

**COMANDO DA AERONÁUTICA
ESCOLA DE ESPECIALISTAS DE AERONÁUTICA**



**MOTORES DE AVIAÇÃO
VOLUME II**

BMA

CFS

Código: 11.07

Edição: 2022

Docente(s): SO BMA GARCIA 2017

1S BMA DÊNIS

2S BMA FERRAZ

Coordenador Pedagógico: AP QOCON PED LILIAN ALMEIDA

Diagramador: S2 SNE MARIO

Simbologia utilizada

X Primeira seção/unidade

X.Y Segunda seção/subunidade

✓ Terceira seção (X.Y.Z)

➤ Quarta seção (X.Y.Z.A)

★ Quinta seção (X.Y.Z.A.B)



DOCUMENTO DE PROPRIEDADE DA EEAR

Todos os Direitos Reservados

Nos termos da legislação sobre direitos autorais, é proibida a reprodução total ou parcial deste documento, utilizando-se de qualquer forma ou meio eletrônico ou mecânico, inclusive processos xerográficos de fotocópias e de gravação, sem a permissão, expressa e por escrito, da Escola de Especialistas de Aeronáutica – Guaratinguetá – SP.

APRESENTAÇÃO

Caro estudante, com a finalidade única de ajudá-lo a conhecer o funcionamento dos motores de propulsão a jato, foi elaborado esta apostila de “MOTORES DE AVIAÇÃO”.

O conteúdo desta apostila abrange a teoria básica, funcionamento e partes principais. O perfeito entendimento desta apostila trará benefícios a você, pois assimilando este conteúdo certamente facilitará o seu desempenho, como profissional, no dia a dia em seu setor de trabalho.

Para facilitar seu entendimento, procuraremos através de uma linguagem simples, atingir o objetivo proposto por esta apostila.

Votos de sucesso em seus estudos!

SUMÁRIO

1 PRINCÍPIOS DA PROPULSÃO A JATO.....	6
1.1 A Propulsão a Jato e aq 3ª Lei De Newton.....	6
1.2 Velocidade e Aceleração, Origem da Tração e Experiência do Tubo Teórico.....	9
1.3 Motores Pulsojato, Estatojato e Foguete.....	13
2 MOTOR A JATO.....	22
2.1 Rotor e Compressor.....	22
2.2 Câmara de Combustão e Turbinas.....	29
2.3 Caixa Coletora dos Gases de Exaustão.....	38
2.4 Caixa de Engrenagens e Implementos usados nos Motores a Jato.....	39
3 MOTORES TURBOJATO.....	44
3.1 Motor TurboJato.....	44
4 MOTORES TURBOHÉLICE E TURBOEIXO.....	54
4.1 Motores TurboHélice e TurboEixo.....	54
4.2 Motor Pt6a.....	62
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
REFERÊNCIAS.....	100

1 PRINCÍPIOS DA PROPULSÃO A JATO

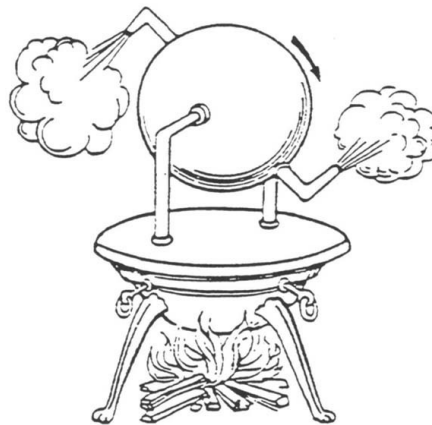
1.1 A Propulsão a Jato e aq 3ª Lei De Newton

A ideia da propulsão a jato não é tão recente como pode parecer à primeira vista. Os princípios físicos, nos quais estão baseados os atuais motores a jato, já haviam sido apresentados há vários séculos.

Segundo documentos históricos, no início da ERA CRISTÃ, HERO, célebre filósofo de Alexandria, apresentou um aparelho com o qual conseguia transformar a pressão do vapor d'água (energia cinética) em energia mecânica.

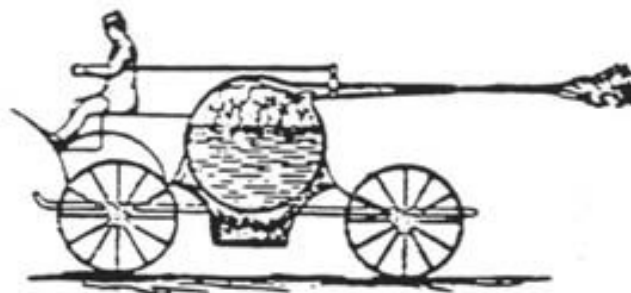
EOLÍPILA – Esse aparelho talvez tenha sido o primeiro a demonstrar o princípio da ação e reação, mais tarde demonstrado em aplicação prática e ditado pela 3ª LEI DE NEWTON.

Figura 1: EOLÍPILA



O célebre cientista, Sir ISSAC NEWTON, já tinha uma ideia da propulsão a jato para a aplicação em veículos. Tanto é que foi encontrado em seus alfarrábios o desenho de um carro movido com propulsão a jato. Não se sabe, porém se chegou a apresentar vantagens.

Figura 2: CARRO MOVIDO A PROPULSÃO

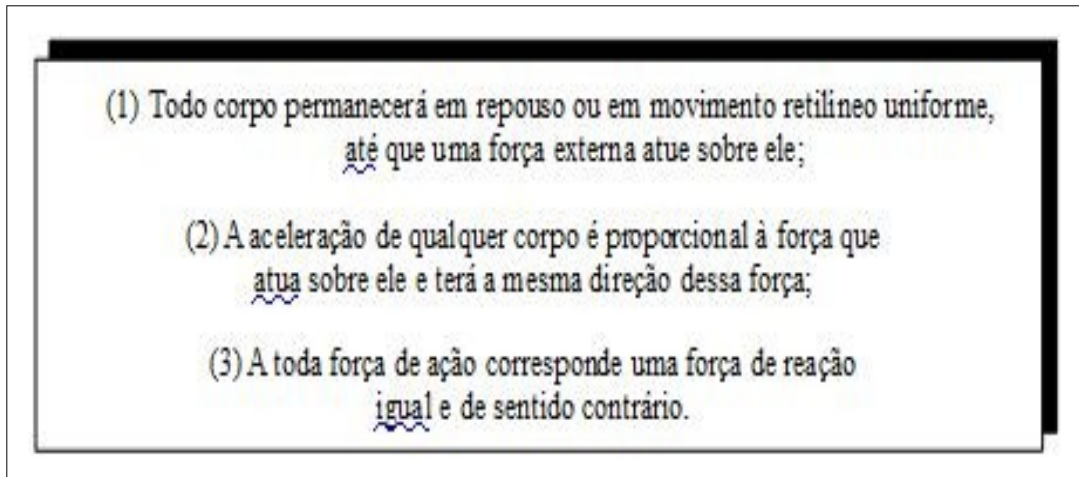


A origem da primeira turbina a gás não pode ser muito bem definida, mas tem sido atribuída a Leonardo da Vinci, muito embora outros estudiosos, tal como Giovanni Bianca, de origem italiana, já

tivessem tratado do assunto. Tivemos como resultado, os atuais motores a jato que, com seu advento, fizeram surgir uma nova era para a ciência aeronáutica.

A teoria da propulsão a jato está contida no ramo da física conhecido por MECÂNICA e é perfeitamente definida pelas leis do movimento de NEWTON:

Figura 3



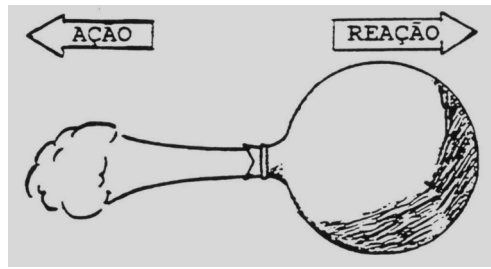
A 3ª lei do movimento é conhecida apenas como a lei de ação e reação. Talvez seja difícil de entender de início, quando aplicada aos casos dos motores a jato, em virtude da impossibilidade de se fixar o ponto de referência entre a força atuante do próprio motor turbo jato. É por isso que muitos acreditam que a força de propulsão do veículo, equipado com motor a jato ou mesmo foguete, deriva do apoio que os gases de escapamento encontram em relação ao ar atmosférico.

Tal conceito não é verdadeiro, pois, se assim fosse, os motores-foguetes, também baseados no mesmo princípio da propulsão a jato, não iriam ao espaço sideral, onde funcionam satisfatoriamente.

Essa força que provoca a propulsão do motor (força propulsora) é um fenômeno que ocorre estritamente no interior do mecanismo e tem, portanto, uma atuação pura e simplesmente interna.

O ponto de referência concernente à 3ª Lei de Newton é a própria partícula do ar atmosférico que circula pelo interior do motor.

Uma maneira simples e prática para demonstrar o ponto de referência dessa lei é a utilização de um pequeno balão de borracha (bexiga).

Figura 4: BALÃO DE BORRACHA

Nessa situação, a membrana do balão exercerá certa pressão sobre a massa de ar contida no seu interior, pois ela possui a característica de um corpo elástico.

Segurando-se o balão pelo bico, de modo a não permitir nenhum escapamento de ar, poderemos dizer que existe um equilíbrio no seu interior.

Mas, soltando-se esse bico, de maneira a permitir o escapamento dessa massa de ar, observaremos que o balãozinho deslocar-se-á no espaço com um movimento próprio e com uma trajetória bastante desorientada. A explicação desse movimento é a seguinte: o ar do interior do balão, ao escapar livremente do bico, produz uma força de reação em sentido contrário ao de seu escapamento.

Essa força de reação, atuando internamente nas paredes do balão, produzirá a sua movimentação através do espaço. Cada partícula de ar pertence à massa que está escoando pelo bico, será acelerada por ação da força de pressão existente no interior do próprio balão. De acordo com a 2ª Lei de Newton, a aceleração terá o mesmo sentido da força atuadora, e também segundo a 3ª lei do movimento (ação-reação), surgirá uma força de reação igual, mas de sentido oposto.

