dutos do ar. ( b ) Inspeccionar o suporte do carburador e dutos de entrada do ar.  ( c ) Remover a tampa dos balancins o eixo de manivelas, e checar a ação da válvula. ( d ) Inspeccionar as hastes.	( a ) Remover as obstruções. ( b ) Fixar/apertar o carburador, e reparar ou substituir o duto de entrada de ar. ( c ) Lubrificar e solte as válvulas que estejam presas. ( d ) Substituir as hastes gastas ou danificadas.
<b>3. Baixa potência</b>		
( a ) Bloqueio no duto coletor de ar. ( b ) Porta quebrada, na válvula de ar para o carburador. ( c ) Filtro de ar sujo.	( a ) Examinar o duto coletor. ( b ) Inspeccionar a válvula de ar. ( c ) Inspeccionar o filtro de ar.	( a ) Remover obstruções. ( b ) Substituir a válvula de ar. ( c ) Limpar o filtro.
<b>4. Motor com marcha lenta irregular</b>		
( a ) Vedação da tomada de ar reduzida. ( b ) Tubo de tomada de ar perfurado.  ( c ) Folga no suporte do carburador.	( a ) Verificar se há desgaste ou deslocamento do vedador. ( b ) Inspeccionar os tubos de tomada de ar.  ( c ) Inspeccionar os parafusos de fixação.	( a ) Substituir a vedação. ( b ) Substituir os tubos de tomada de ar defeituosos. ( c ) Apertar os parafusos de fixação.

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

### Sistemas de Admissão Superalimentados

As superalimentações utilizadas no sistema de admissão dos motores convencionais são normalmente classificadas em superalimentação externa ou interna (motores turboalimentados). Os superalimentadores internos comprimem a mistura ar/combustível, após esta ter deixado o carburador. Já nos motores turboalimentados o ar é comprimido, antes de ser misturado ao combustível dosado pelo carburador.



Cada aumento na pressão do ar ou na pressão da mistura ar/combustível em um sistema de admissão significa um estágio.

Os superalimentadores podem ser classificados como sendo de estágio único, de dois estágios, ou de múltiplos estágios, dependendo do número de vezes em que ocorrer compressão. Os superalimentadores também podem operar em diferentes velocidades. Dessa forma, podem também ser denominados superalimentadores de velocidade única, de duas velocidades, ou de velocidade variável.

A combinação dos métodos de classificação produz a nomenclatura normalmente empregada para que se descrevam os sistemas de superalimentação.

Assim, a partir de um sistema de velocidade única, que opera a uma razão fixa de velocidade, é possível progredir para um sistema de estágio único com duas velocidades engatadas selecionadas mecanicamente, ou de um superalimentador de estágio único com engate de velocidade hidráulico.

Muito embora os sistemas de dupla velocidade ou os de velocidade múltipla permitam uma variação da pressão de saída, o sistema ainda permanece classificado como de estágio único de compressão, se este apresentar apenas um estágio de turbina, uma vez que isto implica num aumento ou decréscimo de compressão obtido por vez.

#### **1.4 TURBOALIMENTADORES ACIONADOS INTERNAMENTE**

Os turboalimentadores são quase que, exclusivamente, utilizados por motores aspirados de alta potência. Excetuando-se a construção e a disposição dos vários tipos de superalimentadores, os sistemas de admissão com turboalimentadores são quase idênticos.

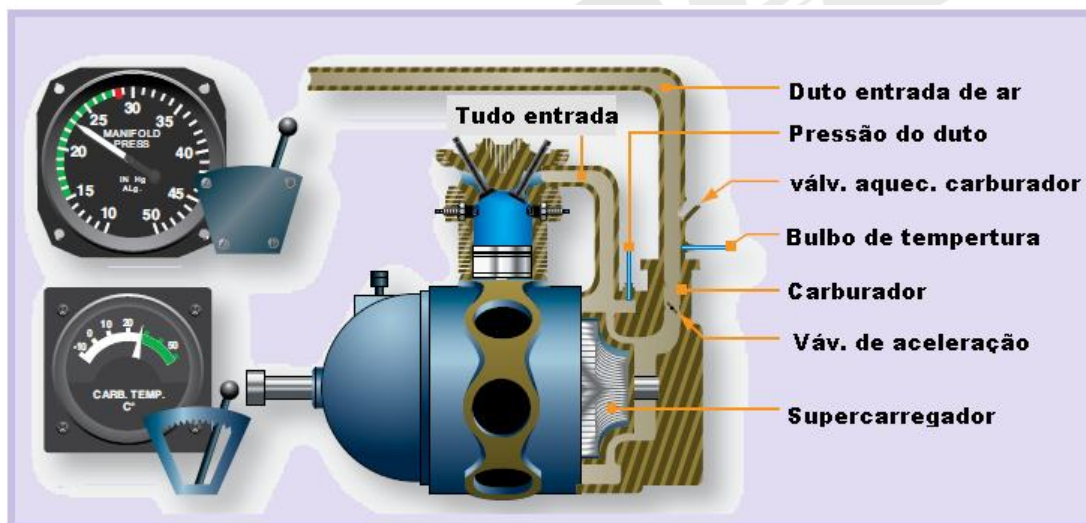
O motivo para esta similaridade está no fato de todos os motores de aeronaves modernas requererem o mesmo controle de temperatura do ar, para que possam produzir uma boa combustão nos cilindros do motor.

Por exemplo, a temperatura da carga de ar deve estar suficientemente aquecida para assegurar uma completa vaporização do combustível e assim sua distribuição uniforme. Contudo, não deve estar tão quente que venha a reduzir a eficiência volumétrica ou causar detonação do combustível.

Na presença desses requisitos, todos os sistemas de admissão que utilizem turboalimentadores devem incluir dispositivos sensores de temperatura e pressão e as unidades necessárias para aquecer ou resfriar o ar.

## Sistemas Turbo Alimentados de Estágio Único

O sistema de admissão simples, mostrado na Figura 2-3, é utilizado para explicar a localização das unidades e a passagem do ar e da mistura ar/combustível. O ar entra no sistema através da tomada de ar de impacto. A abertura dessa tomada de ar está localizada para que o ar seja forçado a entrar no sistema de admissão, produzindo um efeito de ar de impacto.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
Figura 2-3 Sistemas simples de admissão.

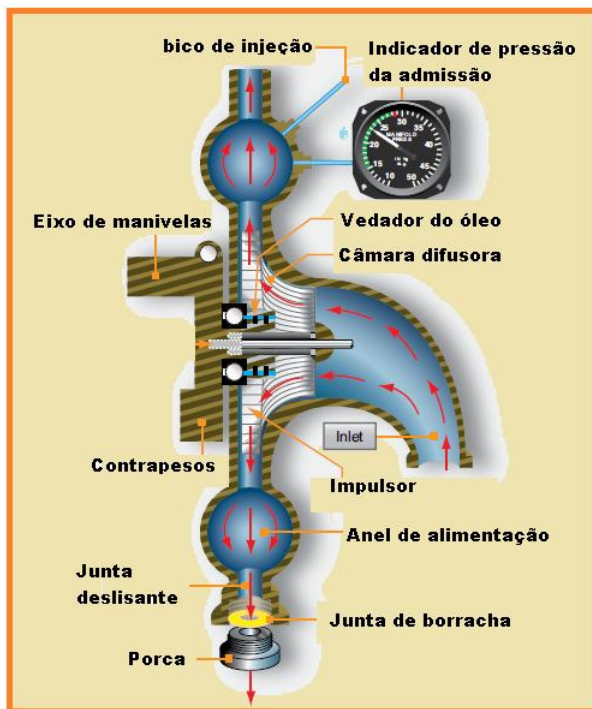
O ar passa através de dutos para o carburador, que mede o combustível em proporção ao ar, misturando-o com uma quantidade correta de combustível. O carburador pode ser controlado da cabine de comando, para que regule o fluxo de ar. Desta forma, pode ser controlada a potência de saída produzida pelo motor.

O medidor de pressão da admissão avalia a pressão da mistura ar/combustível antes que esta entre nos cilindros, passando uma indicação do desempenho que pode ser esperado do motor.

O indicador da temperatura do ar do motor mede tanto a temperatura de ar de entrada quanto à temperatura da mistura de ar/combustível.

Tanto a indicação da temperatura do ar de entrada quanto a da mistura servem como parâmetro para que a temperatura da carga de ar admitido seja mantida dentro dos limites de segurança.

Se na entrada do carburador a temperatura do ar admitido estiver a 100°F, ocorrerá uma queda de temperatura de aproximadamente 50°F devido à vaporização parcial do combustível que sai pelo pulverizador do carburador. Quando acontece a vaporização parcial, a temperatura do ar cai devido à absorção do calor pelo combustível vaporizado. A vaporização final acontece no momento em que a mistura ar/combustível entra nos cilindros, onde encontra uma temperatura mais alta.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1

Figura 2-4 Impulsor de distribuição usando um motor radial.

O combustível, agora pulverizado na corrente de ar que flui dentro do sistema de admissão, está em forma globular (gotículas).

O problema a ser resolvido, então, é o de separar e distribuir uniformemente o combustível remanescente, em forma globular, aos vários cilindros.

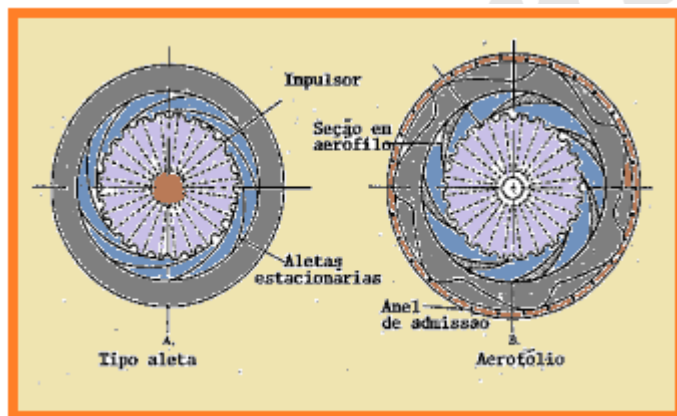
Em motores equipados com um grande número de cilindros, a distribuição uniforme da mistura torna-se um problema ainda maior, especialmente em altas velocidades do motor, quando deve haver um aproveitamento total da grande capacidade de ar.

Um método de melhorar a distribuição de combustível é mostrado na Figura 2-4. Trata-se de um dispositivo conhecido por impulsor de admissão.

O impulsor é acoplado diretamente à haste posterior do eixo de manivelas, preso por parafusos ou pinos.

Uma vez instalado na ponta do eixo de manivelas e operando a mesma velocidade do eixo, o impulsor não tem o papel de materialmente aumentar a pressão da mistura que flui aos cilindros, porém o combustível remanescente, ainda em forma globular, será dividido em partículas menores ao chocar-se com o impulsor, passando a entrar em contato com uma maior porção do ar admitido.

Isso, conseqüentemente, criará uma mistura mais homogênea com uma melhor distribuição aos vários cilindros, especialmente quando houver aceleração do motor, ou em situações em que prevalecerem as baixas temperaturas.



Fonte: BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional

Figura 2-5 Difusor superalimentado (tipos seção aleta e aerofólio).

Quando houver necessidade de uma pressão maior na mistura ar/combustível, que se encontra no sistema de admissão, para que os cilindros fiquem melhor carregados, o difusor (ou blowersection) contará com um impulsor de alta velocidade.

Diferente do impulsor de distribuição, que é conectado diretamente ao eixo de manivelas, o superalimentador (ou blowerimpeller) é acionado por um conjunto de acionamento que se origina no eixo de manivelas.

O difusor tipo Venturi apresenta superfícies lisas, às vezes com seções onde existem maiores ou menores restrições (afunilamento) que produzem o formato geral de um tubo de Venturi, entre as extremidades do impulsor e a seção anular da tubulação.

Esse tipo de difusor tem sido mais amplamente utilizado em motores de média potência, ou nos superalimentados ou ainda naqueles que tenham que trabalhar com menores volumes de misturas e, onde a turbulência da mistura entre as extremidades e a câmara da tubulação não seja crítica.

Em motores de grande volume, variando de 450 hp para mais, nos quais o volume da mistura tenha que ser trabalhado em velocidades mais altas e a turbulência é o fator mais importante, são mais utilizados os difusores do tipo aleta ou aerofólio.

A secção de aletas ou de aerofólio torna o fluxo de ar mais reto dentro da câmara difusora, para que se imprima aos gases um fluxo mais eficiente.

As tubulações de admissão em modelos de motores mais antigos estendiam-se em linha reta desde o anel de alimentação até o ponto de entrada no cilindro.

Em projetos mais recentes, os tubos de admissão estendem-se do anel em uma tangente, apresentando uma curvatura enquanto segue em direção ao ponto de entrada do cilindro, a qual também recebeu um formato aerodinâmico, tornando mais eficiente o fluxo de gases que entram. Isto reduz a turbulência ao mínimo.

Este tem sido um dos métodos importantes de conseguir aumento da capacidade de admissão de ar ou de volume de ar que um determinado tipo de motor possa requerer. Os aumentos na eficiência do superalimentador têm sido um dos principais fatores que contribuem para o aumento da potência produzida pelos motores modernos.

A razão de torque do conjunto de engrenagens do impulsor varia aproximadamente 6:1 até 12:1.

A velocidade do impulsor instalado em um motor, tendo 10:1 de razão de torque do conjunto e engrenagens e operando a 2.600 r.p.m. seria de 26.000 r.p.m.

Isto requer que a unidade impulsora seja uma peça cuidadosamente desenhada e construída, com alto grau de tolerância de forjamento e geralmente feita de liga de alumínio.

Por causa do alto grau de torque dos conjuntos de acionamento, criam-se forças de aceleração e desaceleração consideráveis quando a velocidade do motor é aumentada ou diminuída rapidamente, exigindo que o impulsor seja travado em seu eixo.

Além disso, é preciso que entre o eixo de manivelas e o impulsor seja incorporado ao conjunto de acionamento algum dispositivo antichoque ou com carga de mola.

Geralmente existe uma vedação de óleo (selo) em torno do eixo do impulsor logo à frente da unidade impulsora. As funções da vedação do selo nessa unidade são as de minimizar a passagem de óleo lubrificante e de vapores, que possam vir da caixa do eixo de manivelas para dentro da câmara difusora quando o motor estiver em marcha lenta, e também, de minimizar o vazamento da mistura ar/combustível quando a pressão exercida sobre a mistura for maior em regime de potência total (de acelerador aberto).

O espaçamento entre a seção do difusor e o impulsor será obtido pela variação do comprimento do selo de óleo, ou da espessura dos espaçadores, comumente chamados de calços. É preciso que haja pouco espaçamento para que seja dada a maior compressão possível à mistura como também para eliminar, tanto quanto for possível, o vazamento em torno das superfícies dianteira e posterior do impulsor.

Os conjuntos de eixo intermediário de acionamento podem ser montados sobre uma cabeça esférica antiatrito ou sobre rolamentos ou buchas de atrito.

O eixo do impulsor e a engrenagem são geralmente forjados integralmente em aço de alto grau de tolerância. A extremidade do eixo que se liga ao impulsor é chavetada para proporcionar uma superfície de acionamento maior possível.

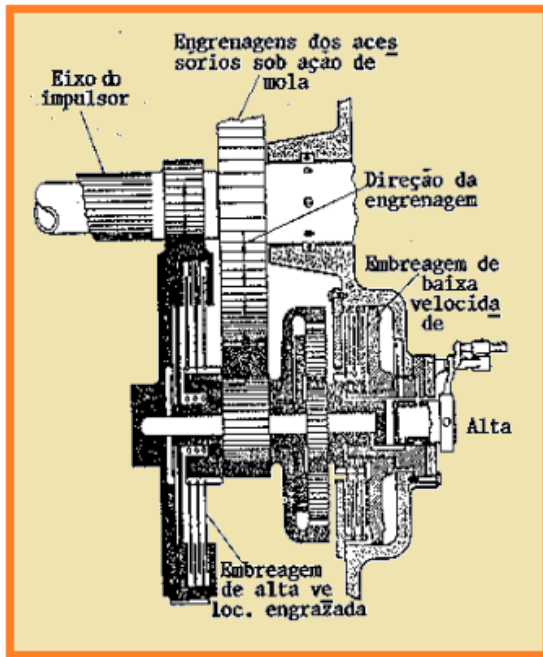
O eixo intermediário, as engrenagens grandes e pequenas também formam uma única peça. Ambas as unidades são mantidas com limites dinâmicos ou equilíbrio de funcionamento bastante próximas, devido às altas velocidades e esforços envolvidos.

### **Sistemas Super Alimentadores de Estágio Único e Duas Velocidades**

Alguns motores de aeronave são equipados com superalimentadores, acionados internamente, que são sistemas de estágio único e duas velocidades. Em tais sistemas, o impulsor pode ser acionado em duas velocidades diferentes por meio de embreagens.

Esta unidade é equipada com um dispositivo que permite acionar o impulsor diretamente do eixo de manivelas a uma razão de torque de 10:1, ação esta que é realizada ao mover-se o controle correspondente na cabine de voo, desta forma aplicando pressão de óleo através da embreagem de alta velocidade, travando com isso todo o conjunto de embreagens intermediárias.