Sendo assim, o balão vai movimentar-se em sentido absolutamente oposto ao sentido de escoamento da massa de ar que flui pelo bico.

É oportuno observar que essas duas forças, a de ação e reação, apesar de serem iguais e de sentidos opostos nunca se neutralizam, porque estão sempre atuando em corpos diferentes.

No caso particular, a força de ação está atuando sobre a massa de ar, enquanto a de reação atua sobre a estrutura interna do balão. A primeira produz a movimentação da massa de ar, e a segunda provoca o deslocamento do balão.

A movimentação desorientada do balão é por causa da perda de seu formato esférico, à medida que o ar vai-se escoando. Com a deformação, registram-se mudanças de posição do bico em relação ao próprio balão. Por conseguinte, produzem-se alterações na direção do jato de ar, as quais determinam instantaneamente alterações correspondentes na direção da força de reação resultante. Toda variação na direção dessa força implicará na imediata alteração da trajetória do balão. Finalizando, como as oscilações do bico são bruscas, bruscas serão todas as alterações da trajetória.

Uma metralhadora, montada sobre uma plataforma toda apresentada sobre trilhos, servirá para uma nova experiência demonstrativa da atuação da força de reação. Para cada disparo, isto é, para cada expulsão de uma bala, teremos uma força do sentido oposto (reação), provocando o que é vulgarmente conhecido por coice da arma, o qual provoca o deslocamento do conjunto montado sobre trilhos, num sentido oposto ao formado pelas balas disparadas. Num motor a jato, cada uma das moléculas da massa de ar que se movimenta no seu interior pode ser comparada ao projétil disparado pela metralhadora.

Todos os motores a jato, com exceção dos motores foguetes, funcionam baseados no ar atmosférico, o qual é admitido pela parte frontal e expelido pela parte traseira com grande velocidade.

JATO – É o deslocamento de um fluxo de ar (fluido), através de um condutor, a grande velocidade.

1.2 Velocidade e Aceleração, Origem da Tração e Experiência do Tubo Teórico.

a) Velocidade e Aceleração

A força de reação, que é a que produz a movimentação do móvel, depende diretamente da velocidade e da aceleração da massa que está sendo expulsa do mecanismo do motor. Isto quer dizer que, para um mesmo volume de massa, expulsa continuamente, teremos sempre um mesmo valor para essa força de reação.

Agora, querendo-se aumentar o valor da reação, escolhe-se um dos caminhos a seguir:

Figura 5

- aumentar a velocidade da massa, imprimindo-lhe uma aceleração;
- aumentar o volume da massa, mas mantendo a mesma velocidade (aceleração);
- por outro lado, podemos aumentar ainda mais o valor da reação, aumentando o volume da massa que está sendo expulsa e atribuindo-lhe uma velocidade ainda maior.

b) Origem da Tração

A força de reação, considerada num motor a jato, geralmente recebe o nome de **TRAÇÃO** e, em muitas ocasiões, recebe a denominação de **FORÇA DE EMPUXO**, ou simplesmente **EMPUXO**.

Contrariamente ao que a grande maioria julga, a força de tração origina-se internamente nos motores a jato, sendo ela completamente independente do meio exterior, bem ao contrário da hélice que tem um apoio direto sobre o próprio ar atmosférico.

Nos motores a jato, essa força de tração não se origina pelo fato de os gases de escapamento se apoiar de encontro às partículas de ar, tal como na partida dos corredores velocistas que se apóiam sobre tacos de madeira para registrarem um impulso maior no arranco da corrida.

Sendo assim, é muito importante ter-se em mente o fato de a força de tração ou empuxo originar-se no interior do motor a jato, mais acertadamente no interior das câmaras de combustão.

c) Experiência do Tubo Teórico

Para a exposição de tal experiência, vamos inicialmente considerar um tubo metálico de diâmetro constante, tal como está apresentado na figura 6 abaixo e que está se deslocando no ar a uma velocidade "X" qualquer.

Figura 6

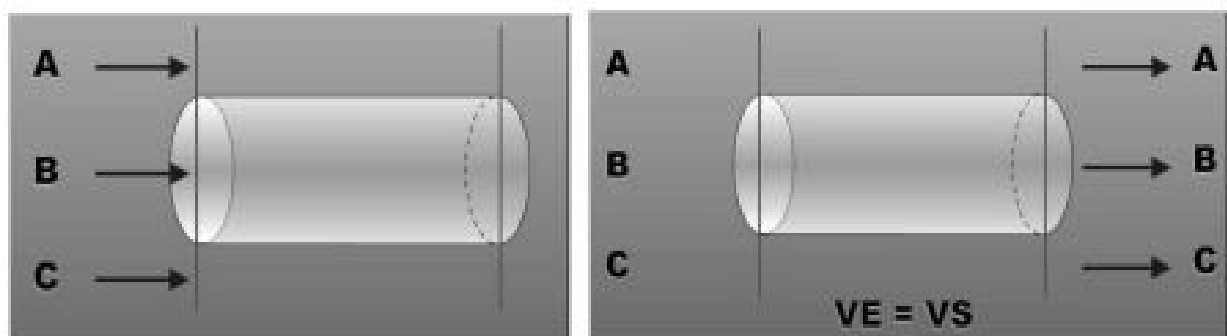


Figura 7

É importante considerar que a resistência ao avanço não está sendo cogitada, pois a experiência é simplesmente hipotética.

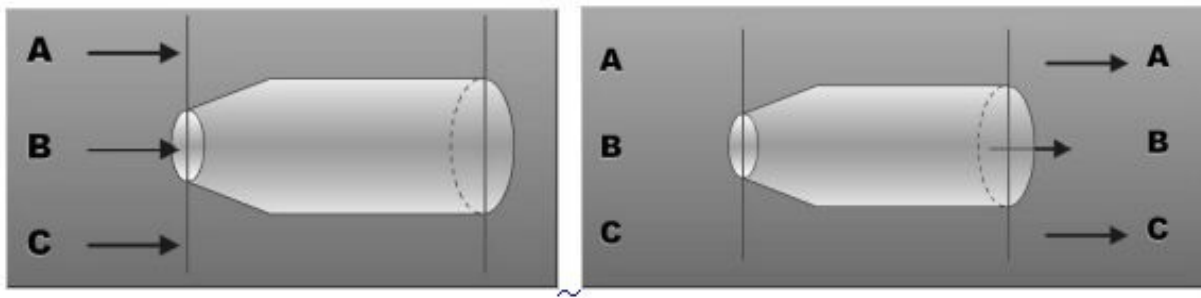
Continuando a observar tal figura, veremos que as indicações nos mostram que a corrente de ar que flui pelo interior do tubo tem a mesma velocidade do vento relativo, ou seja, a mesma velocidade do ar que passa por fora do tubo.

Considerando-se três partículas de ar (A, B, C), cada uma situada em três regiões distintas de toda a massa de ar que flui em relação ao tubo, veremos que as partículas A e C estão nas correntes que passam fora do tubo e a partícula B está na corrente que passa pelo interior do tubo.

Como a velocidade das correntes é a mesma, não havendo diferença de áreas, as três partículas de ar entram nesse tubo e dele saem num mesmo plano.

Agora, observando-se a fig. 8, notaremos que foi atribuída uma deformação na entrada do tubo, tomando o formato de uma seção cônica divergente.

Figura 8



Por causa dessa deformação, a área de entrada para o tubo ficou bastante reduzida. Com esse novo formato, a corrente da partícula B sofrerá uma alteração na sua velocidade, quando passar pelo interior do tubo.

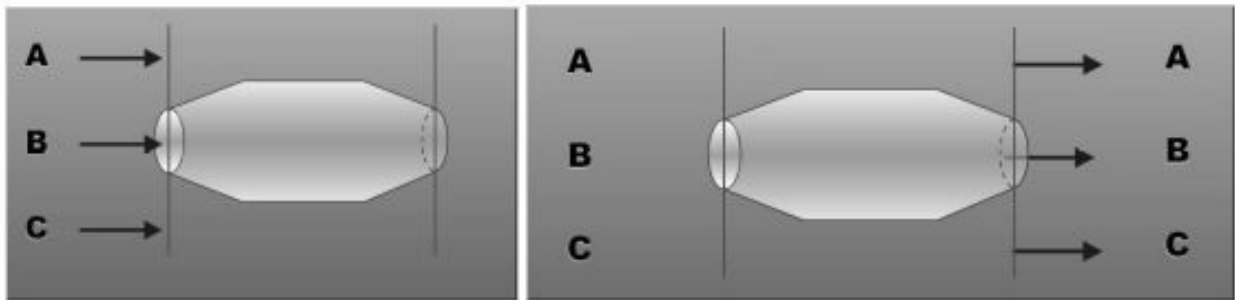
Essa alteração representa uma redução de velocidade, ou seja, um atraso na movimentação da massa de ar na qual se encontra a partícula B. Essa redução é determinada pela seção divergente na zona de entrada do tubo, pois a massa de ar que vai penetrar no tubo fica limitada pela área de abertura frontal (agora bem reduzida em relação à área anterior), mas, à medida que essa massa de ar vai penetrando no tubo, a área de escoamento vai aumentando gradativamente (seção divergente). Como o ar tem que encher todo o tubo, haverá, forçosamente, uma redução na velocidade de translação dessa massa de ar em face da natural expansão lateral da mesma no interior dessa seção divergente.

Agora a partícula B ficará atrasada em relação às outras duas partículas, e o resultado será uma tendência na redução da velocidade de todo o tubo.

Essa redução na velocidade de deslocamento do tubo é determinada pela força de REAÇÃO NEGATIVA que surge com a desaceleração da corrente B na seção divergente e, por causa da turbulência que irá se formar na abertura do escapamento do próprio tubo.