Fonte: BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional

Figura 2-6 Diagrama de superalimentador de duas velocidades, em alta razão.

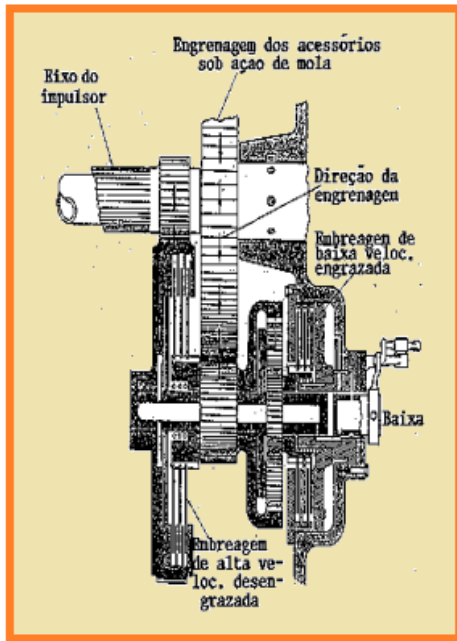
Tal operação é conhecida pelo nome de "high blower", sendo empregada acima de uma altitude especificada entre 7.000 e 12.000 pés.

Abaixo desses níveis, o controle é posicionado para liberar a pressão da embreagem de alta velocidade e aplicá-la à de baixa velocidade. Isto trava o pinhão sol da engrenagem planetária pequena.

O impulsor é, então, acionado pelo conjunto de eixo e de aranha, onde os pinhões planetários giram por ação de uma grande alavanca em cotovelo. Neste caso, o impulsor é acionado a uma razão de 7:1 relativa à velocidade do eixo de manivela (ver figura 2-7).

Essa condição é chamada "lowblower", e é utilizada durante a decolagem e em todas as altitudes, abaixo daquelas em que se obtenha maior eficiência com "high blower".

Combustível de maior graduação deve ser usado para suportar as pressões adicionais e, em alguns casos, temperaturas mais altas são criadas na câmara de combustão em consequência da alimentação de combustível mais completa sendo entregue ao cilindro.

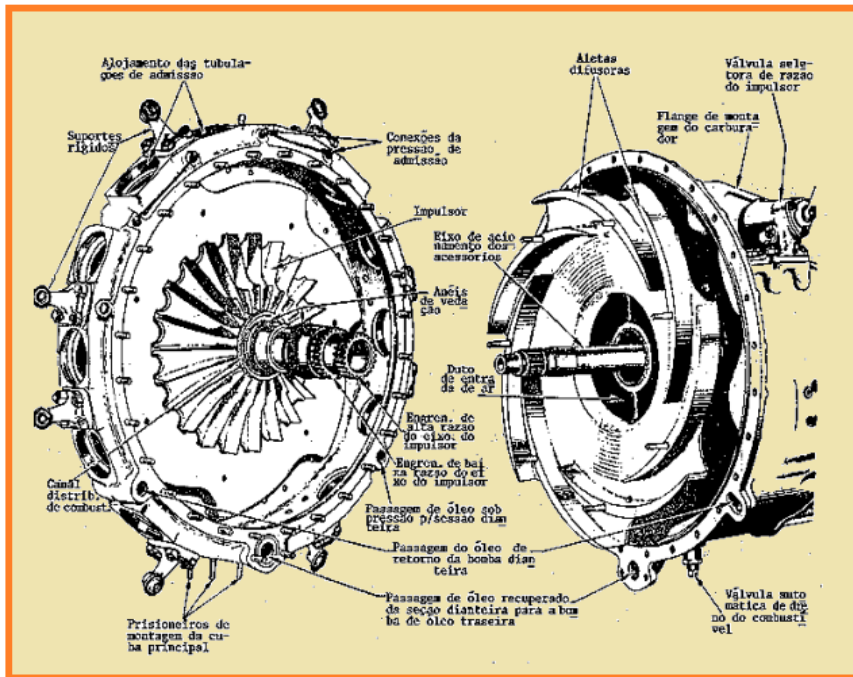


Fonte: BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional

Figura 2-7 Diagrama de superalimentador, de duas velocidades, em baixa.

O acréscimo dessa unidade também complica a operação do grupo motopropulsor, porque este passa a requerer mais atenção e acrescenta mais variáveis que devem ser controladas. Outro exemplo de sistema superalimentador de dois estágios e duas velocidades é mostrado na figura 2-8, onde as seções da ventoinha e da intermediária posterior estão abertas para mostrar sua construção interna.

Nesse exemplo, a carcaça da ventoinha serve de suporte para o motor na aeronave. Sua circunferência externa apresenta oito peças de apoio para os suportes de montagem do motor.



Fonte: BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional

Figura 2-8 Compressor e seções intermediárias e traseira.

Uma camisa no centro da carcaça acomoda os anéis de vedação de óleo, que se encontram no suporte frontal de anéis do eixo do impulsor. A carcaça da ventoinha abriga o impulsor que é acionado por embreagens à razão de 7,15 ou 8,47 vezes a velocidade do eixo de manivelas. Um canal anular em torno da carcaça leva a mistura de ar e combustível do impulsor aos 14 pontos de saída da carcaça.

Conectado a cada uma dessas saídas, encontra-se um tubo de admissão, através do qual a mistura ar/combustível prossegue em direção à válvula de admissão do respectivo cilindro.

## 1.5 SUPERALIMENTADORES ACIONADOS EXTERNAMENTE

Os superalimentadores acionados externamente destinam-se a entregar ar comprimido à entrada do carburador ou da unidade de controle de ar/combustível de uma aeronave. Esses superalimentadores retiram sua força da energia dos gases de escape do motor, direcionados contra algum tipo de turbina. Por este motivo, são comumente chamados turbosuperalimentadores.





*Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1*

## MÓDULO II

### SISTEMA DE TURBOSUPERALIMENTADORES

#### INTRODUÇÃO

Caro aluno,

No módulo anterior nosso olhar esteve voltado para sistema de admissão dos motores convencionais, para os componentes que fazem parte da sua constituição, a panes que possam vir a ocorrer no mesmo e como corrigi-las.

Vimos também os superalimentadores e a finalidade dos mesmos.

Neste módulo você irá conhecer o sistema de Turbosuperalimentadores para motores convencionais que são instalados em aeronaves que voam em grandes altitudes.

Vamos lá!

## **2.1 SISTEMA DE TURBOSUPERALIMENTADOR PARA GRANDES MOTORES CONVENCIONAIS**

Em aeronaves que voam a grandes altitudes, o superalimentador interno é suplementado por um turbosuperalimentador externo, acionado por uma porção dos gases de escapamento do motor da aeronave.

Esse tipo de superalimentador é montado à frente do carburador, conforme mostra a figura 2-10, para que possa pressurizar o ar na entrada do carburador. Se a pressão do ar, que está entrando no carburador, é mantida a uma densidade próxima a do nível do mar durante a subida da aeronave para altitude, não haverá nenhuma perda de potência como ocorre em aeronaves não equipadas com turbos. Entretanto, esse tipo de superalimentador impõe certas condições ao sistema de admissão, as quais não são necessárias em outras instalações de superalimentadores.

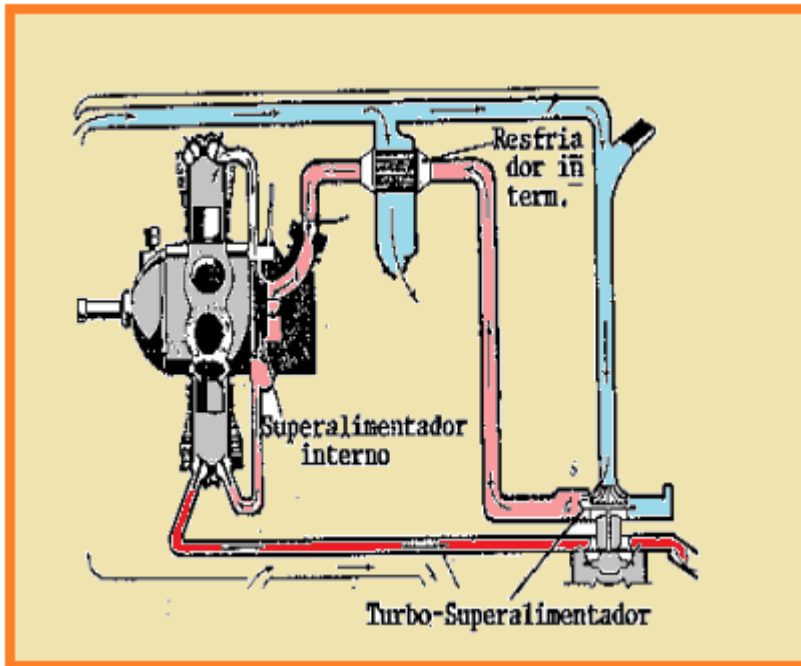
Na medida em que o ar se desloca através do turbo, sofre um aumento de temperatura causado pela compressão.

Se a massa de ar quente não for adequadamente resfriada antes de atingir o superalimentador interno, o segundo estágio de superalimentação produzirá na massa de ar uma temperatura final excessivamente elevada. O ar, nos sistemas de admissão equipados com turbos, é feito por um resfriador intermediário (figura 2-10), assim chamado porque resfria a massa de ar entre os estágios de compressão, ao invés de fazê-lo somente após o último estágio.

O ar quente flui através dos tubos desse resfriador intermediário, de um modo semelhante ao fluxo da água dentro do radiador de um automóvel.

Uma massa de ar fria externa, separada da massa de ar quente, é coletada e conduzida ao resfriador intermediário para que flua sobre os tubos, resfriando-os.





Fonte: BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional

Figura 2-10 Sistemas de admissão com turbosuperalimentador.

Na medida em que a massa de ar de admissão flui através dos tubos, seu calor é removido até atingir um grau de resfriamento, que possa ser tolerado pelo motor sem que ocorra detonação do combustível.

O controle sobre a massa de ar de resfriamento é exercido pelas comportas do resfriador intermediário, que regulam a quantidade de ar que passa sobre e em torno dos tubos cheios de ar quente.

Um turbosuperalimentador típico é composto de três partes principais:

- (1) O conjunto do compressor;
- (2) O conjunto de turbina de gás;
- (3) A carcaça da bomba e dos rolamentos.

Essas seções são mostradas na figura 211. Além dos conjuntos principais, há uma placa defletora entre a caixa do compressor e a turbina dos gases de escape, a qual direciona o ar de resfriamento para a carcaça da bomba e dos rolamentos, protegendo o compressor do calor irradiado pela turbina.

Em instalações onde não há quantidade suficiente de ar de resfriamento, o defletor é substituído por uma carenagem que recebe seu ar diretamente do sistema de admissão.

O conjunto de compressão ("A" da figura 2-11) é formado por um impulsor, um difusor e uma carcaça.

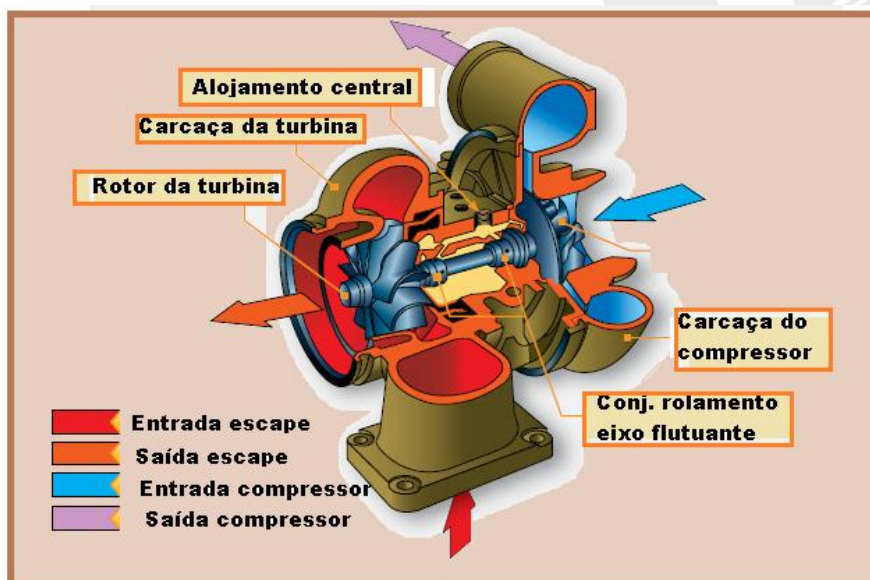
Para o sistema de admissão, o ar entra através de uma abertura circular situada no centro da carcaça do compressor, onde ele é coletado pelas pás do impulsor e onde adquire velocidade à medida que se desloca para frente em direção do difusor.

As aletas do difusor direcionam o fluxo de ar, quando este deixa o impulsor e, também, converte a alta velocidade do ar em alta pressão.

A força motriz do impulsor vem da conexão do impulsor com o eixo da roda da turbina dos gases de escape. A esse conjunto completo chama-se rotor.

O rotor gira sobre um rolamento de esfera no lado posterior da bomba e num rolamento de roletes, no final da turbina. Esse rolamento suporta a carga radial (centrífuga) do rotor e os rolamentos de esfera apoiam o rotor da seção do impulsor e suportam toda a carga de empuxo (axial) e parte da carga radial.

O conjunto de turbina dos gases de escape ("B" da figura 2-11) consiste em uma roda de turbina, uma caixa de pulverizadores, uma válvula borboleta de desvio e tampa de refrigeração. A roda da turbina, acionada por gases de escape, move o impulsor. A caixa de pulverizadores coleta e direciona os gases de escape para a roda da turbina e a válvula borboleta de desvio regula a quantidade de gases de escape que são direcionados à turbina pela caixa de pulverizadores.

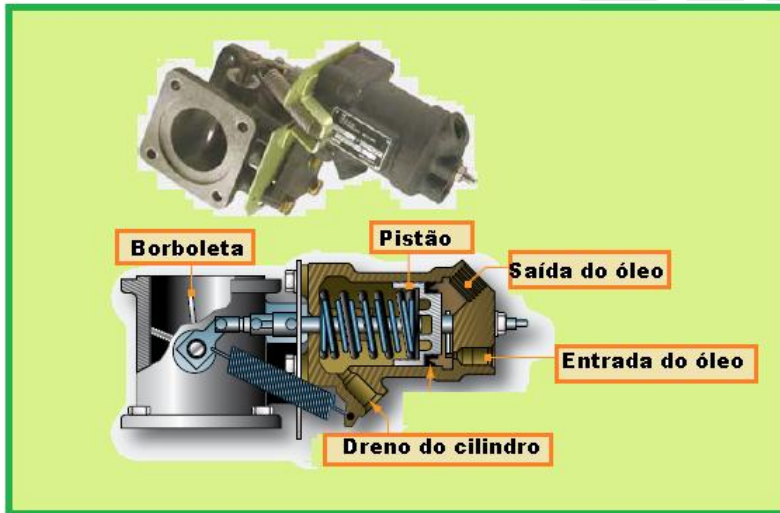


Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
Figura 2-11 Seções principais de um típico turbosuperalimentador.

A tampa de refrigeração controla o fluxo de ar para o resfriamento da turbina.

A válvula borboleta (figura 2-12) controla o volume dos gases de escapamento, que são direcionados à turbina e, desta forma, regulam a velocidade do rotor (turbina e impulsor).

Se a válvula borboleta estiver totalmente fechada, toda a massa de gases de escapamento será "empurrada para trás" e forçada a passar através da caixa de pulverizadores e roda da turbina. Se essa válvula estiver parcialmente fechada, uma quantidade correspondente de gases de escapamento será direcionada à turbina.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
Figura 2-12 Conjunto válvula de desvio.

Os pulverizadores da caixa permitem que os gases se expandam e atinjam uma alta velocidade antes de entrarem em contato com a roda da turbina.

Então direcionados, os gases de escapamento chocam-se contra as cubas, que estão dispostas radialmente em torno da borda externa da turbina, fazendo com que o rotor (turbina e impulsor) gire.

Os gases são, então, expulsos para a atmosfera através de espaços entre as cubas.

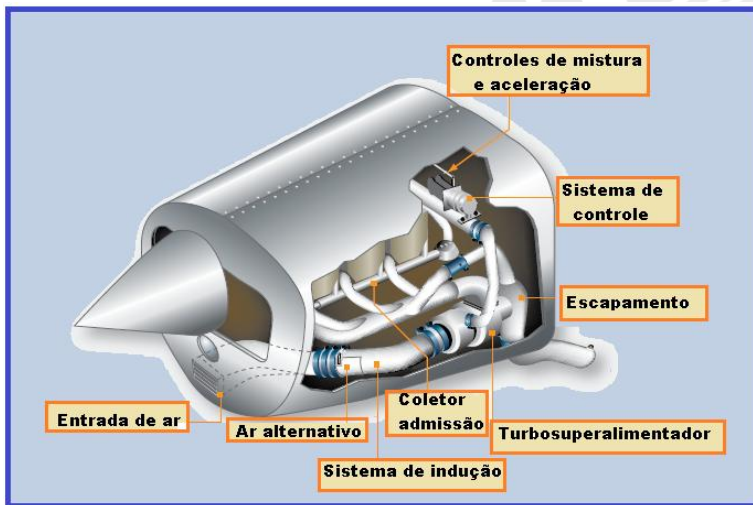
Quando a válvula borboleta encontra-se totalmente aberta, quase todo o gás de escapamento passa para a atmosfera através do duto localizado no cone de cauda.