Na fig. 9, temos o tubo com abertura de escapamento reduzida para uma área idêntica à área de entrada (admissão) e que, para isso, foi estabelecida uma seção convergente (a área interna vai diminuindo gradativamente de proporção, rigorosamente idêntica à da seção divergente da entrada).

Figura 9



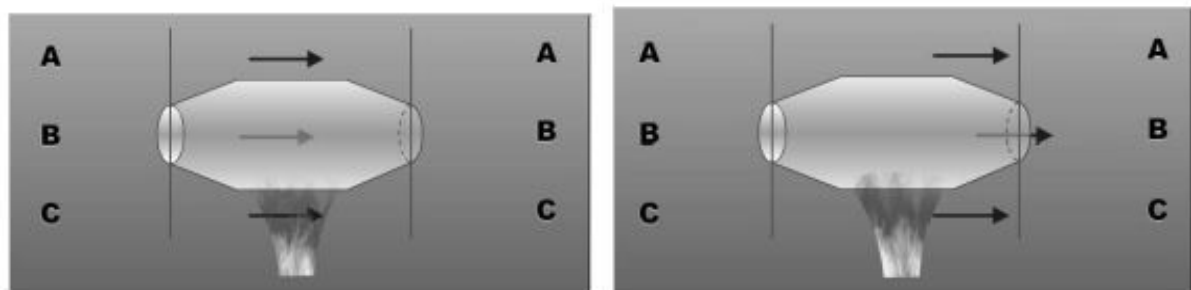
Aí podemos ver que a partícula B atrasou-se em relação às demais partículas na altura da seção divergente, e se mantém atrasada durante todo o percurso no interior do tubo. Mas, quando a corrente de ar penetra na seção convergente da descarga do tubo, vamos registrar um aumento gradativo da velocidade da corrente de ar pela própria imposição da seção convergente. Como essa seção convergente é de proporções absolutamente proporcionais, há desaceleração dessa mesma corrente na seção divergente da entrada do tubo.

Essa aceleração dá origem a uma força de REAÇÃO POSITIVA, pois é favorável ao sentido do movimento do tubo de intensidade igual àquela REAÇÃO NEGATIVA. Sendo assim, essas duas REAÇÕES se anulam e a velocidade do tubo não irá se alterar.

Uma das provas dessa aceleração poderá ser vista no desenho da figura 9, onde a partícula B emerge do tubo no mesmo plano das partículas A e C.

Analisando a figura 10, veremos que a situação muda bastante com relação à corrente da partícula B.

Figura 10



A REAÇÃO NEGATIVA continua sendo registrada, mas o atraso da partícula B no interior do tubo é recuperado tão logo o calor começa a ser transmitido à corrente de ar.

Esse mesmo calor determina uma dilatação nessa massa de ar, determinando uma aceleração da mesma no interior do tubo. Com essa aceleração, a partícula B se adianta em relação às demais partículas e, também, registra-se uma força de REAÇÃO POSITIVA no interior do tubo.

Essa massa de ar, acelerada, aumenta ainda mais a velocidade, quando atingir a região da seção convergente, conseqüentemente, a partícula B emerge violentamente do tubo, bem mais adiantada do que as duas outras partículas.

A violência de escapamento da corrente da partícula B registra um fluxo de escapamento que recebe a denominação de jato de escapamento.

Observando-se, outra vez, a figura 10, veremos que a diferença entre as somas das reações positivas e negativas dará um resultado favorável à reação positiva.

Essa resultante de reações, pelo fato de ser positiva, imprimirá uma maior velocidade ao tubo teórico.

Figura 11

Conclui-se, facilmente, que a força que conseguiu aumentar a velocidade do tubo teórico foi registrada graças ao aumento no valor da reação positiva, conseguida com a aceleração da corrente de B no interior do tubo causado por seu aquecimento e não por causa do jato de escapamento pela parte traseira do tubo.

Para se obter um aumento maior de velocidade do tubo, bastaria, neste caso particular, aumentar a aceleração da corrente B no interior do tubo; e, para isso, bastaria aumentar a quantidade de calor a ser transmitido a essa mesma corrente.

A resultante das reações receberá o nome de: “**FORÇA DE TRAÇÃO ou FORÇA DE EMPUXO**”.

1.3 Motores Pulsojato, Estatojato e Foguete.

Os motores pulsojato, estatojato e foguete são aqueles que transformam a energia calorífica em energia mecânica, energia esta gerada pelo calor desprendido da queima do combustível. Estes motores recebem a denominação de motores térmicos.

✓ Motores Térmicos

Esses motores podem ser de três tipos:

- a - reação direta
- b - reação indireta
- c - reação mista

a) **Motores de reação direta:** são os motores nos quais a potência, desenvolvida no seu interior, é transmitida diretamente ao móvel como força propulsora (TRAÇÃO). Como exemplo desses motores, temos os motores turbojato, estatojato e pulsojato.

Figura 12



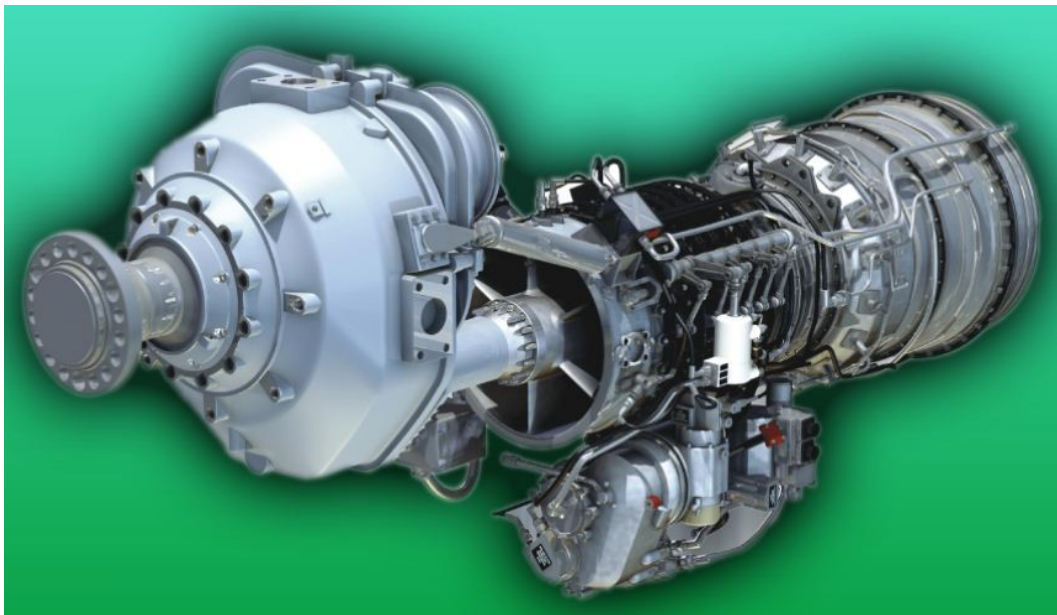
b) **Motores de reação indireta:** são os motores em que a potência, desenvolvida no seu interior, necessita de elementos intermediários para a conversão em força propulsiva. Como exemplo desses motores, temos os motores recíprocos (a pistão).

Figura 13



c) **Motores de reação mista:** são aqueles em que parte da potência, desenvolvida no seu interior, é transmitida diretamente ao móvel e parte indiretamente. Como exemplo, temos os motores turboélice ou turboeixo.

Figura 14



✓ Motor Pulsojato

O motor pulsojato é um tipo de motor a jato que teve origem na Alemanha. Constituía o motor básico das famosas bombas V-1.

Figura 15

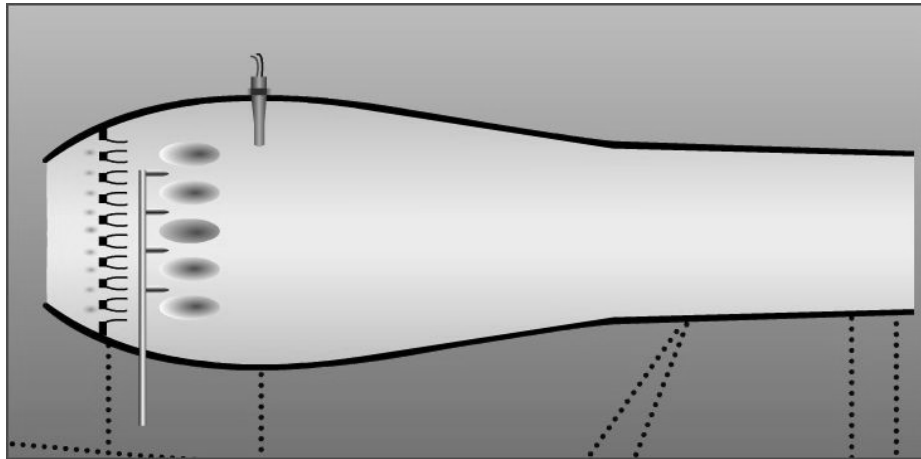


Figura 16

O motor pulsojato tem este nome por causa das características de seu funcionamento, o qual é garantido pela sucessão de ciclos completos de quatro etapas distintas.

Durante o seu funcionamento, esse motor absorve ar atmosférico pela sua parte frontal, comprime-o ligeiramente, para, logo em seguida, acelerá-lo, pela parte posterior, graças à adição de grande quantidade de calor. Calor este obtido com a queima de um combustível.

Cada ciclo de funcionamento desse motor é composto de:

- a - admissão de ar;
- b - compressão desse ar (feita por difusão);
- c - expansão (por causa do calor transmitido ao ar);
- d - escapamento.

✓ Funcionamento do Motor Pulsojato

Para um melhor entendimento do funcionamento desse motor, consideremos o mesmo inativo, pronto para entrar em funcionamento. Com o auxílio de uma fonte de ar comprimido (tomado

externamente), o ar é forçado a penetrar no recinto de combustão, passando através de algumas válvulas controladoras.

Ao passar sobre os bicos injetores de combustível (aqueles que ficam expostos a esse fluxo de ar) essa corrente de ar provoca uma pulverização do combustível e uma conseqüente formação da mistura combustível / ar no próprio recinto da combustão.

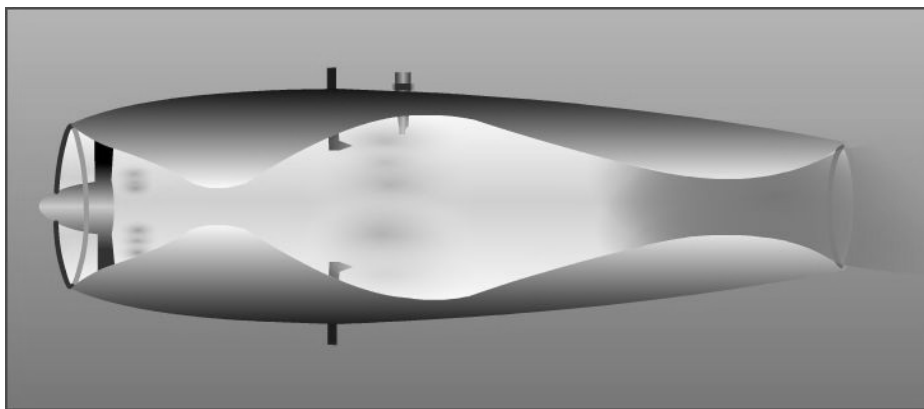
A vela de inflamação (ignição), que deverá produzir faíscas (centelhas), encarrega-se da inflamação dessa mistura combustível / ar.

O produto da combustão é representado por gases com elevado teor de expansão. Essa expansão é registrada em todos os sentidos (como a dos raios de uma esfera). A expansão dessa massa gasosa força o fechamento daquelas válvulas que se abriam sob a ação do ar comprimido. Com o fechamento dessas válvulas, a abertura livre do tubo de escapamento fica sendo a única passagem através da qual a massa gasosa poderá se acelerar.

É através desse tubo de escapamento que essa massa se acelera e escapa para a atmosfera.

✓ **Motor Estatojato**

Figura 17



Diferentemente do motor pulsojato, o motor estatojato tem um funcionamento contínuo, isto é, não registra um funcionamento fundamentado na sucessão de ciclos.

Sendo assim, a força de tração nele desenvolvida estará continuamente atuando sobre o móvel, e todas as etapas desse ciclo aberto se processam ao mesmo tempo.

✓ **Funcionamento do Motor Estatojato**

O motor estatojato é um motor que somente entra em funcionamento após estar animado de certa velocidade de translação. Isto quer dizer que ele não é um motor que funcione estacionário, porque é preciso um considerável fluxo de ar de admissão para se obter a compressão pelo processo de difusão.

O funcionamento do motor ESTATOJATO é bastante simples e se processa da seguinte maneira:

- já estando se deslocando a certa velocidade, a corrente de ar atmosférico fluirá pelo seu interior de uma maneira relativamente livre. Dizemos relativamente, porque, na altura da seção difusora, esse ar sofre uma grande compressão por difusão, o que é sentido pelo grande atraso na corrida dessa corrente de ar;
- com o aumento da pressão na seção difusora, o combustível será liberado no sistema e, em consequência, obtém-se a pulverização do mesmo no interior da câmara de combustão, com essa pulverização de combustível, consegue-se formar a mistura ar+combustível ideal. Logo em seguida, a vela começa a produzir as faíscas (centelhas) e, conseqüentemente, surgirá uma grande chama, indício da queima da mistura ar + combustível;
- o grande calor que se desprende dessa combustão provoca a expansão de toda a massa gasosa (ar+combustível) que escapa violentamente pela parte posterior (zona de escapamento), visto estar bloqueada a abertura frontal pela grande barreira de pressão do ar de admissão na altura da seção difusora.

Figura 18

Com a saída violenta dessa massa gasosa, registra-se uma força de REAÇÃO no sentido oposto a esse escapamento. E essa reação, ou seja, essa força, é que vai produzir a movimentação do móvel.

Essa força de tração é contínua, pois o escapamento da massa gasosa também é contínuo durante todo o período de funcionamento do motor. A continuidade desse escapamento torna-se possível, porque a chama estará sempre presente durante o funcionamento do motor. Nesse ponto, o motor ESTATOJATO difere em muito do motor PULSOJATO.

A maior ou menor intensidade da força de tração dependerá exclusivamente da maior ou menor velocidade de escapamento da massa gasosa (aceleração), e essa velocidade da massa gasosa de escapamento dependerá da maior ou menor quantidade de calor desenvolvida na combustão. O calor da combustão, por sua vez, dependerá do volume da mistura ar/combustível e, sendo assim, para se aumentar o valor da força de tração, basta aumentar-se a quantidade de mistura a ser pulverizada na câmara de combustão.

A vela de ignição funcionará somente durante a partida, e, uma vez formada a chama piloto, esta sairá quase que automaticamente de funcionamento.

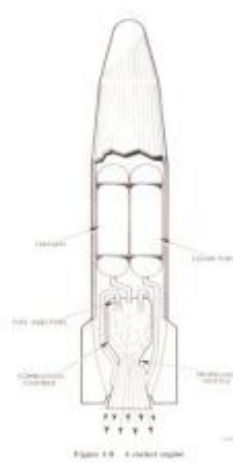
✓ MOTOR FOGUETE

O foguete não pode ser classificado como um motor aerotérmico, pois não emprega o ar atmosférico para o seu funcionamento.

Tais motores transportam o elemento oxidante no interior de reservatórios especiais.

Essa massa gasosa poderá ser obtida pela combustão de sólidos ou de líquidos, e, por esse motivo, o motor-foguete classifica-se em duas categorias básicas quanto à natureza de seus elementos propelentes:

Figura 19



- motores-foguete com combustível sólido;
- motores-foguete com combustível líquido.

Antes de se projetar no meio exterior, essa massa gasosa é canalizada para um conduto, cuja forma afunilada (agulheta) determina o máximo de velocidade na saída do motor.

Um motor-foguete se caracteriza pelo volume de massa gasosa que ele expulsa e pela velocidade dessa massa. Esses dois valores de massa gasosa são determinados pela pressão registrada no interior do motor e, também, pelo formato da canalização (agulheta) de descarga.

✓ Motor-Foguete com Combustível Sólido

Esse tipo de motor-foguete, por utilizar o combustível sólido, é o mais simples, pois, na realidade, a mistura sólida é representada por uma mistura homogênea de um combustível e do elemento oxidante.

Figura 20



A combustão dessa mistura propelente se processa de uma maneira homogênea e não na forma de explosão. Os gases, produtos de tal combustão, são acelerados pela parte posterior do motor-foguete; assim, a força de reação surgida propelerá o conjunto do motor.

Os elementos propelentes que constituem tais misturas formam um único bloco sólido, que deve ser absolutamente homogêneo, e a verificação de tal homogeneidade é comprovada por intermédio de raios-X ou por ondas ultrassônicas.

A inflamação da mistura propelente é conseguida por intermédio de inflamadores (mistura inflamadora) de composição semelhante àquelas utilizadas nos engenhos pirotécnicos.

A queima do inflamador é, por sua vez, produzida pelo calor desprendido de uma resistência elétrica, a qual está em íntimo contato com a carga inflamadora. Quase a totalidade dos projéteis foguetes, empregados nos aviões, é propelida por misturas de combustíveis sólidos.

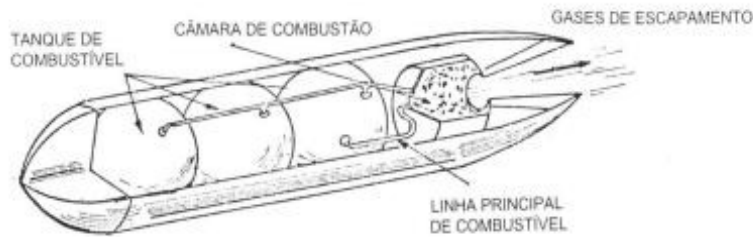
✓ **Motor Foguete com Combustível Líquido**

No caso da utilização de um combustível líquido, haverá a necessidade de se transportar o elemento oxidante (comburente) em reservatório especial.

Como exemplo de um combustível líquido, citamos o álcool, e o oxigênio, como o elemento oxidante. Tanto o combustível como o elemento oxidante estará armazenado em reservatórios independentes e somente serão misturados na câmara de combustão do motor.

Tal sistema de combustível (álcool+oxigênio) é classificado como sendo do tipo BIPROPELENTE.

Figura 21



O oxigênio e o combustível poderão estar contidos num mesmo líquido. Esse combustível pode ser uma mistura de dois outros líquidos ou simplesmente um produto químico.

Como exemplo de uma mistura líquida tem: o amoníaco e o óxido nítrico.

Essa mistura química fornecerá tanto o combustível como o elemento oxidante (comburente) durante a reação química provocada no interior da câmara de combustão do motor-foguete.

Esse é o exemplo típico de um sistema MONOPROPELENTE.

É importante lembrar que:

Figura 22

Motores aerotérmicos são motores térmicos que utilizam ar atmosférico para o seu funcionamento.

Figura 23

Motores térmicos são aqueles que transformam a energia calorífica (calor despreendido pela queima de combustível) em energia mecânica. Os motores empregados atualmente são de combustão interna, ou seja, são motores em que a queima do combustível é realizada no seu próprio interior.

Figura 24

É importante salientar que os motores foguetes são classificados como motores térmicos, mas não podem ser considerados como motores aerotérmicos, pois não utilizam ar atmosférico para o seu funcionamento, levam consigo o elemento oxidante. Esses motores atuam dentro do princípio da propulsão a jato e são, portanto, considerados de reação direta.



Vamos fazer
algumas anotações!

- ✓ Procure no conteúdo estudado as palavras-chave que melhor representam o que foi estudado até aqui.
- ✓ Faça uma lista dessas palavras-chave seguida de um breve comentário.
- ✓ A partir da leitura delas, tente reconstruir o que foi visto.