## 2.2 TURBOALIMENTADORES

Em aeronaves leves, um número crescente de motores está sendo equipado com sistemas de superalimentação, acionados externamente.

Esses superalimentadores recebem sua força da energia dos gases de escapamento e são, geralmente, denominados sistemas "turboalimentadores" ao invés de "turbosuperalimentadores". Em muitos motores de aeronaves pequenas, o sistema turboalimentador é projetado para operação apenas acima de uma determinada altitude, por exemplo, a 5.000 pés, se a força máxima disponível, sem o auxílio do superalimentador, for alcançada abaixo daquela altitude.

A localização dos sistemas de admissão e escapamento de ar, de um sistema turboalimentador típico, destinado a uma aeronave pequena é mostrada na figura 2-13.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1

Figura 2-13 Sistemas de admissão e escapamento de um motor com turboalimentador.

### Sistema de Admissão de Ar

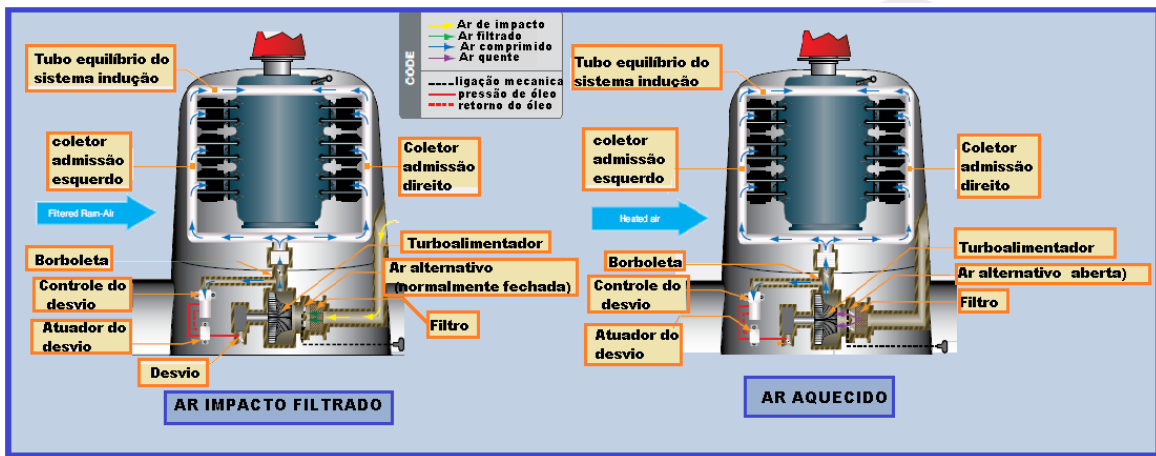
O sistema de admissão de ar mostrado na Figura 2-14 consiste em uma tomada de ar de impacto filtrado, localizada na lateral da nacele.

Uma porta de tomada de ar alternativa, localizada dentro da nacele, permite que a seção do compressor automaticamente admita ar por via alternativa (ar aquecido do compartimento do motor) caso haja obstrução do filtro de admissão.

A porta de ar alternativa pode ser operada manualmente na eventualidade de haver obstrução do filtro. Um turboalimentador acionado pelos gases de escapamento, montado separadamente, é incluído em cada sistema de admissão de ar.

O turboalimentador está automaticamente sob um controlador de pressão, para que seja mantida a pressão no duto, na marca aproximada de 34,5 in. Hg ao nível do mar em uma altitude crítica (tipicamente 16.000 pés), independentemente da temperatura. O

turboalimentador é completamente automático, não requerendo do piloto qualquer ação até atingir a altitude crítica.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
 Figura 2-14 Esquema do sistema de admissão de ar.

### Controladores e Atuador da Válvula de Desvio

O atuador da válvula de desvio e os controladores utilizam óleo do motor como sua fonte de força (ver diagrama do sistema turboalimentador na figura 2-15). O turboalimentador é controlado pela válvula de aceleração e o respectivo atuador e também por um controlador de pressão absoluta e de razão de mudança.

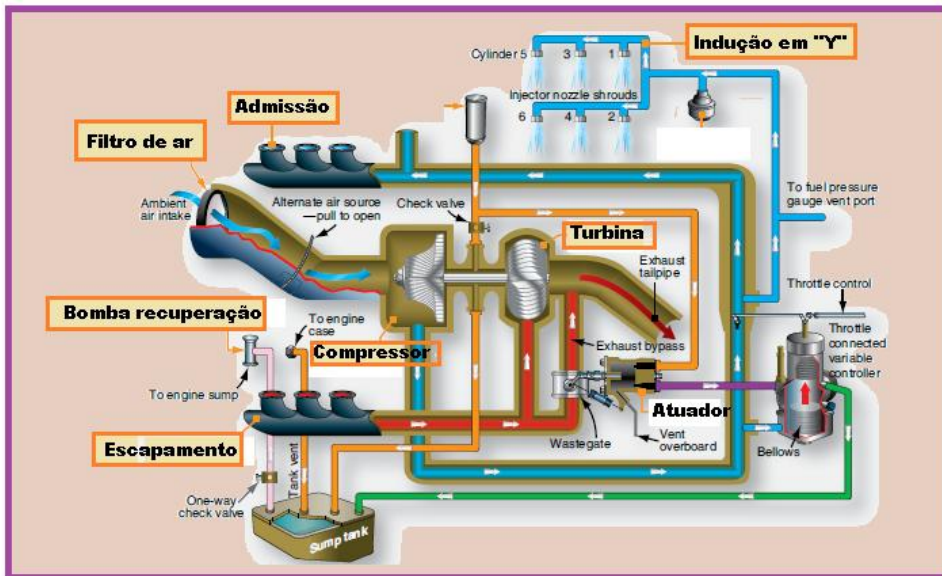
Um controlador de razão de pressão controla o atuador da válvula de desvio acima da altitude crítica de 16.000 pés. A válvula "Waste-gate" desvia os gases de escapamento do motor em torno da entrada da turbina de turboalimentação.

O atuador da válvula de desvio, que é fisicamente conectado à válvula por meios mecânicos, controla a posição da válvula borboleta de desvio.

O controlador de razão absoluta e o controlador de razão de mudança têm dupla função:

- (1) O controlador de pressão absoluta controla a pressão máxima de descarga do compressor ( $34 \pm 0,5$  in. Hg na altitude crítica, aproximadamente 16.000 pés);
- (2) O controlador de razão de mudança controla a taxa em que deve ser aumentada a pressão de descarga do compressor do turboalimentador.



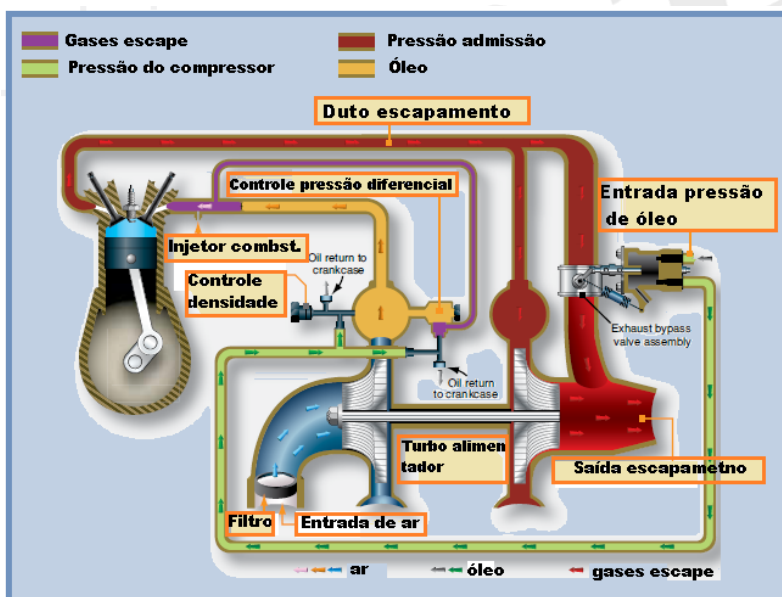


Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
 Figura 2-15 Esquema de um típico sistema turboalimentador.

### 2.3 SISTEMA TURBOALIMENTADOR FORÇADO AO NÍVEL DO MAR

Alguns sistemas turboalimentadores são projetados para operar desde o nível do mar até sua altitude crítica. Esses motores, reforçados ao nível do mar, podem desenvolver mais potência que um motor sem turboalimentação.

A figura 2-16 é um esquema do sistema turboalimentador.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
 Figura 2-16 Controles do turboalimentador e sistema de desvio do escapamento.



Esse sistema é automaticamente regulado por três componentes: o conjunto de válvula de desvio de escapamento, o controlador de densidade e o controlador de pressão diferencial. Nota-se que alguns sistemas turboalimentadores não são equipados com tais recursos de controle automático, pois são semelhantes, em projeto e operação, ao sistema mostrado na figura 2-16, exceto pelo fato de terem a potência de saída do turboalimentador controlada manualmente. Uma potência de saída constante pode ser mantida regulando-se a posição da válvula de desvio do escapamento (wastegate), ou ainda na posição "totalmente aberta" ou "fechada" (Figura 2-16). Quando a válvula de desvio do escapamento está totalmente aberta, toda a massa de gases de escapamento é direcionada para se dissipar na atmosfera, não havendo ar sobre pressão para a entrada de ar do motor.

Do modo oposto, quando a válvula do escapamento está totalmente fechada, um volume máximo de gases de escapamento flui para a turbina do turboalimentador, proporcionando com isso uma superalimentação máxima.

Entre as duas posições extremas da válvula de escapamento, uma potência de saída constante pode ser conseguida abaixo da altitude máxima de operação projetada para o motor.

Existe uma altitude crítica para todo e qualquer ajuste de potência feito abaixo do teto máximo operacional e, se a aeronave for levada a uma altitude superior à máxima operacional sem que tenha sido feita a correspondente modificação no ajuste de potência, a válvula de escapamento irá automaticamente para a posição "totalmente fechada", em um esforço de manter uma potência de saída constante.

Deste modo, a mesma válvula de escapamento estará quase totalmente aberta operando ao nível do mar e continuará a mover-se para a posição "fechada" à medida que a aeronave subir, de modo a manter no duto o ajuste de pressão pré-selecionado. Quando a válvula de escapamento está totalmente fechada (deixando apenas uma pequena abertura para evitar aderência), a pressão na tubulação começará a cair caso a aeronave continue a subir. Se não for possível selecionar um ajuste de potência mais alto, a altitude crítica do turboalimentador terá sido atingida. Além dessa altitude, a potência de saída continuará a decrescer.

A posição da válvula de escapamento, que determina a potência de saída, é controlada pela pressão do óleo. A pressão de óleo do motor atua sobre um pistão, mecanicamente conectado ao conjunto de válvulas de escapamento.

Quando a pressão do óleo é aumentada no pistão, a válvula de escapamento é movida para a posição "fechada" e a potência de saída do motor aumenta. Ao contrário, quando a pressão do óleo diminui, a válvula de escapamento move-se para a posição "aberta" e a potência de saída do motor diminui.

A posição do pistão, conectada à válvula de escapamento, depende da sangria do óleo que controla a pressão do óleo do motor, aplicada sobre o topo do pistão.

O óleo é devolvido ao cárter do motor através de dois dispositivos de controle: o controlador de densidade e o controlador de pressão diferencial. Esses dois controladores, atuando independentemente, determinam quando o óleo deve ser sangrado e retornado ao cárter do motor e assim estabelece a pressão do óleo sobre o pistão.

O controlador de densidade é destinado a limitar a pressão na tubulação, abaixo da altitude crítica do turboalimentador e regula a sangria de óleo somente na posição "manete a plena". Os foles sensores de pressão e temperatura do controlador de densidade reagem às mudanças de pressão e temperatura, entre a entrada do injetor de combustível e o compressor do turboalimentador.

Os foles, cheios com nitrogênio seco, mantêm uma densidade constante, permitindo que a pressão aumente à medida que há um aumento de temperatura.

O movimento dos foles reposiciona a válvula de sangria, causando uma alteração na quantidade de óleo sangrado, o que modifica a pressão do óleo sobre o topo do pistão da válvula de aceleração. Ver a figura 2-16.

O controlador de pressão diferencial funciona durante todos os posicionamentos da válvula de aceleração que sejam diferentes da posição "totalmente aberta", a qual é regulada pelo controlador de densidade. Um lado do diafragma no controlador de pressão diferencial sente a pressão do ar no fluxo anterior (upstream) à aceleração. O outro lado toma uma amostragem de pressão no lado da válvula de potência próximo ao cilindro (Figura 2-16).

Na posição da manete "totalmente aberta", quando o controlador de densidade regula a posição da válvula de aceleração, a pressão sobre o diafragma do controlador de pressão diferencial está em seu mínimo e a mola do controlador mantém a válvula de sangria fechada.

Na posição "potência parcial" o diferencial de ar é aumentado, abrindo assim a válvula de sangria para levar óleo ao cárter do motor e reposicionar o pistão da válvula de aceleração.

Desse modo, ambos os controladores operam independentemente, para controlar a operação do turboalimentador em todas as posições de potência. Sem a função de ultrapassagem do controlador de pressão diferencial durante a operação de potência parcial, o controlador de densidade poderia posicionar a válvula de aceleração em potência máxima.

O controlador de pressão diferencial reduz a pressão na entrada do injetor e, continuamente, reposiciona a válvula durante todos os regimes de operação do motor.

O controlador de pressão diferencial reduz a condição de instabilidade conhecida por "contra reação" durante a operação de potência parcial.

"Contra-reação" é uma indicação de mudança de potência desregulada, que resulta em uma flutuação contínua de pressão na tubulação.

Essa condição pode ser ilustrada, considerando-se a operação de um sistema quando a válvula de aceleração encontra-se totalmente fechada. Durante esse período, o controlador de pressão diferencial não está modulando a posição da válvula de aceleração.

Qualquer alteração mínima de potência causada por uma mudança de temperatura ou flutuação de r.p.m. será aumentada e resultará em uma modificação na pressão da tubulação, uma vez que uma pequena alteração fará com que se altere a quantidade dos gases de escapamento fluindo para a turbina. Qualquer alteração no fluxo de gases de escapamento fluindo para a turbina, ocasionará uma modificação na potência de saída, o que será refletido pelas indicações de pressão na tubulação.

A "contra-reação" é, desta forma, um ciclo indesejável de eventos de turboalimentação que leva a pressão da tubulação a flutuar na tentativa de alcançar um estado de equilíbrio.

Às vezes o fenômeno "contra-reação" é confundido com uma condição conhecida por ("overboost"), mas a "contra-reação" não é uma condição que comprometa a vida do motor.

Uma condição de "sobrecarga" é aquela em que a pressão da tubulação excede aos limites prescritos para um determinado motor e pode, por este motivo, causar sérios danos.

Assim, o controlador de pressão diferencial é necessário para que haja um funcionamento suave do turboalimentador de controle automático, uma vez que reduz a "contra-reação" pela redução do tempo requerido para trazer o sistema ao equilíbrio.

Um motor turboalimentado apresenta muito mais sensibilidade ao comando de potência do que um motor convencional. Um movimento rápido da manete de potência pode causar

uma certa variação de pressão no duto em um motor turboalimentado. Essa condição, menos grave que a "contra-reação", é conhecida por sobrecarga.

Mesmo não sendo uma condição de perigo, ela pode ser um motivo de preocupação para o piloto ou operador, que selecione um determinado ajuste de pressão no duto, verificando, poucos segundos depois, que essa pressão oscilou e necessita de novo ajuste.

Uma vez que os controles automáticos não possam responder com rapidez suficiente às mudanças bruscas nos ajustes de potência, de modo a eliminar a inércia das mudanças de velocidade do turboalimentador, a sobrecarga deve ser eliminada pelo operador.

Isto pode ser conseguido ao se modificar lentamente os ajustes de potência, sempre dando ao sistema alguns segundos para alcançar um equilíbrio.