2 MOTOR A JATO

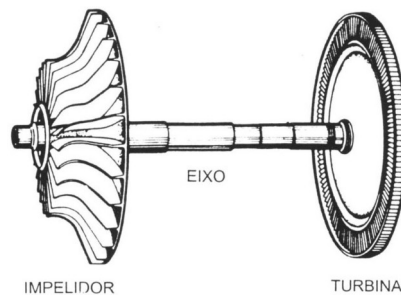
2.1 Rotor e Compressor

a) Rotor

É a única peça móvel existente em tal tipo de motor e é constituído por:

- a- COMPRESSOR;
- b- TURBINAS; e
- c- EIXOS.

Figura 24



Denomina-se rotor, ao conjunto rotativo que se encontra instalado no centro do motor, constituindo o único conjunto móvel dos motores a jato. Esse conjunto não apresenta uma função própria e completamente diferente. Neste capítulo, estudaremos as funções de cada um de seus componentes, para que possamos ter uma ideia geral do conjunto.

✓ Compressor

É um elemento rotativo que, ao girar, provoca a absorção, compressão e a movimentação do ar atmosférico ao longo do motor. Seja qual for o tipo do compressor, ele estará sempre apoiado sobre mancais através de seu eixo.

✓ Turbina

É representada por um disco sólido em cuja periferia se instala uma série de pás (palhetas), com suas lâminas devidamente recurvadas. A turbina tem a finalidade de transformar a energia cinética dos gases (devido à expansão da massa gasosa) em energia cinética (mecânica) do conjunto rotor e uma caixa de acessórios. Funciona apoiada sobre mancal através de seu eixo.

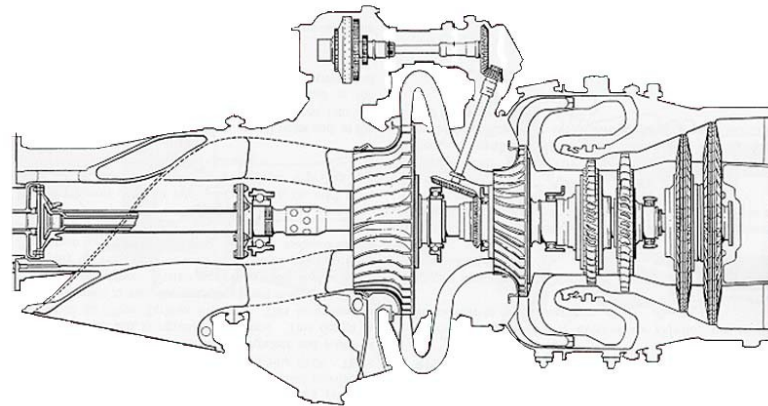
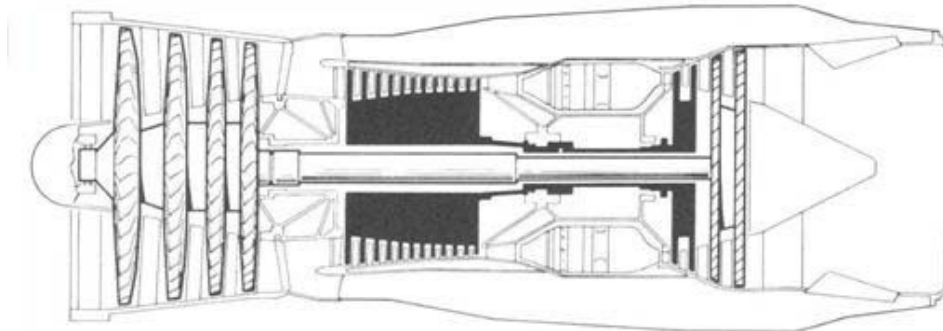
✓ Eixos

Os eixos do rotor têm a função de servir como braços de apoio aos elementos rotativos desse conjunto, assim como para o acionamento dos diversos acessórios do motor, através de engrenagens de transmissão.

ATENÇÃO: Tanto os compressores como as turbinas possuem eixos independentes, como já foi dito, que são ligados entre si, formando o chamado rotor simples.

✓ Rotor Coaxial ou Composto

Caracteriza-se por apresentar mais de um compressor, sendo que cada um desses compressores é acionado por uma turbina.

Figura 26: MOTOR PW127G – ANV C-105 AMAZONAS**Figura 27: MOTOR MK-807 SPEY – ANV A-1**

Isto quer dizer que, num rotor coaxial, a primeira turbina aciona o segundo compressor (alta pressão), a segunda turbina aciona o primeiro compressor (baixa pressão), uma AGB (*Accessory Gear Box*) do motor e se for o caso de um motor turboélice, uma RGB (*Reduction Gear Box*) para girar a hélice, ou outra configuração de acordo com o tipo e modelo de rotor.

✓ Compressores

O compressor é o conjunto de principal importância nos motores a jato, pois é o responsável pela admissão e compressão da massa de ar. Eles podem de dois tipos:

✓ Compressor de Fluxo Centrífugo

O conjunto do compressor centrífugo em um motor a jato é constituído pelos seguintes elementos básicos: Impelidor (Parte rotora) e Carcaça (Parte externa).

✓ Impelidor

É representado por uma peça sólida devidamente usinada com canais formados por lâminas. Conclui-se assim que as lâminas são integrantes da própria estrutura do impelidor

Poderá apresentar lâminas somente numa de suas faces, ou então em ambas as faces.

Figura 28

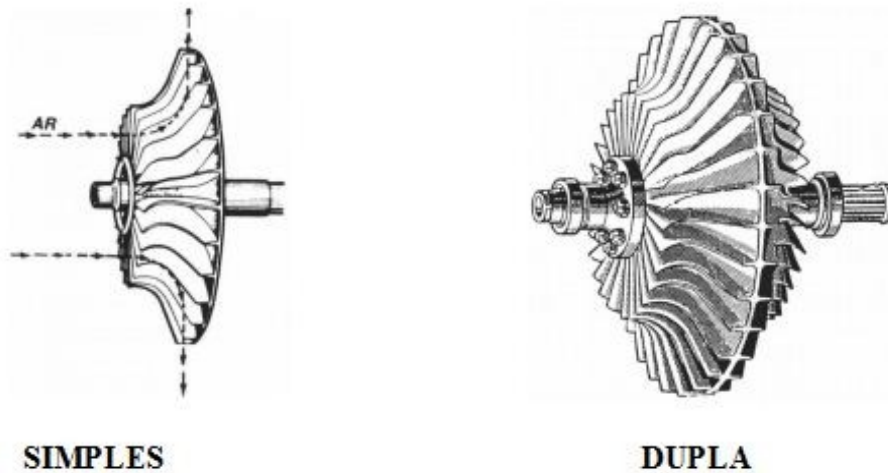


Figura 29

Nos compressores de pequeno porte, essas lâminas são recurvadas no seu bordo de ataque, o que representa o chamado OLHO DO IMPELIDOR.

✓ Anel Difusor

É representado por um conjunto de lâminas, formando um anel, envolvendo o compressor centrífugo pela sua extremidade, mas isso sem tocá-lo.

Esse anel tem a função de aumentar a taxa de compressão (aumentar a pressão) da massa de ar que é expulsa do compressor. Não existe nenhum controle que possa regular o ângulo relativo dessas lâminas difusoras em relação ao fluxo de ar que se escapa do compressor centrífugo.

Figura 30



✓ Tubos Difusores

São tubos com formato de canal divergente, reduz a velocidade e aumenta a pressão. Eles podem ser internos (PT6A) ou externos (PW127G). Quando o motor é composto de apenas um compressor (PT6A), eles fazem a ligação da massa de ar entre o compressor e a câmara de combustão e quando o motor é composto de dois compressores (PW127G), eles fazem a ligação do compressor de baixa pressão com o de alta pressão.

✓ Carcaça Do Compressor

É a peça externa do conjunto e é, no seu interior, que gira livremente o impelidor. Essa carcaça prevê também a instalação do anel difusor ou dos tubos difusores. Existe uma folga entre a carcaça e o impelidor, folga esta controlada para não haver perda de eficiência no processo de compressão da massa de ar.

Ligadas intimamente à carcaça do compressor, encontraremos as chamadas entradas de ar do motor. Essas entradas de ar admitem e enviam corretamente o ar atmosférico diretamente para o olho do impelidor.

Figura 31



✓ **Funcionamento**

O ar de admissão é orientado para o olho do impelidor, graças ao formato do vão da entrada de ar. O olho do impelidor capta esse ar em fluxo axial e transforma suavemente seu movimento em fluxo radial, entre as lâminas do próprio impelidor. A massa de ar é forçada a se deslocar ao longo dos canais limitados pelas lâminas do impelidor, por ação da força centrífuga. O canal formado é do tipo divergente. O ar expulso do impelidor é imediatamente dirigido para o anel difusor (pertencentes à seção difusora) que envolve o impelidor pela sua periferia, ou para os tubos difusores.

As lâminas difusoras desse anel ou os tubos são canais divergentes. A massa de ar sofrerá redução de velocidade e, conseqüentemente, um grande aumento na sua pressão.

Esse aumento de pressão vem completar o valor de pressão conseguida sobre a massa de ar que flui pelo compressor centrífugo.

✓ **Compressor de Fluxo Axial**

Figura 32



O compressor de fluxo axial é formado por um conjunto rotativo e outro fixo. O conjunto rotativo é formado por uma série de lâminas (palhetas) instaladas sobre a periferia de vários discos (coroas) e depois prensados formando um tambor, ou então, o tambor é uma peça onde são instaladas as lâminas. Essas lâminas recebem o nome de impelidoras.

Outro conjunto, com igual número de lâminas é fixado na carcaça do compressor, intercaladas nas impelidoras. Esse conjunto de lâminas, fixadas na carcaça, são denominadas lâminas estatoras.

Neste compressor, a primeira coroa é sempre impelidora e a última sempre será estatora.

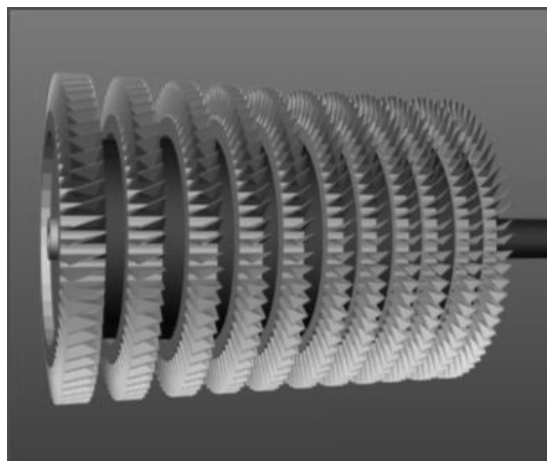
Figura 33

Uma coroa de lâminas impelidoras e uma coroa de lâminas estatoras formam um estágio do COMPRESSOR, por isso dizemos que o compressor axial é composto por vários estágios, ou seja, 50% de lâminas impelidoras e 50% de lâminas estatoras.

✓ Funcionamento

A compressão total da massa de ar admitida é o resultado de uma série de compressões intermediárias, produzidas por ação dos vários estágios do COMPRESSOR. Durante a compressão, a massa de ar circula com um movimento helicoidal. Essa compressão inicia-se quando o ar penetra no primeiro estágio do compressor e termina quando deixa o último estágio. As lâminas impelidoras, ao mesmo tempo em que impelem o ar admitido para a coroa de lâminas estatoras, determinam uma elevação na pressão dessa massa, porque essas lâminas impelidoras limitam entre si um verdadeiro canal divergente. As lâminas estatoras também limitam entre si canais divergentes e por isso são as responsáveis pelos outros 50% do aumento de pressão, registrada na massa de ar que flui pelo impelidor.

Figura 34



Uma característica muito importante em tal tipo de impelidor é a seguinte:

Enquanto o valor da pressão massa de ar vai aumentando gradativamente, à medida que for passando pelas diversas coroas de lâminas existentes (tanto de lâminas impelidoras como de lâminas estatoras), a velocidade desta massa de ar sofrerá aumentos e diminuições cada vez que passar por um estágio. Isto quer dizer que toda vez que a massa de ar flui através das lâminas impelidoras, terá um pequeno aumento na sua velocidade, pelo próprio movimento de ser forçada para trás.

Ao passar pelas coroas de lâminas estatoras, obtém-se um aumento de pressão dessa massa de ar por causa da redução de sua velocidade. Essa redução será igual ao aumento de velocidade registrada durante a passagem pelas pás impelidoras. Assim, sucessivamente, até a massa de ar deixar o conjunto compressor, quando então sua velocidade será igual à velocidade de entrada da massa de ar.

ATENÇÃO: Alguns motores turboélice ou turboeixo são equipados com compressor misto, ou seja, uma parte axial e outra parte centrífuga. O emprego do compressor misto em tais motores é porque os mesmos são equipados com câmara de combustão de fluxo de retorno.

O compressor axial é o mais eficiente por proporcionar aos motores o emprego de câmaras de combustão anulares que possibilitam aos motores maior tração.

Vimos que os compressores são essenciais nos motores a jato, porque são eles os responsáveis pela admissão e compressão da massa de ar. Nos motores atuais, principalmente nos de grande potência (TURBOFAN), são empregados compressores do tipo axial em número de dois conjuntos. Os compressores centrífugos são empregados em motores pequenos, ou, como já foi explicado anteriormente, em motores turboélice ou turboeixo equipados com câmaras de combustão do tipo de fluxo de retorno. O fato dos compressores centrífugos terem seu emprego limitado é por causa do seu funcionamento e formato, pois, para aumentar sua eficiência, seria necessário aumentar seu diâmetro, o que implicaria no aumento do diâmetro do motor, que diminuiria a eficiência do mesmo, em face da resistência ao avanço ser aumentada.

2.2 Câmara de Combustão e Turbinas

Figura 35



São as peças responsáveis pela origem da tração no motor. São constituídas de uma parte envolvente e uma parte onde se processa a combustão da mistura ar / combustível. Ela constitui o que poderíamos chamar de coração do motor.

Em linhas gerais, uma câmara de combustão tem que apresentar uma estrutura tal de maneira a vir limitar um ambiente adequado à realização da queima total de mistura ar + combustível nela introduzido. Nenhum de seus elementos componentes apresenta partes móveis, não existindo válvulas ou comandos

reguladores de passagem de fluxo, quer de ar, quer de combustível, como geralmente ocorre nos motores convencionais. O ambiente da combustão, limitado no seu interior, é constante e absolutamente invariável.

Como a combustão tem que se processar de uma maneira continuada e como essa combustão deverá ser realizada numa etapa do fluxo de ar de admissão, isto é, logo após a compressão desse mesmo ar, a câmara de combustão deverá, por sua vez, apresentar-se com uma estrutura fixa que permitirá a redução na velocidade de parte desse fluxo de ar para uma velocidade considerada satisfatória à manutenção da chama de combustão.

Isso é necessário porque, se não houvesse a redução na velocidade do fluxo de ar (aumento da pressão), tornar-se-ia impossível o aparecimento da chama e muito menos a continuidade da mesma.

A estrutura da câmara de combustão prevê a redução dessa velocidade do fluxo de ar e a preparação de um ambiente absolutamente favorável à realização da terceira fase de funcionamento do motor, isto é, aquela fase em que se processa a combustão e a expansão da massa gasosa.

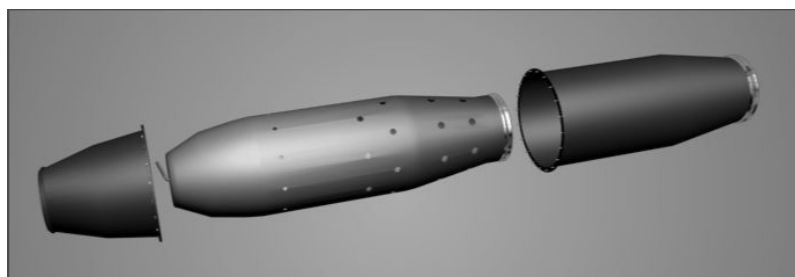
De acordo com o tipo particular do motor a jato, um determinado tipo de câmara de combustão é solicitado. Atualmente existem três tipos fundamentais de câmara de combustão, quanto à sua estrutura básica: TUBULAR, ANULAR e TUBO-ANULAR.

✓ **Tubular**

Tal tipo é identificado por apresentar-se com o aspecto de um verdadeiro tubo. Quando qualquer tipo de motor estiver equipado com câmaras de combustão tubulares, torna-se evidente o aspecto todo particular daquele aglomerado delas em torno do eixo longitudinal do motor, bem entre o conjunto do compressor e o conjunto da turbina.

Este tipo de câmara de combustão é empregado normalmente em motores equipados com compressores centrífugos.

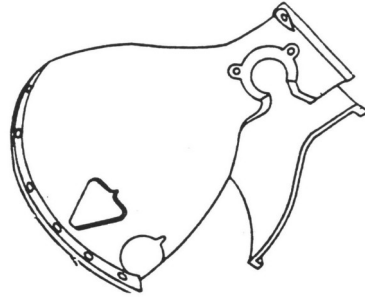
Figura 36



As câmaras tubulares são constituídas por três elementos básicos:

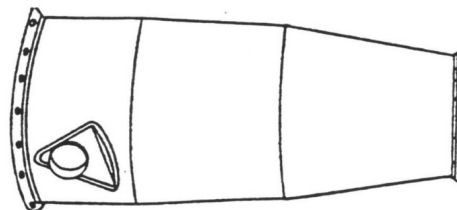
- **CÚPULA:** é a parte da câmara de combustão que vem formar a parte frontal da mesma.

Figura 37



- **TUBO ENVOLVENTE:** é o corpo da câmara de combustão, ou seja, a carcaça estrutural da câmara. Existe uma ligação entre as câmaras, esta ligação é feita por intermédio dos tubos intercâmaras.

Figura 38



- **TUBO DE CHAMAS:** é a parte interna da câmara, onde se processa a combustão.

Figura 39

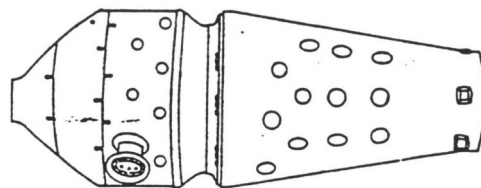


Figura 40

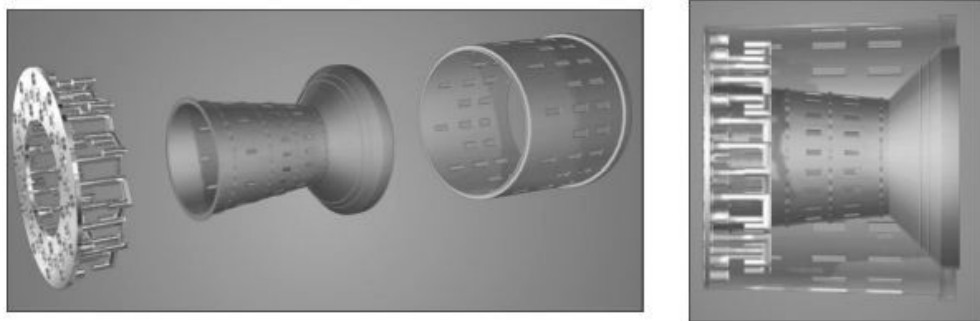
O fato de existirem tubos intercâmaras é devido à existência de apenas dois conjuntos de pré-ignição. Esses tubos, como o próprio nome diz, têm a finalidade de ligar as câmaras, para que haja a transmissão de calor de uma para outra durante as partidas.