PANE	CAUSA PROVÁVEL	REPARO
Aeronave não atinge a altitude crítica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Roda da turbina ou compressor danificado.</li> <li>Vazamento no sistema de escapamento.</li> <li>Rolamentos defeituosos no turboalimentador.</li> <li>Comporta de escapamento não fecha totalmente.</li> <li>Mal funcionamento do controlador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substituir o turboalimentador.</li> <li>Fazer o reparo dos vazamentos.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Substituir o turboalimentador.</li> </ul> </li> <li>Ver "comporta de escapamento" na coluna PANE.</li> <li>Ver "controlador diferencial" na coluna PANE.</li> </ul>
Vibrações do motor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vibração de pressão na tubulação.</li> <li>Mal funcionamento da comporta de escapamento.</li> <li>Mal funcionamento do controlador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificar se o motor está operando na faixa adequada.</li> <li>Ver "comporta de escapamento" na coluna PANE.</li> <li>Ver "controlador diferencial" na coluna PANE.</li> </ul>
Comporta de escapamento não fecha totalmente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rolamentos da válvula de desvio da comporta estão emperrados.</li> <li>Orifício de entrada de óleo bloqueado.</li> <li>Mal funcionamento do controlador.</li> <li>Articulação da comporta de escapamento está quebrada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substituir a válvula de desvio.</li> <li>Limpar o orifício.</li> <li>Ver "controlador" na coluna PANE.</li> <li>Substituir a articulação; e ajustar a comporta de escapamento para abrir e fechar adequadamente.</li> </ul>
Comporta de escapamento não abre.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Saída de óleo obstruída.</li> <li>Articulação da comporta de escapamento quebrada.</li> <li>Mal funcionamento do controlador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limpar e reconectar a linha de retorno de óleo.</li> <li>Substituir a articulação; e ajustar a abertura e fechamento da comporta.</li> <li>Ver "controlador" na coluna PANE.</li> </ul>
Mal funcionamento do controlador diferencial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vazamento na vedação.</li> <li>Diafragma danificado.</li> <li>Válvula do controlador emperrada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substituir o controlador.</li> <li>Substituir o controlador.</li> <li>Substituir o controlador.</li> </ul>
Mal funcionamento do controlador de densidade.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vazamento na vedação.</li> <li>Foles danificados.</li> <li>Válvula emperrada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Substituir o controlador.</li> <li>Substituir o controlador.</li> <li>Substituir o controlador.</li> </ul>

Fonte: LAC – Instituto de Aviação Civil – Divisão de Instrução Profissional

TABELA 1. Pesquisa de Panes em Sistema Turboalimentador

Esse procedimento aplica-se aos motores turboalimentados, independentemente do seu grau de sensibilidade aos ajustes de potência.

A tabela 1 inclui as panes mais comuns do sistema turboalimentador, acompanhadas de uma descrição de causas e reparos.

Esses procedimentos de pesquisa de panes são apenas apresentados como um guia, não devendo, portanto, serem substituídos pelas instruções e procedimentos de pesquisa de panes aplicáveis, fornecidas pelo fabricante.

## 2.4 SISTEMAS COMPOSTOS COM TURBO PARA MOTORES CONVENCIONAIS

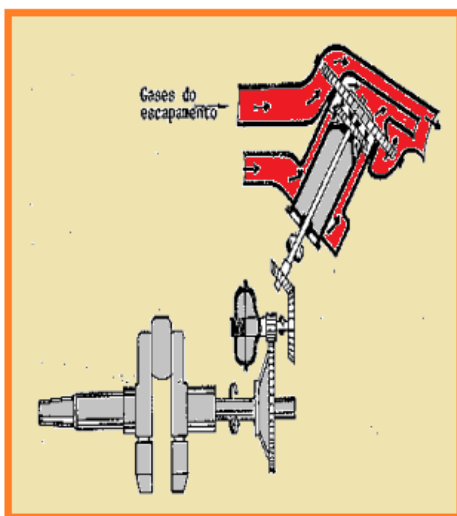
O motor composto com turbo consiste em um motor convencional, no qual turbinas movimentadas por gases de escapamento encontram-se acopladas ao eixo de manivela.

Esse sistema de obtenção de força adicional é, às vezes, denominado sistema de recuperação de força da turbina (PRT-powerrecovery turbine).

Não é um sistema de superalimentação e não está conectado de qualquer maneira ao sistema de admissão de ar da aeronave. O sistema PRT permite que o motor recupere força/potência utilizando os gases de escapamento que, de outra forma, estariam sendo direcionados para a atmosfera.

Dependendo do tipo de motor, a quantidade de HP recuperada varia com a quantidade de potência aplicada. Tratando-se de motores convencionais grandes, é uma situação típica do sistema apresentar uma recuperação de 130 HP de cada uma das três turbinas.

A figura 2-17 mostra uma turbina de recuperação de potência conectada por engrenagens ao eixo de manivela do motor.

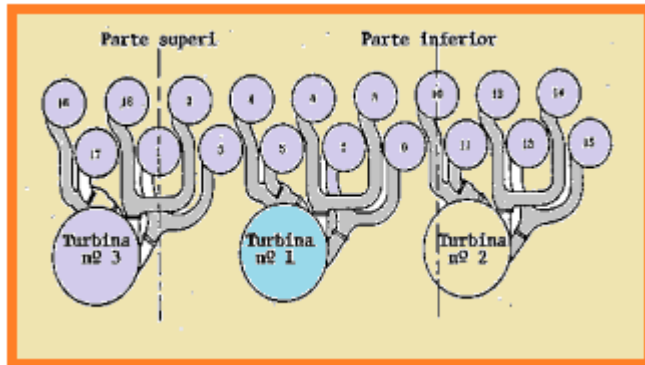


Fonte: BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional

Figura 2-17 Transmissão da força da turbina para o eixo de manivelas

Tipicamente, existem três turbinas de recuperação de potência em cada motor, dispostas a intervalos de 120°. Elas são numeradas em sentido horário, vistas no sentido de trás do motor para frente. A turbina nº 1 está localizada na posição 3 horas, e a turbina nº 3 fica na posição 11 horas.

A posição da turbina, em relação ao sistema de escapamento dos vários cilindros em um motor de 18 cilindros, é mostrada no esquema da figura 2-18.



Fonte: BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional

Figura 2-18 Diagrama esquemático de um sistema PRT.

O coletor de gases de escapamento direciona os gases na roda da turbina. O eixo da turbina transmite a força para o eixo de manivela do motor, através das engrenagens e de seu acoplamento.

O acoplamento impede que a vibração de torção seja passada ao eixo de manivelas.

Devido ao seu elevado peso e custo, a serem considerados, os sistemas de turbinas de recuperação de potência são utilizados exclusivamente em motores convencionais grandes.

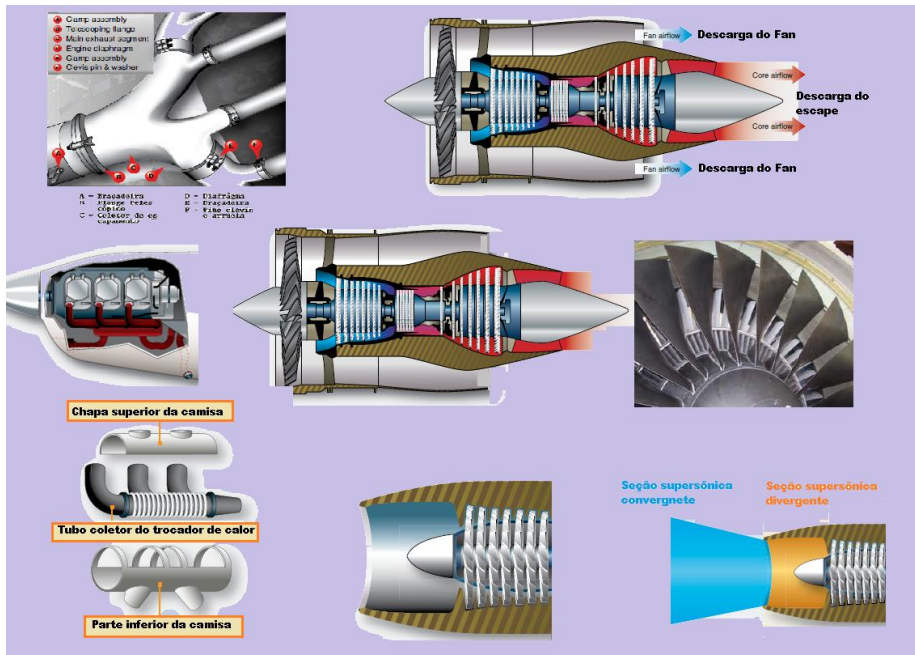


## Referência Bibliográfica

BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional. **Matérias Básicas**, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.







Fonte: Vanderlei dos Reis

### MÓDULO III

## SISTEMAS DE ADMISSÃO DOS MOTORES À REAÇÃO

### INTRODUÇÃO

Caro aluno,

No módulo anterior falamos sobre o sistema de Turbosuperalimentadores.

Vimos sua finalidade e a de seus componentes.

Agora vamos falar a respeito dos Sistemas de Admissão do Motor à reação. Você verá que existem vários tipos de admissão de acordo com o tipo de avião, mais precisamente, de acordo com a velocidade de voo dos mesmos.

Iremos falar também sobre o Sistema de escapamento do Motor Convencional e os cuidados que devemos ter para sua preservação.

Vamos juntos!

### 3.1 SISTEMAS DE ADMISSÃO DO MOTOR À REAÇÃO

Embora não se possa estabelecer um paralelo direto, o duto de admissão de ar de um motor a turbina, de algum modo, assemelha-se ao sistema de admissão de ar dos motores convencionais.

A admissão de um motor convencional e o duto de admissão de um motor a turbina proporcionam um suprimento de ar de alta energia, relativamente livre de distorção e na quantidade requerida para o compressor. Um fluxo de ar contínuo e uniforme é necessário para evitar o estol do compressor e excessivas temperaturas internas do motor na turbina. A alta energia permite que o motor produza uma quantidade maior de empuxo. Normalmente, o duto de admissão de ar é considerado como uma parte integrante da estrutura do avião e não uma parte do motor. No entanto, esse duto é tão importante para o desempenho do motor, que precisa ser levado em conta qualquer discussão sobre o motor como um todo.

Um motor a turbina consome 10 vezes mais ar por hora que o motor convencional de tamanho equivalente. A passagem de entrada de ar é correspondentemente maior.

Além do mais, é mais crítica que uma tomada de ar de motor aspirado, no que se refere ao desempenho do motor e da aeronave, especialmente em altas velocidades.

Deficiências do duto resultam do aumento de perdas sucessivas, através de outros componentes do motor.

O duto de admissão de ar apresenta duas funções: uma para o próprio motor e outra para a aeronave.

Em primeiro lugar, deve ser capaz de admitir o máximo possível de pressão da corrente de ar livre e conduzir essa pressão à frente do motor com um mínimo de perda de pressão ou de diferencial. Isto é conhecido como recuperação de ar de impacto, ou ainda, como "recuperação total de pressão".

Em segundo lugar, o duto deve conduzir o ar uniformemente à entrada do compressor, com o mínimo possível de turbulência e variação de pressão. No que se refere à aeronave, o duto deve reduzir ao mínimo o seu efeito de arrasto.

Uma queda ou diferencial de pressão é causado pela fricção do ar ao longo das laterais do duto e pelas curvas no sistema.

O fluxo suave depende do nível de turbulência ser mantido a um mínimo quando o ar entra no duto.

O duto deve apresentar uma secção suficientemente reta que possibilite em seu interior um fluxo de ar uniforme.

A escolha da configuração de entrada do duto é determinada pela localização do motor na aeronave, e ainda, a velocidade do ar, altitude e atitude em que a aeronave é projetada para operar. Há dois tipos básicos de duto de admissão: o duto de entrada única e o de entrada dividida.

Qualquer que seja o tipo do duto é essencial que a sua construção seja feita com muito cuidado. Da mesma forma em que o reparo da entrada do duto requer bastante atenção e habilidade, pois é surpreendente como pequenas quantidades de distorção do fluxo de ar podem resultar em uma considerável perda de eficiência do motor ou podem ainda resultar em por um estol do compressor aparentemente inexplicável.

Pontas de rebites que não estejam perfeitamente faceadas ou um trabalho mal realizado na chapa de metal podem comprometer totalmente o que, de outro modo, seria uma instalação de duto aceitável.

### **Duto de Entrada Única**

O duto de entrada única é o mais simples e eficiente devido a sua entrada ficar localizada diretamente à frente do motor e da aeronave, que pode captar um fluxo de ar livre de turbulência.

A figura 2-19 ilustra a posição do duto de entrada única em um avião monomotor turbojato. Além disso, o duto pode ser construído em configuração reta ou apresentando apenas algumas discretas curvaturas. Na instalação feita em avião monomotor, em que o motor é montado na fuselagem, o duto é necessariamente longo. Se por um lado, pode haver uma pequena queda de pressão ocasionada pelo comprimento do duto, essa condição é superada pelas características que, por outro lado, permitem que haja no duto um fluxo de ar uniforme.

Em instalações de multimotores, é necessário que o duto seja curto, reto ou com um mínimo de curvatura. Embora o duto mais curto e sem curvaturas permita um mínimo de queda de pressão, o motor passa a ficar sujeito a sofrer os efeitos de turbulência na entrada

da admissão de ar, particularmente em condições de baixa velocidade do ar ou acentuados ângulos de ataque.



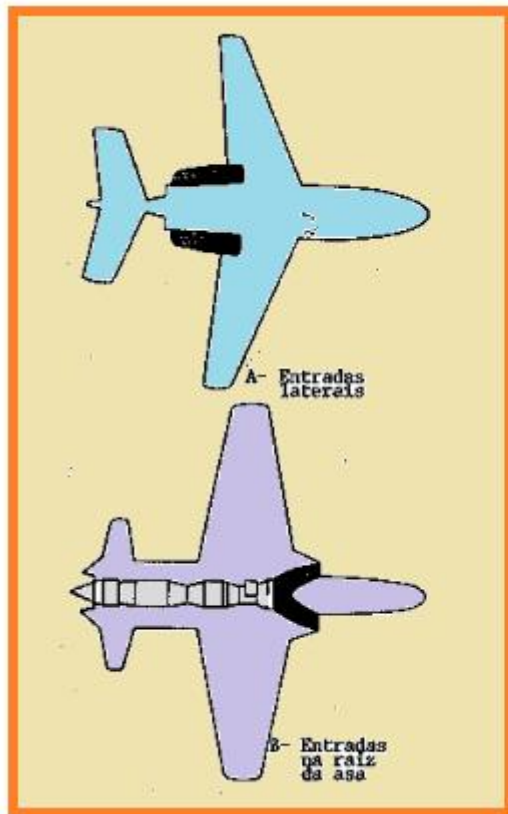
Fonte: FAA - *Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1*  
Figura 2-19 Aeronave com duto de entrada única.

### **Duto de Entrada Dividida**

As exigências dos aviões monomotores de alta velocidade, nos quais o piloto senta-se na parte baixa da fuselagem e próximo ao nariz, são dificuldades impostas para a utilização do duto de entrada única.

Pode ser necessária, então, alguma forma de duto de admissão com entrada dividida, com tomadas de ar nos dois lados da fuselagem.

Esse duto dividido pode apresentar suas entradas nas raízes das asas, ou uma em cada lado da fuselagem, conforme mostra a Figura 2-20. Qualquer desses tipos de duto oferece mais problemas ao projetista da aeronave do que os dutos de entrada única, por causa da dificuldade em se conseguir uma área de admissão de ar suficiente, que não venha a ser proibida devido à quantidade de arrasto que possa produzir. Internamente, o problema é o mesmo encontrado pelo duto de entrada simples, ou seja: o de construir um duto que tenha um comprimento razoável e, ao mesmo tempo, com o mínimo possível de curvaturas.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
Figura 2-20 Dois tipos de dutos de entrada dividida.

A localização da entrada de ar na raiz da asa de uma aeronave, em que a asa esteja bastante deslocada para trás, oferece um problema de projeto porque, embora curto, o duto deve apresentar uma curvatura considerável que possa entregar adequada demanda de ar para o compressor.

Geralmente são utilizadas tomadas de ar nas laterais da fuselagem. Essas tomadas são localizadas tão à frente quanto possível, para permitir que haja uma curvatura gradativa em direção à entrada do compressor, trazendo as características do fluxo de ar para condições próximas daquelas encontradas no duto de entrada simples.

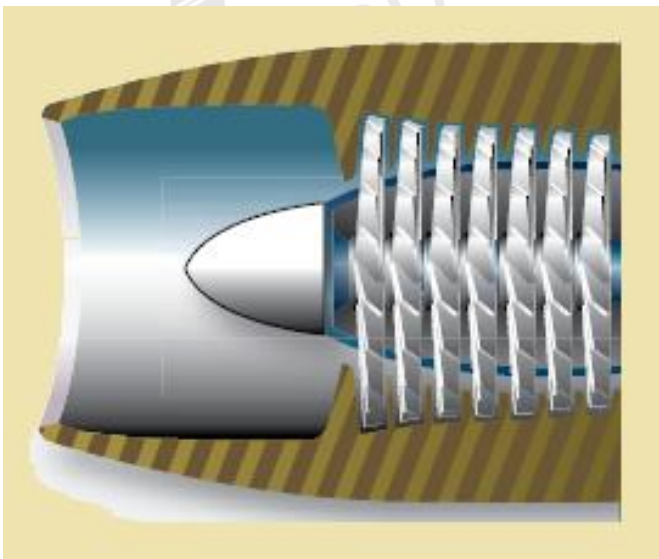
Uma série de pequenas hastes é, às vezes, colocada na entrada de ar lateral para ajudar no direcionamento do fluxo de ar admitido, que deve continuar em linha reta para evitar turbulência.

## Duto de Geometria Variável

A função principal de um duto de admissão é fornecer a quantidade de ar adequada para o motor. Em um motor turbojato típico, a exigência de um fluxo de ar máximo são tais que o número "Mach" do fluxo de ar, diretamente acima da frente do motor fica em torno de 0,5 ou pouco menos.