✓ Anular

É assim denominada a câmara cujo aspecto estrutural em muito faz lembrar um verdadeiro anel oco que envolve o eixo longitudinal do motor na altura do conjunto compressor e conjunto da turbina. Esse tipo de câmara de combustão é classificado em dois tipos, a saber: FLUXO DIRETO e FLUXO de RETORNO.

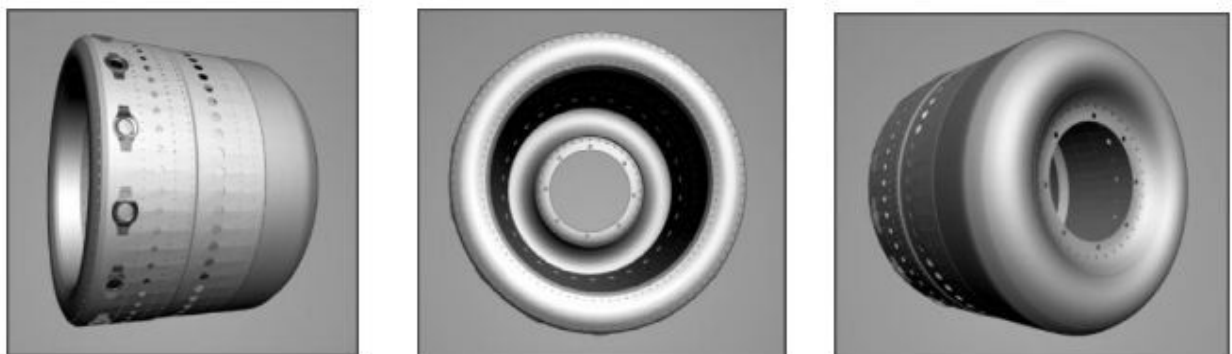
✓ Fluxo Direto

É aquela que registra um fluxo direto da massa gasosa no seu interior, isto é, a massa é admitida em seu interior e daí expulsa no sentido antero posterior.

Figura 41**✓ Fluxo de Retorno (REVERSO)**

É aquela em que o fluxo da massa gasosa desvia o recinto da câmara no sentido oposto àquele do fluxo do ar de penetração na mesma. Esse tipo de câmara é empregado em motores turboélice ou turboeixo, porque elas os tornam mais leves e compactos.

As câmaras anulares, tanto de fluxo direto como de retorno, são constituídas por um tubo envolvente e um tubo de chamas. São empregadas em número de uma para cada motor.

Figura 42

✓ Tuboanular

Externamente é idêntica à câmara anular, pois possui apenas um tubo envolvente, mas internamente possui vários tubos de chamas.

Figura 43



✓ Funcionamento das Câmaras de Combustão

Quanto ao funcionamento das câmaras, não depende do tipo, mas sim da distribuição da massa de ar admitida no seu interior. Existem, nas câmaras de combustão, vários orifícios destinados à distribuição da massa de ar. Esta distribuição da massa de ar é necessária para que haja uma homogeneidade da mistura ar + combustível nos diversos regimes de funcionamento do motor.

Figura 44

Nos motores equipados com câmaras tubulares, há um bico injetor de combustível em cada câmara, mas, nas câmaras anulares, o número de bicos varia com o tipo de motor.

As câmaras de combustão constituem uma das partes principais do motor a jato, pois são elas as responsáveis pela origem da tração neste motor.

A câmara de combustão anular de fluxo direto é a mais empregada atualmente, porque possibilita aos motores a jato um maior valor de tração, visto que a massa de ar admitida não sofre variação no seu rumo, isto é, segue sempre o eixo longitudinal do motor.

✓ Turbinas

As turbinas são constituídas por:

- coroa de lâminas estatoras;
- roda da turbina com pás de turbinas;
- caixa da turbina (recinto no interior do qual giram as turbinas)

Constituem um conjunto que se destina ao desenvolvimento da potência necessária ao acionamento da parte rotora do compressor e dos acessórios móveis do motor (através da AGB).

Figura 45



*GRUPO DE PARTES MÓVEIS FORMANDO
O QUE PODEMOS CHAMAR ROTOR DE
TURBINA.
ESSE ROTOR É, POR SUA VEZ,
REPRESENTADO POR UMA OU MAIS
RODAS DE TURBINA.*

Uma roda de turbina é constituída por um disco, tendo uma série (verdadeira coroa) de pás instaladas em sua periferia. A roda da turbina tem a função de converter a energia cinética da massa gasosa circulante em energia mecânica, sendo que essa conversão é feita graças ao formato particular dessas pás periféricas. Mas o perfeito funcionamento de uma roda da turbina somente poderá ser realizado, quando houver a participação dos demais componentes do conjunto da turbina.

Como a massa gasosa, oriunda da câmara de combustão, penetra no conjunto da turbina em turbulência, torna-se necessário que haja uma uniformização desse fluxo para que se obtenha o máximo de eficiência operacional por parte da roda da turbina. Ainda para o melhor funcionamento dessa roda da turbina, procura-se acelerar ainda mais a massa gasosa, antes do impacto com as pás periféricas da roda da turbina.

Tanto esta aceleração como a uniformização da massa gasosa é conseguida graças às chamadas **LÂMINAS ESTATORAS DA TURBINA**, as quais, dispostas numa verdadeira coroa, instalam-se imediatamente à frente de cada roda da turbina.

Figura 46

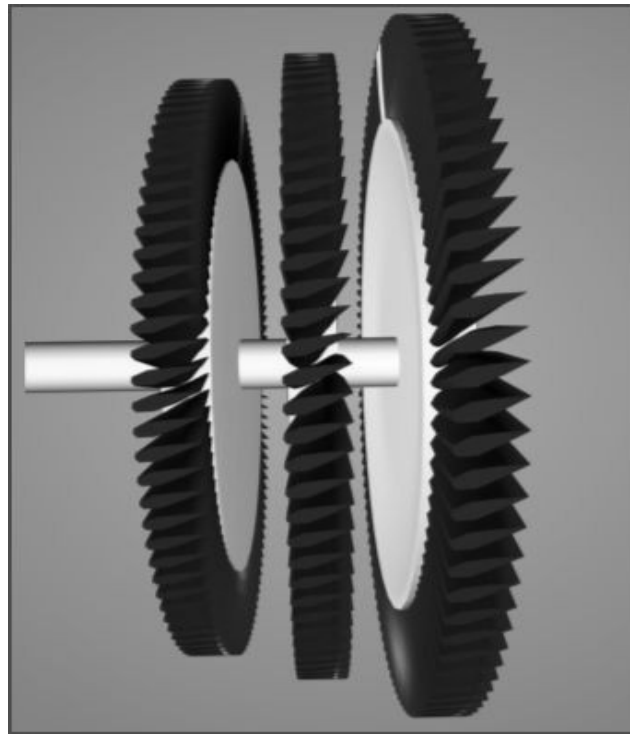


Figura 47

Assim podemos dizer que existem tantas coroas de lâminas estatoras quantas forem as rodas de turbinas.

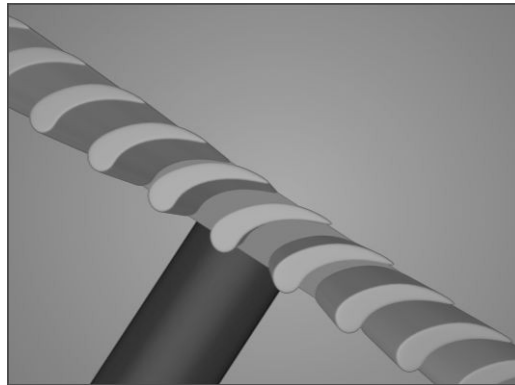
O conjunto, formado por uma coroa de lâminas estatoras com uma roda de turbina correspondente, vem constituir o que chamamos de
ESTÁGIO DE TURBINA.

O tipo de pás, empregadas nas turbinas, constitui o fator principal para qualificá-las em três grupos distintos: REAÇÃO, IMPULSO e REAÇÃO-IMPULSO.

✓ Turbina de Reação

É aquela em que, considerando-se duas pás contínuas, veremos que o canal formado entre elas, por onde flui a massa gasosa, apresenta-se com a área de entrada maior que a de saída. Essa diminuição, na área de saída do referido canal, determina um aumento na velocidade do fluxo da massa gasosa. Desde que a massa gasosa tenha a sua velocidade aumentada, registra-se uma força denominada reação, daí a origem do nome desse tipo de turbina. Essa força de reação atua sobre as pás periféricas, produzindo a rotação da turbina.

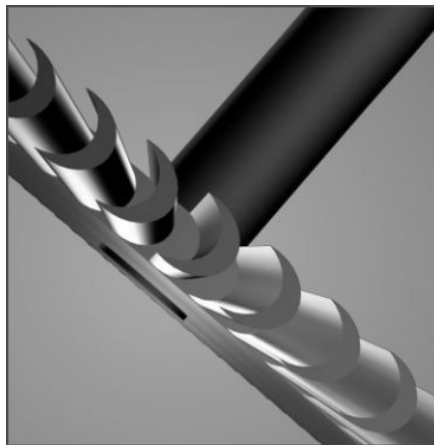
Figura 48



✓ Turbina de Impulso

Assim é denominada a turbina na qual não se registra aumento de velocidade na massa gasosa circulante. Isto porque a área de entrada do canal, formada entre duas pás, é exatamente igual à área de saída. Sendo iguais as duas, podemos dizer que a "agulheta" é constante, desde a entrada até a saída. Essa turbina recebeu a denominação de impulso, por causa da força de impulsão que surge por causa do impacto da massa gasosa sobre as pás.