Portanto, sob praticamente todas as condições de voo exceto decolagem e pouso, a velocidade do fluxo de ar deve sofrer uma redução, antes que o mesmo ar esteja pronto para entrar no compressor. Para se conseguir isso, os dutos de admissão são projetados para funcionar como difusores e, assim, diminuir a velocidade do ar e aumentar a sua pressão estática.

Para as aeronaves multimotoras subsônicas, um duto de admissão normal tem o seu tamanho aumentado em direção à sua extremidade posterior, conforme ilustra a figura 2-21.

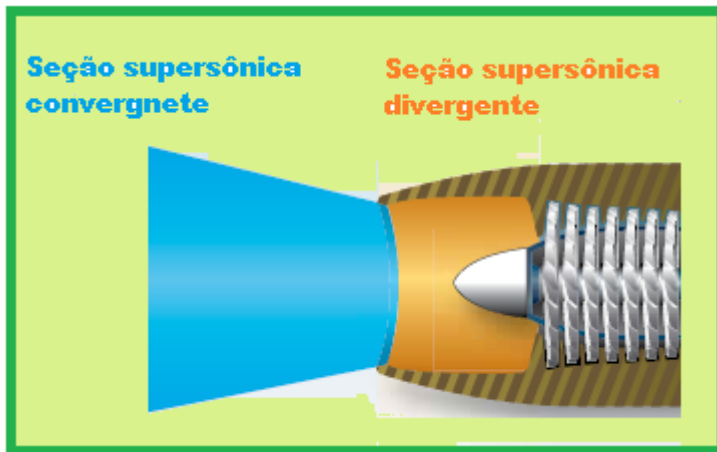


Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
Figura 2-21 Entrada de ar subsônica divergente.

Um difusor supersônico tem sua área progressivamente diminuída no sentido da continuação do fluxo de ar. Desta forma, um duto de admissão supersônico seguirá a configuração geral até que a velocidade do ar admitido seja reduzida para Mach 1.0. A partir daí, a seção posterior do duto começará a ter sua área aumentada, uma vez que esta parte deva funcionar como um difusor subsônico. (Ver a figura 2-22).

Para aeronaves de velocidade muito alta, a área interna da configuração do duto será modificada por dispositivos mecânicos, dependendo do aumento ou diminuição de velocidade da aeronave. Um duto desse tipo é geralmente conhecido por duto de admissão de geometria variável.

Dois métodos são utilizados para a difusão do ar e diminuição da velocidade de seu fluxo em voos supersônicos. Um método possível é o de variar a área ou geometria do duto de admissão, pelo uso de restritores móveis dentro do duto. Existe ainda outro sistema que funciona como um tipo de combinação de desvio variável de fluxo de ar que extrai do duto e à frente do motor parte do ar admitido. Em alguns casos utiliza-se a combinação de ambos os sistemas.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
Figura 2-22 Entrada de ar supersônica.

O outro método é a utilização de uma onda de choque na corrente de ar. Uma onda de choque é uma área estreita de descontinuidade em um fluxo de ar ou gás, durante a qual a velocidade, a pressão, densidade e temperatura do ar ou gás são submetidas a uma modificação brusca.

Ondas de choque mais fortes produzem maiores alterações nas propriedades do ar ou do gás.

Uma onda de choque é deliberadamente colocada no fluxo supersônico do ar que está entrando no duto, por meio de algum tipo de restrição ou pequena obstrução que, automaticamente, projeta-se dentro do duto em voos com um número "Mach" alto.

A onda de choque resulta na difusão do fluxo de ar, o qual, por sua vez, tem a sua velocidade reduzida.



Em pelo menos uma instalação de aeronave é utilizada a combinação dos dois métodos, o de choque e de geometria variável, para se conseguir a difusão do fluxo de ar. O mesmo dispositivo que modifica a área do duto também estabelece a onda de choque que, em seguida, irá reduzir a velocidade do ar que está sendo admitido para dentro do duto. A modificação na área do duto e a magnitude do choque são variadas automaticamente com a velocidade do ar na aeronave.

Com a entrada de geometria variável, o zumbido que às vezes ocorre na tomada de ar durante voos com número Mach elevado, pode ser evitado alterando-se o valor da variação da área de entrada, que será afetada durante a operação do sistema de geometria variável.

O zumbido resulta da instabilidade do ar que ocorre quando a onda de choque é alternadamente engolida e regurgitada na tomada de ar. Em condições severas, esse fenômeno pode causar violentas flutuações de pressão da tomada de ar, que pode resultar em danos a sua estrutura ou, possivelmente, ao próprio motor.

Um duto de geometria variável adequado irá eliminar o zumbido pelo aumento da estabilidade do fluxo de ar dentro do duto de admissão.

### **Entrada do Compressor Tipo Boca de Sino**

Embora não se trate de um duto, no sentido real da palavra, a entrada tipo boca de sino é geralmente instalada em um motor que está sendo calibrado em bancada de teste, de modo a levar o ar externo estático às aletas guias do bocal do compressor.

Esse tipo de entrada de ar é facilmente instalado e removido, sendo projetado com o único objetivo de obter uma eficiência aerodinâmica bastante alta.

Essencialmente, esta entrada de ar é um funil em forma de sino com bordas cuidadosamente arredondadas que praticamente não oferecem resistência ao ar. (Ver figura 2-23).



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
Figura 2-23 Entrada do compressor do tipo boca de sino.

A perda no duto é tão insignificante que é considerada zero. O motor pode, portanto, ser colocado em funcionamento sem as complicações resultantes das perdas comuns a um duto instalado na aeronave.

Os dados de desempenho do motor, tais como potência nominal e consumo específico de combustível (a uma determinada potência) são obtidos pelo uso de uma entrada de compressor tipo boca de sino.

Geralmente, as entradas de ar são fixadas com telas protetoras. Nesse caso, a eficiência perdida à medida que o ar atravessa a tela deve ser levada em conta quando é necessária uma verificação precisa de dados do motor.

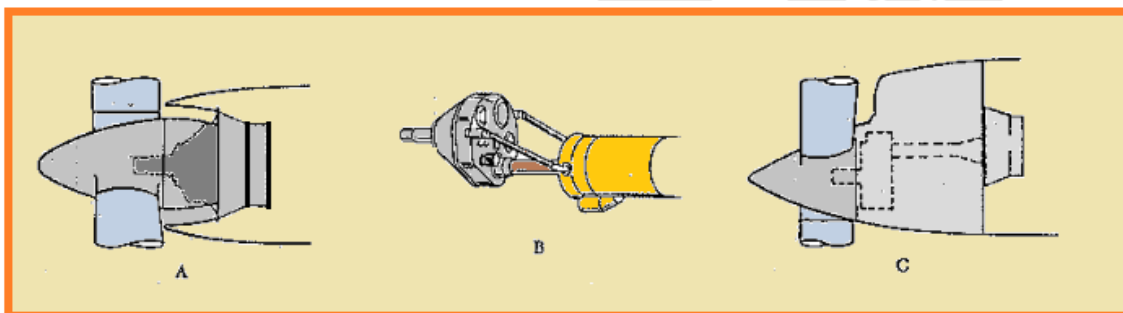
### **3.2 ENTRADAS DE AR DO COMPRESSOR EM MOTORES TURBOÉLICE**

A admissão de ar em um motor turboélice é mais problemática que em um motor turbojato, porque o eixo de acionamento da hélice, o cubo e a carenagem (cone) de proteção do cubo têm que ser levados em conta, além dos outros fatores de projeto que comumente fazem parte deste dispositivo.

Uma configuração de cone protetor do tubo e duto de admissão de ar (figura 2-24A) é geralmente considerada como o melhor projeto para um motor turboélice, no que se refere ao fluxo de ar e características aerodinâmicas.

Entretanto, o duto que tem um cone é mais pesado e oferece mais dificuldades para a manutenção e controle antigelo do que o cone convencional de fluxo aerodinâmico, frequentemente utilizado.

A proteção do cubo da hélice com formato cônico, que é uma versão modificada do cone aerodinâmico é, às vezes, utilizado. Em qualquer dos casos, a disposição do spinner e do duto de admissão de ar é semelhante àquela ilustrada na figura 2-24B. Quando a seção do nariz de um motor turboélice é deslocada do eixo principal do motor, pode ser utilizada uma configuração semelhante à apresentada na figura 2-24C.



Fonte: BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional

Figura 2-24 Entradas do compressor de turboélices.

### Telas de Entrada do Compressor

É bastante conhecido o apetite que uma turbina de gás tem por parafusos, pequenos pinos, rebites, pequenas ferramentas de mão, pedaços de pano e coisas do gênero.

Para impedir que tais objetos sejam ingeridos pelo motor, coloca-se uma tela de entrada do compressor para proteger a área (diâmetro) de entrada de ar do motor.

As vantagens e desvantagens de uma tela desse tipo variam. Se o motor estiver muito susceptível a sofrer avarias internas, como seria o caso, por exemplo, de um motor que tenha um compressor axial com palhetas de alumínio, uma tela no duto de admissão de ar chega a ser quase uma necessidade.

As telas, no entanto, contribuem para que haja uma apreciável perda de pressão no duto de admissão e ficam muito sujeitas à formação de gelo.

Panes que surgem devido à fadiga também é um problema. Uma tela defeituosa pode causar mais danos do que se não houvesse nenhuma instalada.

Existem casos em que as telas no duto de admissão de ar são retráteis, podendo ser retiradas do fluxo de ar após a decolagem ou sempre que prevaleçam condições de formação de gelo. Essas telas ficam sujeitas a apresentarem falhas mecânicas e acrescentam a instalação como um todo, tanto peso quanto volume.

Em motores grandes que apresentam palhetas do compressor de titânio ou de aço, ou seja, peças que não se danificam facilmente, as desvantagens da tela do compressor superam as vantagens e, por esse motivo não são, em geral, utilizadas.

### Seções do "Fan" dos Motores "Turbofan"

Embora alguns motores "turbofan" apresentem a sua seção do fan ou palhetas, integral com a turbina e posterior à câmara de combustão, outras versões são comumente construídas com o fan na extremidade dianteira do compressor.

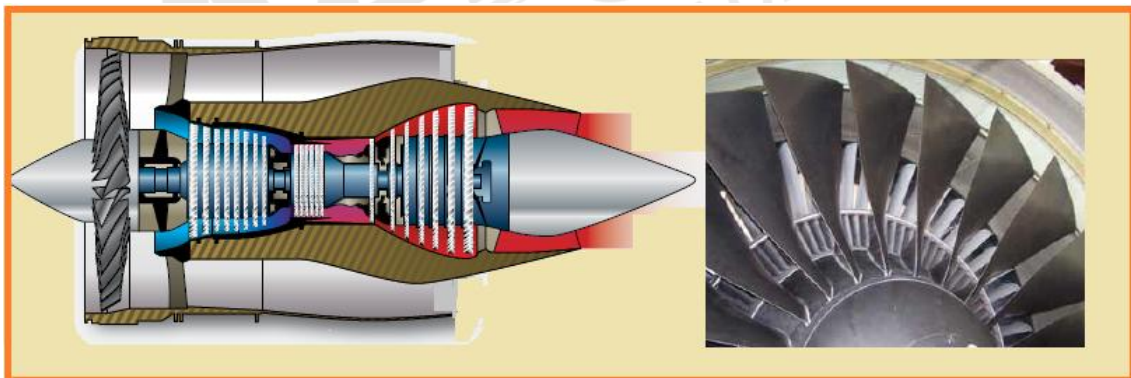
Em motores que têm compressor duplo, o fan é integral, com o compressor de baixa pressão e de baixa velocidade, o que permite que o carretel gire no topo da palheta para se obter melhor eficiência.

O fan dianteiro permite a utilização de um duto de admissão de ar convencional, resultando em baixa razão de perda do ar admitido e, também, reduz os danos ao motor por ingestão de objetos estranhos.

A maior parte de qualquer material que venha a ser sugado será arremessada radialmente para fora, e passará através da descarga do fan ao invés de continuar a trajetória através da parte principal do motor.

O fan consiste em um ou mais estágios de palhetas rotativas e aletas estacionárias, todas bem maiores que os estágios dianteiros do compressor ao qual estão ligados.

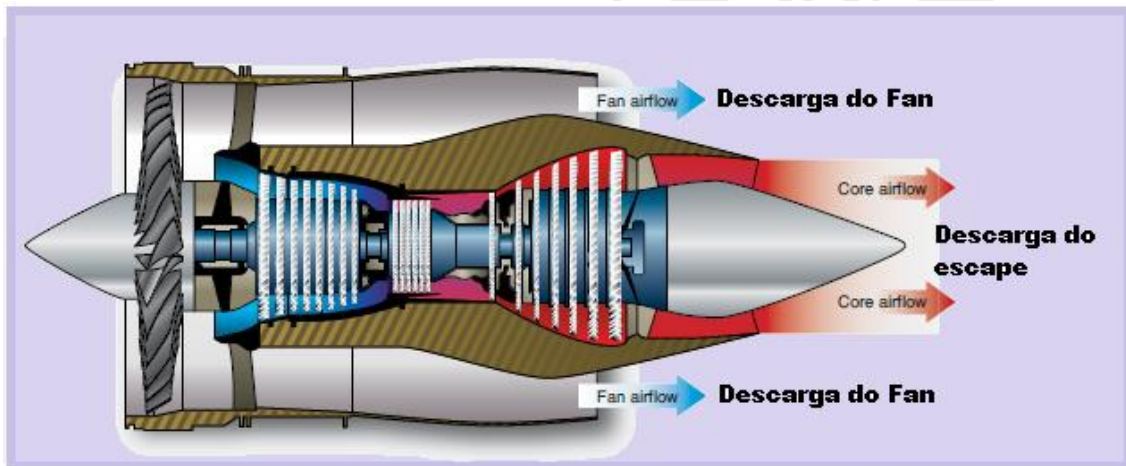
O ar acelerado pelas pontas das palhetas do fan forma uma corrente de ar secundária, que é conduzida de volta para a atmosfera, sem passar através da seção principal do motor. O ar que passa através do centro do fan forma o fluxo de ar primário que passa através do motor. (Ver figura 2-25).



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
Figura 2-25 Fluxo de ar através de um motor de "fan" dianteiro.

O ar de escapamento do fan, que é conduzido para a atmosfera, pode ser descarregado de dois modos:

1. Para a atmosfera através de dutos curtos, logo atrás do fan, conforme mostra a figura 2-26, e no diagrama da configuração de duto bifurcado;
2. Conduzido até a parte posterior do motor, onde é então expulso para a atmosfera, próximo ao duto de escapamento de cauda do motor.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1

Figura 2-26 Instalação típica de um motor turbofan de "fan" dianteiro.

### 3.3 SISTEMAS DE ESCAPAMENTO DE MOTORES CONVENCIONAIS

O sistema de escapamento dos motores convencionais é fundamentalmente um sistema de limpeza, que coleta e envia para a atmosfera gases de alta temperatura e nocivos.

Sua exigência básica impõe que os gases sejam entregues à atmosfera em completa segurança para a estrutura da aeronave e, também, dos seus ocupantes. O sistema de escapamento pode desempenhar várias funções úteis, sendo a primeira proporcionar proteção contra a ação potencialmente destrutiva dos gases de escapamento. Os sistemas de escapamento modernos, embora comparativamente leves, resistem adequadamente a altas temperaturas, corrosão e vibração, de forma a proporcionar uma operação livre de problemas e por períodos longos com um mínimo de manutenção.

Existem dois tipos básicos de sistemas de escapamento em uso nos motores de aeronaves: o sistema aberto e o sistema coletor. O sistema aberto é geralmente utilizado em motores não superalimentados, onde o nível de ruído não é alto demais.

O sistema coletor é utilizado na maioria dos grandes motores não superalimentados e em instalações em que esse sistema poderia melhorar o fluxo aerodinâmico da nacele ou ainda oferecer uma manutenção mais fácil na área da nacele.

Nos motores turboalimentados, os gases de escapamento devem ser coletados para acionar a turbina do compressor do superalimentador.

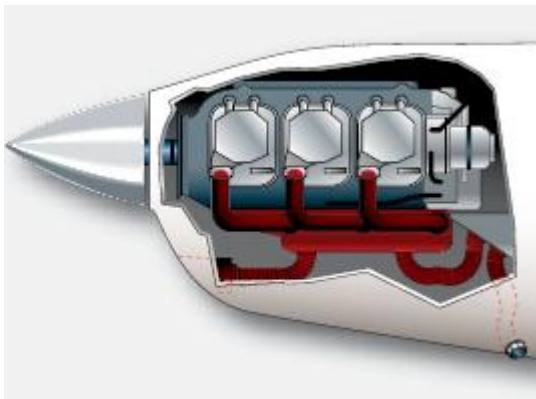
Esses sistemas apresentam tubos de comunicação individuais para os gases de escapamento que são descarregados em um único coletor anular, que por sua vez tem apenas uma única saída.

Dessa saída, os gases de escapamento quentes são conduzidos por um duto até a caixa do turboalimentador para acionar a turbina.

Embora o sistema coletor eleve a pressão de retorno do sistema de escapamento, o ganho em potência decorrente do turboalimentador supera em muito a perda de potência, resultante do aumento da pressão de retorno.

O sistema aberto é relativamente simples e a sua remoção e instalação consistem essencialmente em remover e instalar os parafusos e garras de fixação.

Na figura 2-28 é mostrada, em corte vertical, a localização dos componentes do sistema de escapamento de um motor de cilindros opostos instalado horizontalmente.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1

Figura 2-28 Sistema de escapamento de um motor de cilindros horizontalmente opostos.

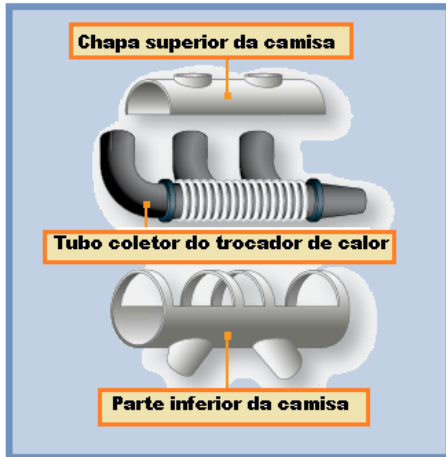
O sistema de escapamento nesta instalação consiste em um tubo partindo de cada cilindro, de um tubo coletor dos gases de escapamento em cada lado do motor, um conjunto ejetor de gases de escapamento avançado para trás e abaixo de cada lado da parede de fogo.

Os tubos são conectados aos cilindros por porcas de trava resistentes a altas temperaturas e presas ao coletor de escapamento por anéis de fixação.



Uma proteção para a cabine, contra o calor dos gases de escapamento, está instalada em torno de cada tubo coletor. Ver a figura 2-29.

Os tubos coletores terminam nas aberturas do ejetor dos gases de escapamento, na parede de fogo, e têm sua abertura regulada para que os gases tenham uma velocidade apropriada, tal que induza um fluxo de ar através dos ejetores de escapamento.

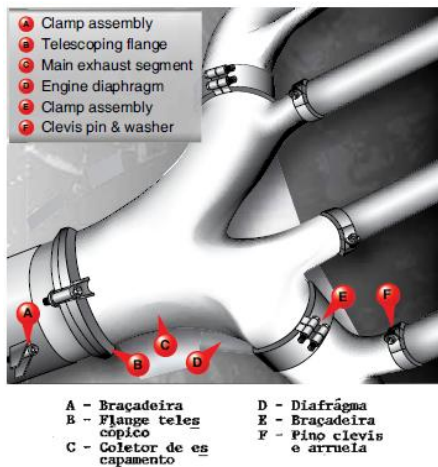


Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1

Figura 2-29 Vista explodida do conjunto de reforço do aquecedor pelo escapamento.

Os ejetores de escapamento consistem em um conjunto de garganta e duto (throat and duct) que utilizam a ação bombeadora dos gases de escapamento, para induzir um fluxo de ar de resfriamento através de todas as partes do compartimento do motor.

### Sistema de Coletor Anular de Escapamento de Motores Radiais



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1

Figura 2-30 Anel coletor de escapeamento instalado.



A figura 2-30 mostra o anel coletor de escapamento instalado em um motor radial de 14 cilindros. Esse anel é um conjunto de peças feitas de aço resistente à corrosão e manufaturado em sete seções, cada peça coleta o escapamento de dois cilindros.

As seções são graduadas por tamanho (figura 2-31). As pequenas ficam no lado interno e as maiores ficam no lado externo, na ponta onde o duto de cauda é conectado com o anel coletor.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1

Figura 2-31 Anel coletor de escapamento.

Cada seção do anel coletor é presa por parafusos a uma garra (bracket) na seção do compressor do motor e é parcialmente apoiada por uma luva de conexão entre as saídas do anel coletor e as saídas de escapamento do motor.

O duto de cauda de escapamento é ligado ao anel coletor por uma junção de expansão telescópica que apresenta folga suficiente para se efetuar a remoção dos segmentos desse anel, sem que o duto de cauda tenha que ser removido. O duto de cauda de escapamento é um conjunto de peças soldadas feito de aço resistente à corrosão, que consiste em duto de cauda e, em algumas aeronaves, um trocador de calor tipo mufa.

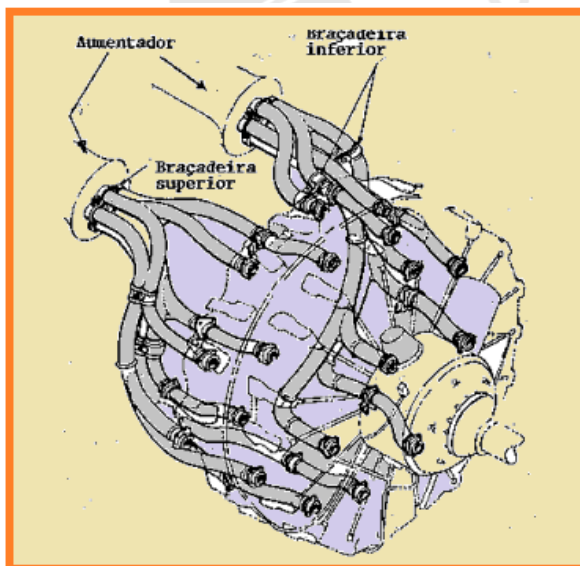
## Conjunto de Tubulação de Escapamento e Intensificador

Alguns motores radiais são equipados com uma combinação de tubulação de escapamento e intensificador. Em um motor de 18 cilindros típicos, são utilizados dois conjuntos de escapamento e dois conjuntos de intensificadores.

Cada conjunto de tubulação coleta os gases de escapamento de nove cilindros e descarrega esses gases na ponta dianteira do conjunto intensificador.

Os quatro tubos de cada conjunto de tubulação são conjuntos idênticos entre si, cada um recebendo gases de escapamento de dois cilindros (ver figura 2-32). A ordem de queima dos dois cilindros, que mandam gases de escapamento para cada tubo, é a mais separada possível. Os cilindros da linha dianteira ficam conectados aos tubos por extensões.

Esse tipo de tubulação de escapamento é manufaturado com aço resistente à corrosão e apresenta apenas um acabamento simples de jato de areia ou de revestimento de cerâmica.



Fonte: BRASIL, LAC – Instituto de Aviação Civil, Divisão de Instrução Profissional

Figura 2-32 Instalação de um sistema de escapamento.

Os gases de escapamento são direcionados para dentro das bocas de sino dos intensificadores.

Os intensificadores são projetados para produzir um efeito de tubo de Venturi para formar um fluxo de ar aumentado sobre o motor, intensificando seu resfriamento. A aleta do intensificador fica localizada em cada duto de cauda. Quando a mesma está totalmente fechada, a seção transversal do duto de cauda fica reduzida em aproximadamente 45%.

As aletas do intensificador são operadas por um atuador elétrico e indicadores adjacentes às chaves da aleta do intensificador, localizados na cabine de comando, mostram as suas posições.

As aletas podem ser movidas para a posição "fechada" com o intuito de diminuir a velocidade do fluxo através do intensificador e com isso aumentar a temperatura do motor.



## Referência Bibliográfica

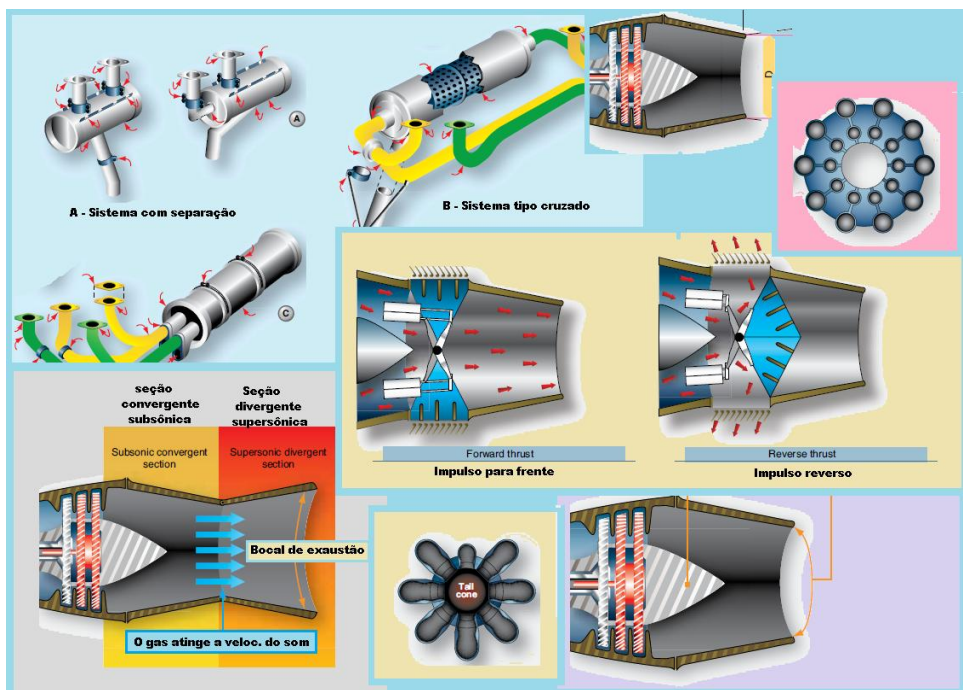
**BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional** **Matérias Básicas**, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.



## No Próximo Módulo

No próximo módulo vamos falar a respeito das práticas de manutenção do sistema de escapamento do motor convencional. Você verá que uma boa prática de manutenção é muito importante para preservar a integridade da estrutura da aeronave, bem como da saúde de seus ocupantes.

Espero você!



Fonte: Vanderlei dos Reis

## MÓDULO IV

# PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE ESCAPAMENTO DO MOTOR CONVENCIONAL

## INTRODUÇÃO

Caro aluno,

No módulo anterior vimos o Sistema de Admissão dos Motores à Reação e Sistema de Escapamento do Motor Convencional.

Agora, vamos continuar falando das práticas de manutenção do Sistema de Escapamento de Motor Convencional e você verá que uma boa prática de manutenção é muito importante para a estrutura da aeronave e de seu ocupantes.

Vamos lá

## **4.1 PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE ESCAPAMENTO DO MOTOR CONVENCIONAL**

Qualquer pane no sistema de escapamento deve ser encarada como um problema sério. Dependendo da localização e do tipo de pane, uma falha no sistema de escapamento pode resultar em envenenamento da tripulação e passageiros, por ingestão de monóxido de carbono, perda parcial ou completa da potência do motor ou ainda fogo na aeronave.

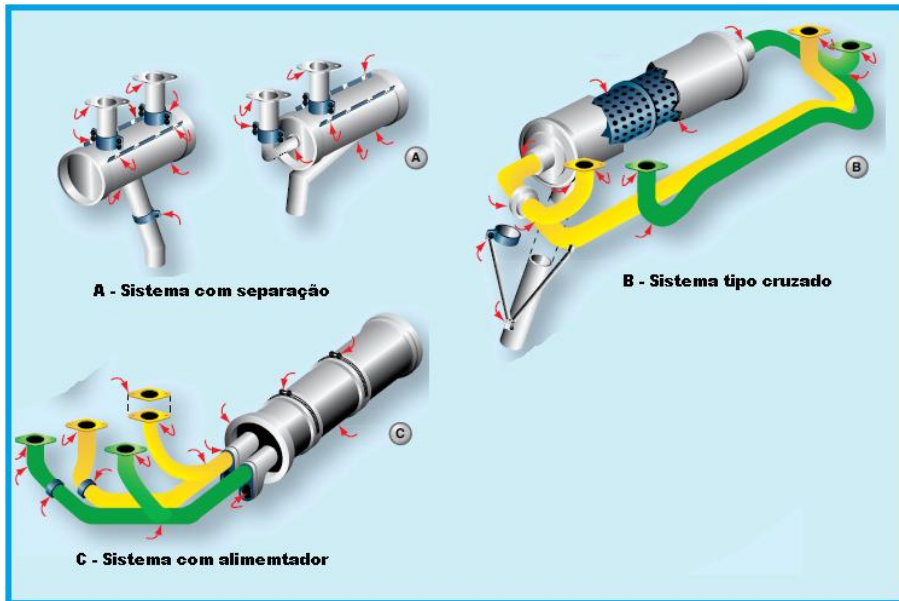
As panes do sistema de escapamento geralmente atingem um índice máximo de ocorrência quando a aeronave atinge a marca de 100 a 200 horas de operação. Mais de 50% de todas as panes de sistema de escapamento ocorrem dentro das 400 horas.

### **Inspeção do Sistema de Escapamento**

Enquanto o tipo e a localização dos componentes do sistema de escapamento variam bastante, conforme o tipo da aeronave, as exigências de inspeção para a maioria dos sistemas de escapamento de motores convencionais mantêm-se bastante semelhantes. Os parágrafos a seguir incluem uma apreciação dos itens de inspeção mais comuns para os sistemas de escapamento e os procedimentos para todos os motores convencionais. A figura 2-33 mostra as áreas de inspeção primária de três tipos de sistemas de escapamento. Antes de se falar sobre a remoção e instalação dos sistemas de escapamento básicos, é preciso salientar uma precaução que deve ser tomada ao fazer a manutenção de qualquer sistema de escapamento que venha a ser mencionado.

Nunca devem ser utilizadas no sistema de escapamento, ferramentas galvanizadas ou com revestimento de zinco e as peças do sistema de escapamento nunca devem ser marcadas com lápis grafite (por causa do chumbo).

As marcas de chumbo, zinco ou galvanizadas podem ser absorvidas pelo metal do sistema de escapamento quando aquecido, criando com isso uma alteração distinta em sua estrutura molecular. Essa alteração amolece o metal na área em que foi feita a marca, causando rachaduras e finalmente uma pane.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
 Figura 2-33 Áreas de inspeção primária.

Depois que um sistema de escape completo tiver sido instalado, a abertura de admissão de ar ou duto, as linhas de dreno de combustível, os flapes de refrigeração e todas as peças da carenagem do motor devem ser instaladas e fixadas. Depois que é realizada a inspeção de segurança desses itens, o motor é posto em funcionamento para permitir que os gases de escape sejam aquecidos até as marcas de temperaturas operacionais normais. O motor é desligado e sua carenagem removida para expor o sistema de escape.

Cada conexão fixada e de saída de escape deve ser inspecionada para se averiguar se há vazamento de gases.

Um vazamento desse tipo é indicado por linhas de cor cinza ou pretas de fuligem, verificados na tubulação, na área do vazamento. Um vazamento de escape é geralmente resultante do alinhamento incorreto no encaixe das duas peças do sistema. Quando se identifica uma conexão de escape com vazamento, as garras de fixação devem ser afrouxadas e as unidades com vazamento devem ser reposicionadas para que haja um encaixe justo e correto.

Após serem reposicionadas, as porcas do sistema devem ser apertadas novamente, o bastante para eliminar qualquer folga sem exceder o torque especificado. Se o ajuste feito pelo torque especificado não chega a eliminar as folgas, devem-se substituir tanto os



parafusos quanto as porcas, pois esses devem provavelmente ter sofrido alongamento. Após terem seu ajuste feito pelo torque especificado, todas as porcas devem ser frenadas.

Uma vez removida a carenagem do motor, podem ser feitas todas as operações de limpeza necessárias. Algumas unidades de escape são fabricadas recebendo apenas um jato de areia para o acabamento, outras poderão ter revestimento cerâmico. Os tubos com revestimento cerâmico devem ser limpos apenas com um desgordurante e nunca devem ser limpos com jato de areia ou produtos alcalinos.

Durante a inspeção do sistema de escapamento, deve ser dada uma atenção especial a todas as superfícies externas para averiguar se há rachaduras, mossas ou partes faltando. O mesmo cuidado se aplica para soldas, garras de fixação, suportes, alças de fixação de suportes, braçadeiras, juntas, flanges, vedações e peças flexíveis.

Cada curva deve ser examinada, assim como as áreas adjacentes às soldas e qualquer área que apresente moossa ou áreas mais baixas no sistema deve ser inspecionada, para se verificar se algum ponto está sendo desgastado ou perfurado devido à corrosão interna pelos produtos resultantes da combustão ou por acúmulo de umidade.

Um furador de gelo ou outro instrumento pontiagudo similar pode ser útil na inspeção dessas áreas.

Caso haja necessidade, o sistema deve ser desmontado para a inspeção dos difusores e defletores internos.

Se um componente do sistema de escapamento estiver em local inacessível para uma inspeção visual completa ou escondido por partes não removíveis, ele deve ser removido e checado para a detecção de possíveis vazamentos.

Geralmente, a melhor forma de executar essa tarefa é bloquear as aberturas dos componentes, em seguida aplicar uma pressão interna adequada (aproximadamente 2psi) e submergi-la em água.

Os vazamentos provocarão bolhas que poderão ser prontamente identificadas.

Os procedimentos requeridos para uma inspeção de instalação são também observados durante a maioria das inspeções regulares.

A inspeção diária consiste em checar o sistema de escapamento geralmente exposto, para verificar se existem rachaduras, escamação, vazamento excessivo e peças de fixação frouxas.

## **Pane de Silenciador e de Trocador de Calor**

Aproximadamente, metade de todas as panes de silenciador e de trocador de calor pode ser identificada por rachaduras ou rupturas nas superfícies do trocador de calor, que é utilizado como fonte de calor para a cabine e para o carburador.

As panes na superfície do trocador de calor (geralmente na parede externa) permitem que os gases de escapamento saiam diretamente de dentro do sistema de aquecimento da cabine. Essas panes, na maioria dos casos, são causadas por rachaduras provenientes de fadiga por vibração ou temperatura nas áreas de concentração de esforço.

A pane nos pontos de solda que ligam os pinos de transferência de calor, pode resultar em vazamento dos gases de escapamento.

Além do perigo oferecido pelo monóxido de carbono, a pane nas superfícies do trocador de calor pode permitir que os gases de escapamento sejam levados para dentro do sistema de admissão do motor, provocando um superaquecimento e perda de potência.

## **Panes no "Stack" e na Tubulação de Escapamento**

As panes da tubulação de escapamento são geralmente resultantes de fadiga nos pontos que receberam solda ou fixação, como por exemplo, conexões, flange, "stack" para tubulação, no duto de alimentação cruzada ou no silenciador.

Embora essas panes apresentem em primeiro lugar o perigo de fogo, apresentam também os problemas com monóxido de carbono.

Os gases de escapamento podem entrar na cabine através de vedações defeituosas ou inadequadas em aberturas na parede de fogo, de dispositivos na estrutura da asa, portas e aberturas na raiz da asa.

## **Panes no Silenciador Interno**

As panes internas (defletores, difusores, etc.) podem causar perda de potência do motor parcial ou completa, uma vez que restringem o fluxo dos gases de escapamento. Ao contrário de outras panes, a erosão e carburação devidas às condições térmicas extremas, são as causas principais das panes internas.

Retorno de chama do motor e combustível não queimado, dentro do sistema de escapamento, são provavelmente fatores que contribuem para essas panes.

Além disso, áreas particularmente quentes como resultantes de um fluxo de gases de escapamento não uniforme, podem vir a causar queima, abaulamento ou ruptura da parede externa do silenciador.

### **Sistemas de Escapamento com Turboalimentador**

Quando há um sistema turboalimentador (ou um turbosuperalimentador) o sistema de escapamento do motor opera sob uma condição de pressão e temperatura grandemente aumentada. Portanto, devem ser tomadas precauções extras no cuidado e manutenção do sistema de escapamento.

Durante a operação em altitude com alta pressão, o sistema de escapamento é mantido ao nível do mar ou próximo a esses valores. Devido à pressão diferencial, quaisquer vazamentos no sistema permitirão que os gases de escapamento saiam com a intensidade de um maçarico, podendo causar severos danos às estruturas adjacentes.

Uma causa comum de mau funcionamento desse tipo são os depósitos de coque (acúmulo de carbono) na unidade da comporta de escapamento, provocando um funcionamento errado do sistema.

Um acúmulo de depósito excessivo pode fazer com que a válvula da comporta de escapamento fique presa na posição "fechada", causando uma condição de sobrepressão (overboost).

O acúmulo de depósito de coque no próprio turbo pode causar uma perda gradativa de potência em voo e uma leitura de baixa pressão antes da decolagem. A experiência tem mostrado que a remoção dos depósitos de carbono, feita periodicamente, é necessária para que o máximo de eficiência seja mantido. Se limpa, repara-se, usina-se e ajustam-se os componentes e controles do sistema, sempre de acordo com as indicações de procedimentos aplicáveis feitas pelo fabricante.

### **Sistema com Intensificador de Escapamento**

Os sistemas de escapamento equipados com tubos intensificadores deveriam ser inspecionados periodicamente a intervalos regulares para manter seu perfeito alinhamento,

segurança da instalação e de suas condições gerais. Mesmo onde os tubos intensificadores não contêm superfícies trocadoras de calor, a inspeção deve ser feita para detecção de rachaduras, assim como em todo o sistema de escapamento. Rachaduras em tubos intensificadores podem apresentar uma condição de fogo ou de perigo, devido ao monóxido de carbono que pode entrar nas áreas da nacele, asa e cabine.

### **Reparos no Sistema de Escapamento**

É recomendação geral que partes do sistema de escapamento que vierem a receber reparos, tais como suportes, silenciadores, cone de cauda, etc., sejam substituídas por peças novas ou recondiçionadas. No sistema de escapamento, os reparos por solda são complicados pela dificuldade de se identificar com precisão o metal base, para que possam ser selecionados os materiais de reparo mais adequados. Alteração na composição e na estrutura de granulação do metal básico original vem a dificultar o reparo.

Entretanto, quando os reparos com solda são necessários, deve-se tomar o cuidado de manter os contornos originais. O alinhamento do sistema de escapamento não deve ser deformado ou afetado. Marcas de reparo ou gotas de solda que se projetem internamente não são aceitáveis, uma vez que podem se constituir em pontos de acúmulo de calor e, também, restringir o fluxo dos gases de escapamento.

Durante o reparo ou substituição de componentes do sistema de escapamento, sempre devem ser utilizadas as peças de fixação e ferramentas adequadas. Porcas de aço ou de baixa temperatura e que se fecham por si mesmas (de auto-aperto), não devem ser substituídas por porcas de trava utilizadas pelo fabricante, feitas de latas e especiais para altas temperaturas.

Nunca se devem reutilizar vedações velhas. Quando se torna necessário desmontar o sistema de escapamento, as vedações usadas devem ser substituídas por novas e do mesmo tipo fornecidas pelo fabricante.

### **4.2 DUTOS DE ESCAPAMENTO DO MOTOR A TURBINA**

O termo "duto de escapamento" aplica-se à tubulação de escapamento do motor ou duto do cone de cauda, o qual conecta a saída da turbina ao bocal de jato de escapamento de um motor que não apresenta pós-combustor. Embora o pós-combustor possa também ser

considerado como um tipo de duto de escapamento, a pós-combustão em si é outro assunto a ser posteriormente discutido neste capítulo.

Se os gases de escapamento de um motor pudessem ser descarregados diretamente ao ar externo, em uma direção axial exata em relação à saída da turbina, o duto de escapamento poderia não ser necessário. Isso, contudo, não é o que ocorre na prática. Uma quantidade total de empuxo maior pode ser obtida do motor, desde que os gases sejam descarregados da aeronave a uma velocidade maior que a permissível na saída da turbina. Por este motivo é acrescentado um duto de escapamento que tanto coleta como direciona o fluxo de gás em linha reta, à medida que esse deixa a turbina, aumentando, desta forma, a velocidade dos gases antes que sejam descarregados no bocal de escapamento, localizado na parte posterior do duto. O aumento de velocidade dos gases aumenta também sua energia e, conseqüentemente, o empuxo resultante.

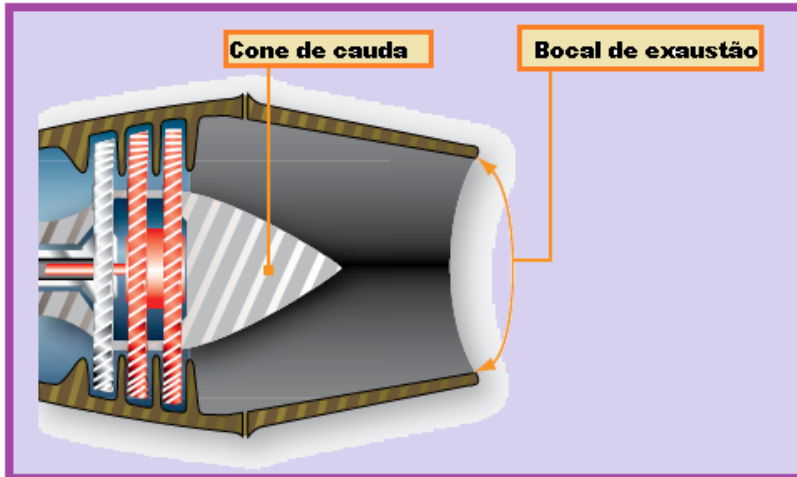
Um duto de escapamento do motor é geralmente chamado de duto do cone de cauda do motor, embora o duto seja, na verdade, essencialmente uma tubulação simples, cônica ou cilíndrica, feita de aço inoxidável. Seu conjunto inclui um cone de cauda do motor e estruturas dentro do cone. O cone de cauda e sua estrutura reforçam o duto, proporcionam um direcionamento axial ao fluxo dos gases de escapamento, dando também a esse mesmo fluxo mais uniformidade.

Imediatamente após a saída da turbina e usualmente logo à frente do flange, onde o duto de escape é conectado, encontram-se os sensores de pressão de descarga da turbina. Uma ou mais sondas são inseridas no duto de escapamento para que possam fornecer uma amostragem adequada da pressão dos gases de escapamento.

Em motores grandes não se mede a temperatura interna na entrada da turbina (por dificuldades práticas que isso apresenta), e portanto, o motor costuma receber instrumentos sensores que meçam a temperatura dos gases de escapamento na saída da turbina.

### **Bocal de Escapamento Convergente Convencional**

Dá-se o nome de bocal de escapamento (Figura 2-34) à abertura posterior do duto de escapamento da turbina de um motor. O bocal atua como um orifício cujo diâmetro determina densidade e velocidade dos gases de escapamento quando esses deixam o motor.



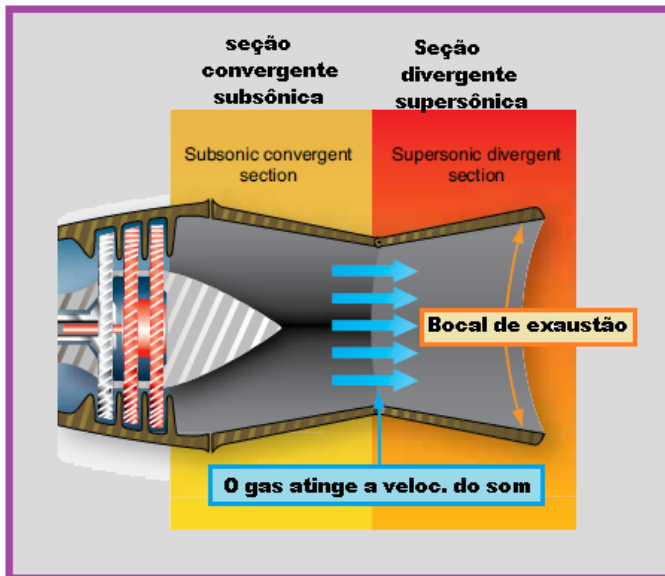
Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
Figura 2-34 Áreas de escapamento convergente convencional.

Na maioria dos motores sem pós queimador, a área do bocal de escapamento é bastante crítica. O ajuste nessa área modifica tanto o desempenho do motor como a temperatura dos gases de escapamento. Em alguns motores, o ajuste para que se obtenha a correta temperatura dos gases de escapamento é realizado com a alteração da área do bocal de escapamento.

Quando isso for necessário, pequenos compensadores que podem ser envergados, conforme o caso requeira, são colocados na abertura do bocal de escapamento ou ainda, podem ser fixadas em torno do perímetro do bocal, pequenas peças chamadas "mice" que modificam sua área.

### **Bocal de Escapamento Convergente/ Divergente**

Sempre que a razão de pressão do motor for bastante alta para produzir velocidades de gases de escapamento, que possam exceder a Mach 1 no bocal de escapamento do motor, mais empuxo pode ser ganho com o uso de um bocal do tipo convergente/divergente (Figura 235). A vantagem desse bocal é maior com os números Mach altos por causa de uma razão de pressão mais alta resultante ao passar pelo bocal de escapamento.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1

Figura 2-35 Duto de escapamento convergente - divergente.

Para garantir que o peso ou volume constante de gás fluirá por um determinado ponto após a velocidade sônica ter sido atingida, a porção posterior do duto de escapamento supersônico é aumentada para acomodar o peso ou volume adicionais de um gás que fluirá a razões supersônicas. Se isto não for feito, o bocal não operará eficientemente. Esta seção do duto de escapamento é conhecida como divergente.

Quando se utiliza um duto divergente em combinação com um duto de escapamento convencional, o conjunto é então chamado duto de escapamento convergente/divergente ou bocal "C-D", em que a seção convergente é destinada a trabalhar o fluxo de gases enquanto esse se mantém subsônico e entrega os gases à garganta do bocal no ponto em que atingem velocidade sônica.

A seção divergente trabalha os gases, aumentando-lhes mais a velocidade, no ponto em que deixam a garganta e tornam-se supersônicos.

### 4.3 SISTEMA DE ESCAPAMENTO DE TURBOÉLICE

Em um sistema de escapamento turboélice típico, os gases de escapamento são direcionados da seção da turbina do motor para a atmosfera, através de um conjunto do duto do cone de cauda.

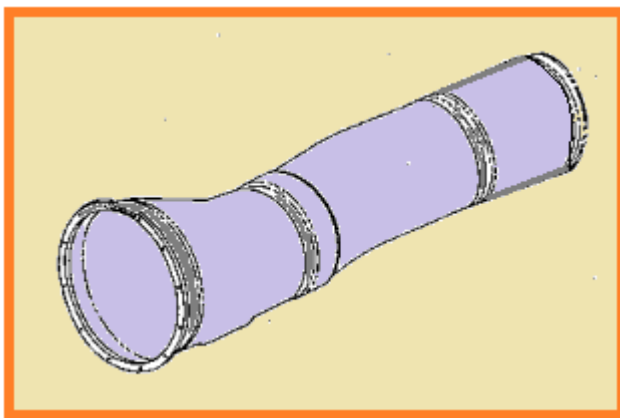


Em uma instalação típica, o conjunto do cone de cauda é montado na nacele e fixado em sua extremidade dianteira, à parede de fogo. A seção dianteira do cone de cauda tem a forma afunilada e circunda, sem, entretanto ter contato com a seção de escapamento da turbina.

Essa configuração forma um espaço anular que serve como ejetor de ar para a massa de ar que envolve a seção quente do motor. Assim que os gases de escapamento em alta velocidade entram no duto de cauda, é produzido um efeito de baixa pressão que faz com que o ar em torno da seção quente do motor flua através do espaço anular para dentro do duto de cauda.

Um duto de cauda deste tipo é geralmente fabricado em duas seções (ver Figura 2-36). Tanto a dianteira de forma afunilada quanto a traseira são feitas de aço resistente à corrosão e uma braçadeira resistente a altas temperaturas e à corrosão mantém as duas partes unidas em uma junção a prova de gás.

O flange de montagem soldado à extremidade dianteira da seção do duto de cauda encaixa-se ao lado da parede de fogo, que está mais próxima do motor e é fixada a esta por parafusos.



Fonte: BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional

Figura 2-36 Tubos de escapamento de turboélice, de duas seções.

Uma seção integral de foles permite a expansão entre a parede de fogo e dois dispositivos fixos com rolamentos, os quais podem ser ajustados para deslocar o duto de cauda em um plano vertical.

A seção posterior do duto de cauda é presa à estrutura da aeronave por dois braços de suporte, um em cada lado. Os braços de suporte são fixados à superfície superior da asa, de tal modo, que seja permitido o movimento à frente e para trás, compensando a expansão.

O conjunto do duto de cauda é envolto em uma manta isolante, que visa proteger a área circundante do alto calor produzido pelos gases de escapamento. Algumas mantas podem ser feitas de aço inoxidável laminado em seu exterior e de fibra de vidro no interior.

#### 4.4 REVERSORES DE EMPUXO

O difícil problema de parar a aeronave após o pouso aumenta muito com as velocidades do ar e pesos brutos cada vez maiores, fato comum entre as aeronaves modernas, que têm suas áreas de asa aumentadas assim como suas velocidades de pouso. Em muitos casos, não se pode mais confiar inteiramente apenas na frenagem das rodas como recurso para reduzir a velocidade da aeronave dentro de uma distância razoável, imediatamente após o toque. A hélice de passo reverso conseguiu resolver a questão para os motores convencionais e para as aeronaves impulsionadas por motores turboélice. As aeronaves comerciais turbojato, entretanto, precisam contar com a reversão do empuxo produzido pelos motores.

Um reversor de empuxo do motor (ver figura 2-37) não apenas proporciona uma força de frenagem de velocidade no solo, mas também quando for aplicável, é um recurso desejável para uso em voo antecedendo ao pouso. Algumas formas de reduzir a velocidade do ar e aumentar a razão de descida, tal como um freio, são quase uma necessidade para as aeronaves turbojato que então utilizam o freio aerodinâmico ou um reversor de empuxo que possa ser operado enquanto o avião está no ar.



Fonte: Vanderlei dos Reis

Figura 2-37 Operação do reversor de empuxo.

Muitas variedades de reversor de empuxo já foram propostas e um grande número delas já foi testado, alcançando um considerável grau de sucesso. O tipo mais eficiente de reversor de empuxo pode ser classificado em duas categorias: do tipo de bloqueio mecânico e bloqueio aerodinâmico. O bloqueio mecânico é realizado pela colocação de uma obstrução removível no fluxo dos gases de escapamento, geralmente bem afastado da parte posterior do bocal. Os gases de escapamento do motor são bloqueados e desviados a um ângulo conveniente voltado para a direção reversa por meio de um cone invertido.

No reversor de empuxo do tipo de bloqueio aerodinâmico, finos aerofólios ou obstruções são colocados no fluxo do gás, tanto ao longo do comprimento do duto de escapamento, como imediatamente atrás do bocal.

Em uma adaptação de reversor aerodinâmico, aletas dentro do duto criam um turbilhonamento dos gases para que sigam em movimento centrífugo, em uma sequência de aletas rotativas. Pelo menos um modelo de aeronave, dentre as de tipo turbojato em uso comercial atualmente, faz uso de uma combinação de reversores do tipo de bloqueio mecânico e aerodinâmico.

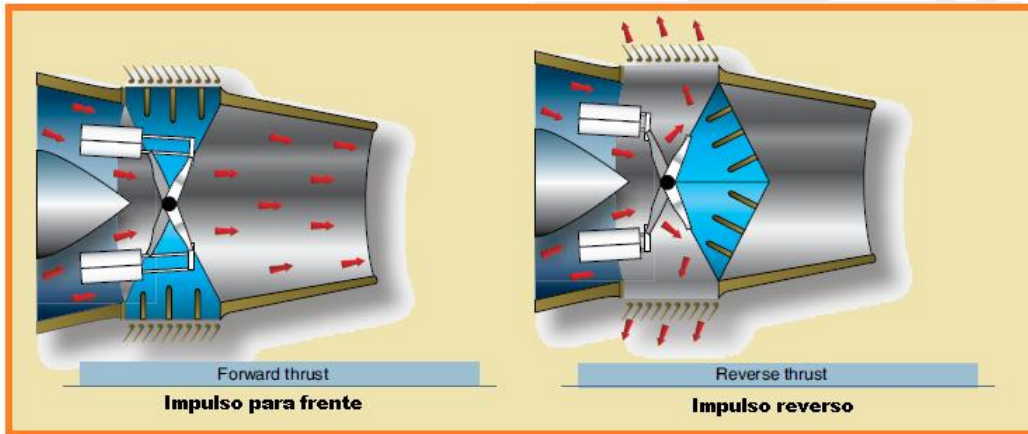
Um reversor de empuxo não deve afetar a operação do motor, esteja ele sendo utilizado, ou não. Deve ser capaz de suportar altas temperaturas, ser mecanicamente forte e ter um peso relativamente leve, confiável e "à prova de falhas". Não estando em uso, não deve se tornar um acréscimo apreciável à área frontal do motor e deve estar continuando a linha aerodinâmica da nacele.

Para satisfazer um mínimo dos requisitos de frenagem após o pouso, um reversor de empuxo deve ser capaz de produzir uma potência de reverso de pelo menos 50% da força à frente total que o motor tem capacidade de proporcionar.

O reversor de bloqueio mecânico tipo concha (Figura 2-38) satisfaz adequadamente a maioria destes requisitos e, em um formato ou outro, tem sido adotado para uso em motores sem pós queimador.

Em posições do manete de potência abaixo de marcha lenta, o reversor operará para formar uma barreira de desvio na passagem dos gases de escapamento, o que, por sua vez, anula e reverte a potência à frente produzida pelo motor. As posições do manete de potência abaixo de marcha lenta podem fazer com que o motor acelere em quantidades controláveis até atingir r.p.m. total, de tal modo que a força de reversão parcial ou total pode ser utilizada conforme a necessidade.

Quando o reversor não está em uso, a concha se retrai ficando guardada em encaixe perfeito em torno do duto de escape do motor, geralmente formando a seção posterior da nacele. A maioria dos reversores de empuxo em uso atualmente está combinada com um silenciador de escape do motor.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
Figura 2-38 Bloqueio de fluido do escape de um turbojato.

#### 4.5 SUPRESSORES DE RÚIDO DO MOTOR

Uma aeronave, impulsionada por grandes motores turbojato, requer algum tipo de dispositivo silenciador de ruído para os gases de escape do motor, quando está operando em aeroportos localizados em/ou próximos a áreas densamente povoadas.

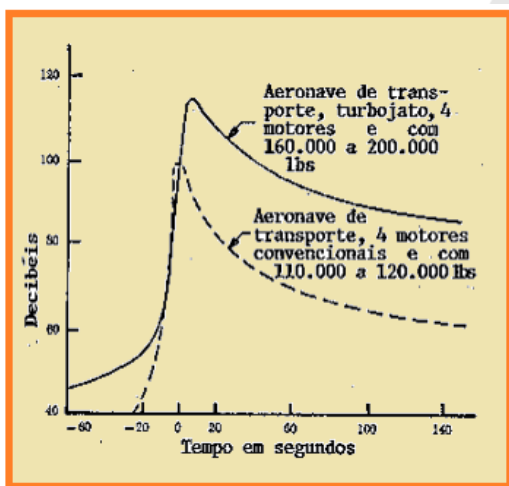
Dois tipos de supressores de ruído são utilizados, sendo um deles dispositivo portátil, separado da aeronave, destinado ao uso no solo para as atividades de manutenção: fica posicionado na parte posterior do motor sempre que para este houver previsão de uma operação prolongada.

O outro tipo de supressor de ruído é uma peça integral ao motor, fazendo parte de sua instalação ou do duto de escape do motor. Apenas esta última modalidade de supressor, que primariamente suprime o ruído do motor durante a decolagem, subida, aproximação e pouso, é que será discutida aqui.

É geralmente aceito, que a quantidade de som a ser atenuada e requerida para uma aeronave turbojato, será a necessária para conseguir moderar o ruído do motor para um nível que não perturbe mais que aquele produzido por uma combinação de motor convencional, que esteja operando em condições similares.

Embora a quantidade de redução de ruído necessária geralmente esteja em torno de 12 decibéis, a forma pela qual o ruído de uma aeronave turbojato possa ser reduzido para um nível mais aceitável como o do avião com motor convencional, não é uma coisa simples de se determinar.

A hélice, que é a maior fonte de ruído na aeronave de motor convencional, tem um padrão de ruído que se eleva drasticamente para o seu ponto máximo assim que o seu plano passa por um indivíduo no solo.



Fonte: BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional

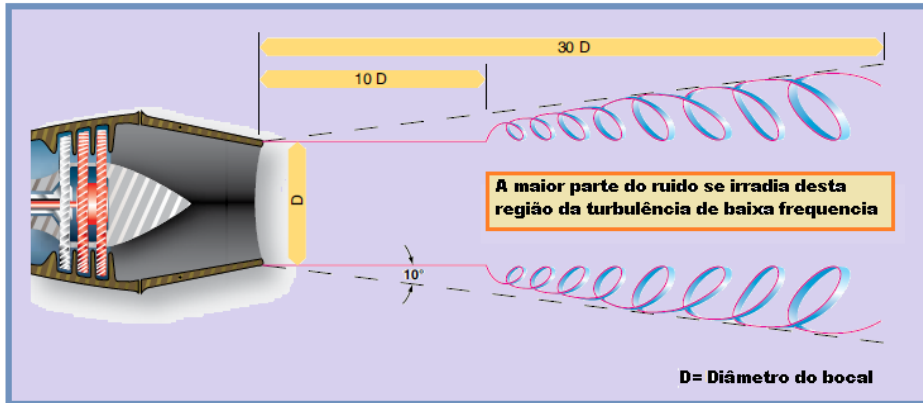
Figura 2-39 Níveis de ruído.

A aeronave turbojato produz uma elevação de ruído distinta, drástica, que atinge o seu ponto máximo depois que a aeronave tiver passado pelo indivíduo no solo e estiver em relação a esta pessoa, a um ângulo de aproximadamente 45°.

O ruído então persiste a um nível alto durante um período de tempo considerável, se comparado com aquele produzido pela aeronave de motor convencional e hélice (ver figura 239).

Há três fontes de ruído envolvidas na operação de um motor de turbina a gás. A entrada de ar do motor e a vibração dos montantes de fixação são fontes de algum ruído, mas o ruído gerado deste modo não se compara em magnitude com aquele produzido pelo escapamento do motor, conforme está ilustrado na figura 2-40.

O ruído produzido pelo escapamento do motor é causado pelo alto grau de turbulência, de um fluxo de jato de alta velocidade, através de uma atmosfera relativamente silenciosa.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1  
 Figura 2-40 Padrão de ruído do escapamento de um turbojato.

Por uma distância equivalente a algumas vezes o diâmetro do bocal e em direção ao sentido do fluxo atrás do motor, a velocidade do fluxo de jato é alta e quase não há mistura desse com a atmosfera.

Nesta região, a turbulência dentro do fluxo de jato em alta velocidade constitui-se de granulação muito fina e produz um ruído de frequência relativamente alta.

Ainda no sentido do fluxo, porém a uma distância maior do motor, à medida que a velocidade do fluxo de jato diminui, esse fluxo mistura-se à atmosfera, dando início a uma turbulência de tipo mais grosseiro.

Comparado com o ruído verificado em outras porções do fluxo de jato, o ruído nessa fase apresenta uma frequência muito mais baixa. À medida que a energia do fluxo de jato é finalmente dissipada em grandes espirais de turbulência, uma porção maior da energia é convertida em ruído. O ruído gerado na dissipação dos gases de escape está a uma frequência próxima do ponto mais baixo da faixa audível.

Quanto mais baixa for a frequência do ruído, maior será a distância que ele percorrerá. Isto significa que os ruídos de baixa frequência alcançarão um indivíduo no solo em um volume maior que o dos ruídos de alta frequência, sendo por isso alvo de maiores objeções.

O ruído de alta frequência é enfraquecido mais rapidamente que o de baixa frequência, pela distância e interferência dos edifícios, terreno e distúrbios atmosféricos.

Uma buzina de nevoeiro, por exemplo, com o seu timbre grave, de baixa frequência, pode ser ouvida a uma distância muito maior que a estridente alta frequência de um apito, muito embora ambos possam ter o mesmo volume (decibéis) em suas fontes.

Os níveis de ruído variam com a potência do motor e são proporcionais à quantidade de trabalho feito pelo motor com o ar que passa através dele.

Um motor que tenha um fluxo de ar relativamente baixo, mas com alto empuxo devido à descarga da turbina (gases de escapamento) com alta temperatura, alta pressão e/ou um pós queimador, irá produzir um fluxo de gás de alta velocidade e, conseqüentemente, altos níveis de ruído.

Um motor maior, trabalhando mais ar, será mais silencioso à mesma potência. Assim, o nível de ruído pode ser consideravelmente reduzido pela operação do motor a baixos ajustes de potência e os motores grandes operando em potência parcial serão menos ruidosos que os motores operando em regime de potência total.

Comparado a um turbojato, a versão turbofan do mesmo motor será mais silenciosa durante a decolagem.

O nível de ruído produzido por um motor tipo "fan" é menor, principalmente porque as velocidades dos gases de escapamento, ejetados no duto de cauda do motor, são menores que aquelas constatadas em um turbojato de mesmo tamanho.

Os motores turbofan requerem uma turbina maior que proporcione força adicional para acionar o "fan".

A turbina grande, que costuma apresentar um estágio adicional reduz a velocidade do gás e, com isso, reduz o ruído produzido, porque o ruído do gás de escapamento é proporcional à sua velocidade.

Vista separadamente, o escapamento do fan ocorre em velocidade relativamente baixa e, portanto, não cria um problema de ruído.

Por causa das características do ruído de baixa frequência que o faz deixar um rastro de alto volume, uma redução de ruído eficiente para uma aeronave turbojato precisa ser conseguida pela reavaliação do padrão de ruído, ou pela modificação da frequência do ruído emitido pelo bocal do jato.

Os supressores de ruído em uso atualmente podem ser tanto do tipo de perímetro corrugado, mostrado na figura 2-41 ou do tipo multitubular, mostrado na figura 2-42.

Ambos os tipos de supressores dividem o fluxo principal e único de gases de escapamento em um número de fluxos de jato menores. Isso aumenta o perímetro total da área do bocal de escapamento e, ao mesmo tempo, reduz o tamanho dos redemoinhos criados quando os gases são dissipados na atmosfera.

Embora a energia de ruído total permaneça inalterada, a frequência é consideravelmente elevada.



O tamanho dos redemoinhos assume uma escala menor com o tamanho do fluxo de escapamento.

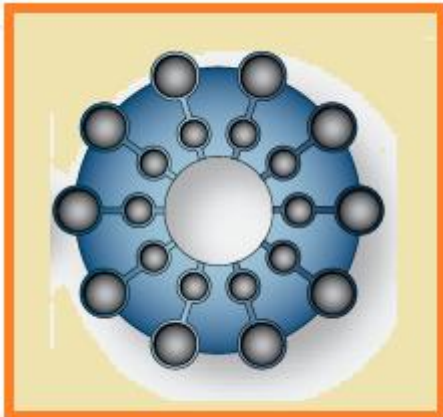


Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1

Figura 2-41 Vista traseira de um supressor de ruído de perímetro corrugado.

Isto traz dois efeitos: primeiramente, a mudança na frequência pode colocar uma parte do ruído acima da faixa de audibilidade do ouvido humano e, em segundo lugar, altas frequências dentro da faixa audível, mais perturbadoras, são altamente atenuadas pela absorção atmosférica.

Dessa forma, a perda em intensidade é maior e o nível de ruído torna-se menor a uma dada distância da aeronave.



Fonte: FAA - Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant - Volume 1

Figura 2-42 Vista traseira de um supressor de ruído multitubo.

#### 4.6 DISSIPADORES DE "VORTEX" DA ENTRADA DE AR DO MOTOR

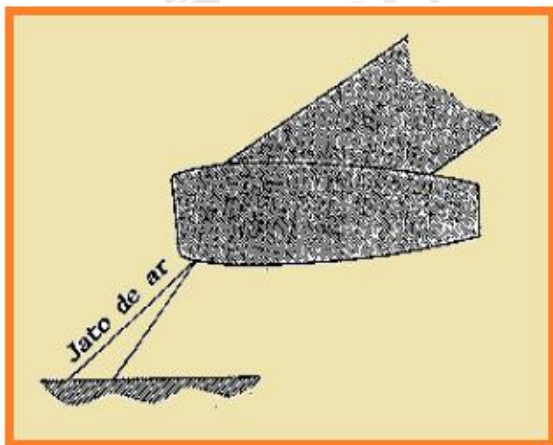
Quando os motores turbojato estão operando no solo, é possível que por vezes forme um redemoinho (vortex) entre a entrada de ar do motor e o solo.

Esse "vortex" pode causar uma grande força de sucção capaz de levantar do chão pequenos objetos e conduzi-los a entrada do motor. A ingestão de tais objetos estranhos pode causar danos ao motor.

Para minimizar o perigo de ingestão de objetos estranhos que possam ser encontrados na pista, alguns motores turbojato são equipados com um dissipador de "vortex" na entrada de ar do motor.

Esse dissipador é um pequeno fluxo de jato direcionado para baixo a partir do bordo de ataque inferior da carenagem do bocal do motor em direção ao solo, de modo que possa destruir a base do vortex ou redemoinho.

A figura 2-43 ilustra a direção e a dimensão geral do jato de ar dissipador de "vortex".



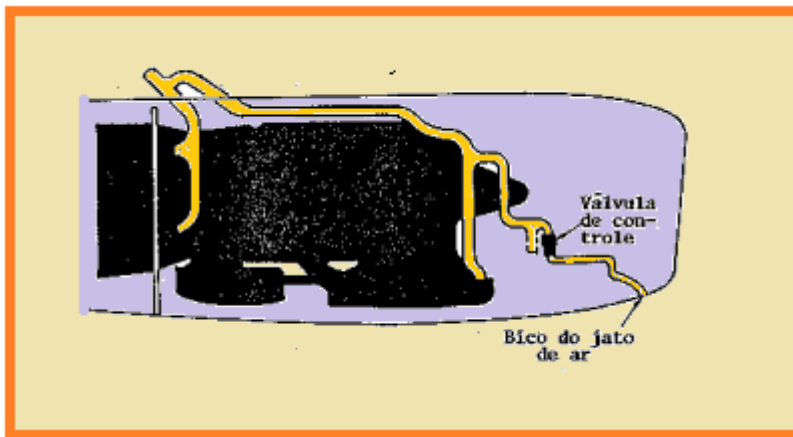
Fonte: BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional

Figura 2-43 Jato de ar destruidor do "vortex" da entrada do motor.

A figura 2-44 é um diagrama que mostra a localização do ponto de saída do jato de ar e a válvula de controle.

Para o jato de ar que eliminará a formação de redemoinhos, é usado ar sangrado do motor. Esse jato de ar é controlado por uma válvula localizada na carenagem do bocal do motor.

A válvula de controle é geralmente uma válvula de duas posições, sendo aberta pela chave de segurança do trem de pouso. A válvula se fecha quando a aeronave deixa a pista e o peso da aeronave é removido do trem de pouso.



Fonte: BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional

Figura 2-44 Localização dos componentes de destruição do "vortex".



## Referência Bibliográfica

Fonte: BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional. **Matérias Básicas**, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.



## Encerrando a Disciplina

Caro aluno,

Chegamos ao final desta matéria. Para que você tenha um grande sucesso na sua carreira de mecânico, peço-lhe que se mantenha sempre atualizado. Use este material de ensino o máximo que puder e leia outros materiais disponíveis no mercado e na internet.

Tenho certeza que você conseguiu atingir os objetivos específicos desta matéria que são:

- Identificar as características e os procedimentos de manutenção dos sistemas de admissão e de escapamento dos motores de aviação;