Figura 49



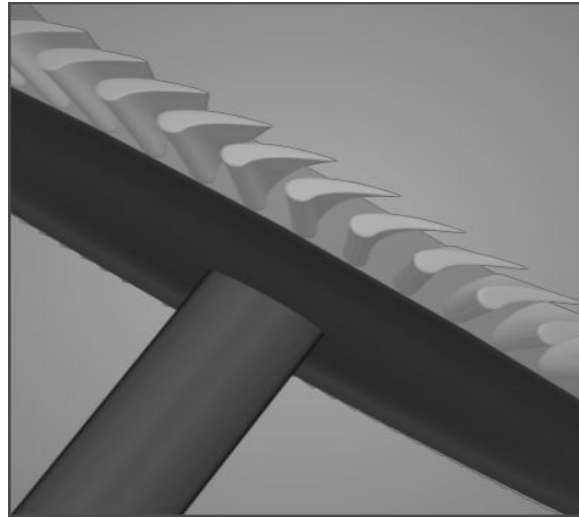
✓ Turbina de Reação-Impulso

É assim chamada porque as suas pás periféricas apresentam-se com uma variação de perfil seccional desde sua raiz até sua ponta, isto é, essas lâminas não têm perfil seccional constante da raiz à ponta. Essa variação, no perfil seccional, tem o aspecto de verdadeira torção nessa referida lâmina da pá.

Uma pá de turbina de reação-impulso geralmente apresenta-se com uma lâmina que 1/4 de sua extensão, partindo-se da raiz para a ponta, possui um perfil seccional típico de turbina de impulso, e os demais 3/4 possuem um perfil progressivamente variado, mas sempre do tipo reação.

Essa variação progressiva do perfil típico de reação determina a torção característica da pá de turbina do tipo reação-impulso.

Figura 50



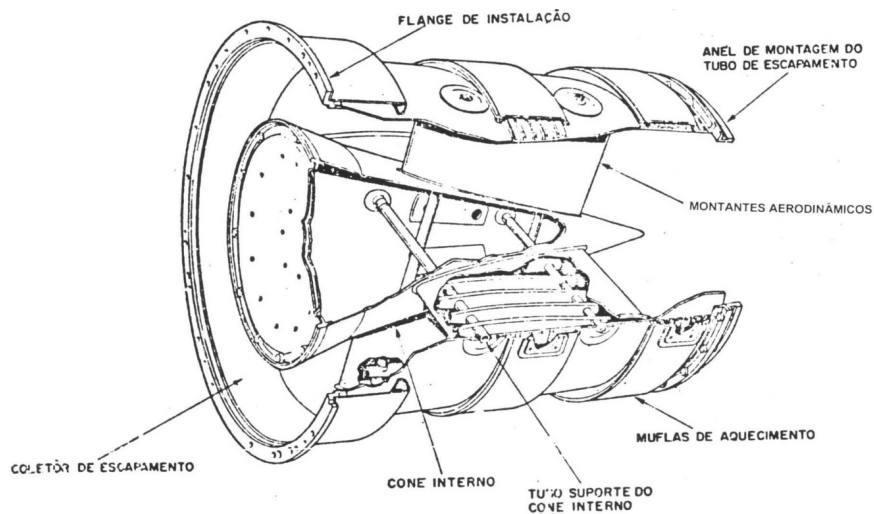
Podemos entender então que as turbinas são as peças que caracterizam os motores turbojato, pois são elas as responsáveis pela transformação da energia cinética dos gases em energia mecânica do eixo do rotor.

Para que haja um perfeito funcionamento, o conjunto das turbinas possui as denominadas lâminas estatoras, cuja finalidade é orientar e aumentar a velocidade da massa gasosa, oriunda das câmaras de combustão, para que seja aumentado o valor do impacto contra as lâminas periféricas da turbina.

Sintetizando: a massa de ar que penetra no motor, passa pelo compressor e logo em seguida é levada à câmara de combustão. Após a queima e expansão da mistura ar + combustível, a massa gasosa é orientada para a turbina, que transforma a energia cinética dos gases em energia mecânica. Daí, essa massa deve ser levada para a atmosfera. Isto é feito pela caixa coletora dos gases de exaustão.

2.3 Caixa Coletora dos Gases de Exaustão

Figura 51



É a responsável pela orientação da massa gasosa, oriunda das turbinas para a atmosfera. Ela é representada por um conjunto formado pelas seguintes partes consideradas básicas: TUBO COLETOR, CONE INTERNO e MONTANTE AERODINÂMICO.

✓ Tubo Coletor

Constitui a parte externa de todo o conjunto e é o elemento que limita o recinto por onde deverá fluir toda a massa gasosa que deixa a turbina. Como já é de nosso conhecimento, a massa gasosa, oriunda da câmara de combustão, flui por uma área anular totalmente ocupada pelas pás periféricas da turbina, mas, ao ser descarregado no conjunto do coletor de escapamento, encontraria uma área muito maior do que essa, se não fosse a presença do chamado cone interno.

✓ Cone Interno

É um verdadeiro cone, fixado no interior do tubo coletor, que tem a base voltada de encontro ao disco da roda da turbina. Sem esse cone interno, o aumento violento da área de admissão no tubo coletor provocaria uma grande turbulência na corrente da massa gasosa, e isso prejudicaria totalmente o funcionamento do motor.

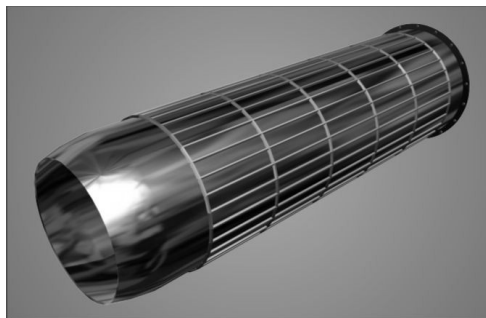
Mas, por causa do próprio formato cônico do cone, a área do vão interno do conjunto do coletor de escapamento vai aumentando gradativamente, a partir de sua parte frontal. Esse aumento gradativo da área de escoamento da massa torna-se necessário para permitir a livre expansão dessa massa gasosa no interior do conjunto do coletor de escapamento. Essa expansão, que implica numa redução na velocidade

✓ Implementos Usados nos Motores a Jato

➤ Tubo de Escapamento

Muito embora não faça parte integrante dos motores a jato, esse elemento torna-se indispensável em alguns motores, dependendo de sua instalação nas aeronaves. Esse tubo nada é mais do que um prolongamento do coletor dos gases de exaustão, cuja finalidade é proteger a estrutura da aeronave da calor irradiada pela massa gasosa expulsa do motor.

Figura 53



✓ Dispositivo de Pós-Combustão (AFTERBURNER)

Figura 54

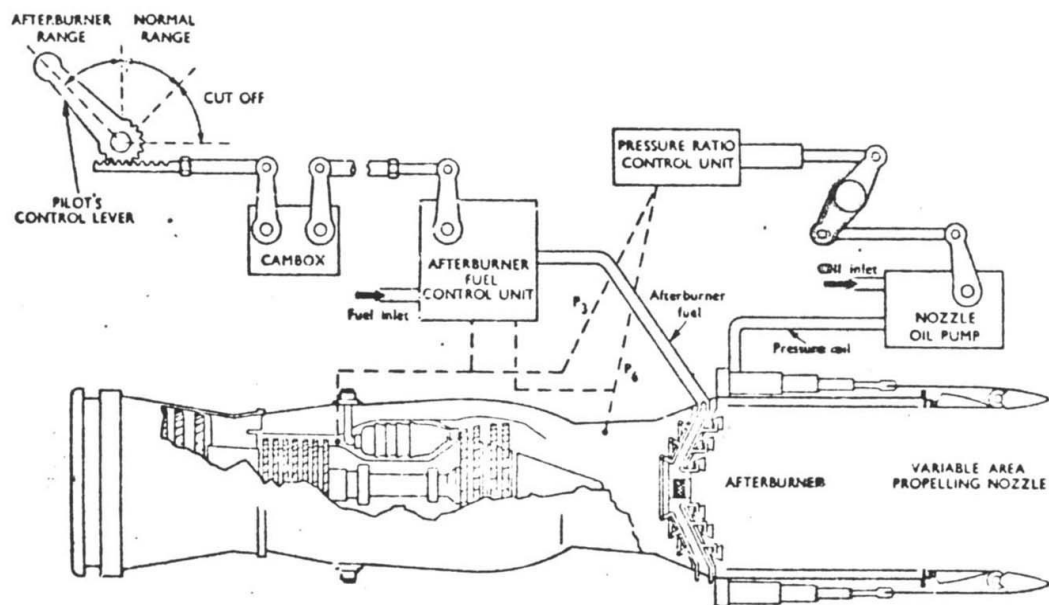
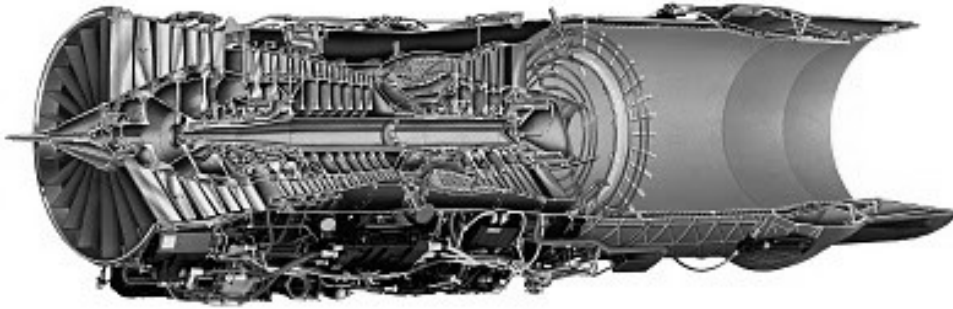


Figura 55



O sistema de pós-combustão (PC) dos motores a reação utilizados em aeronaves de caça foram desenvolvidos para proporcionar um ganho de empuxo aos motores, podendo dobrar essa força. Isso permite a aeronave imprimir uma velocidade bem superior àquela gerada pelo motor. A seção de pós-combustão é um canal localizado após o último estágio dos discos de turbina, composto de cone de escapamento, anéis queimadores e câmara do PC, onde o combustível dosado é pulverizado e queimado. Ao final dessa câmara, existem aletas móveis que ao serem comandadas variam a área de saída dos gases e auxilia a regulagem da temperatura do motor, tornando então, um canal convergente.

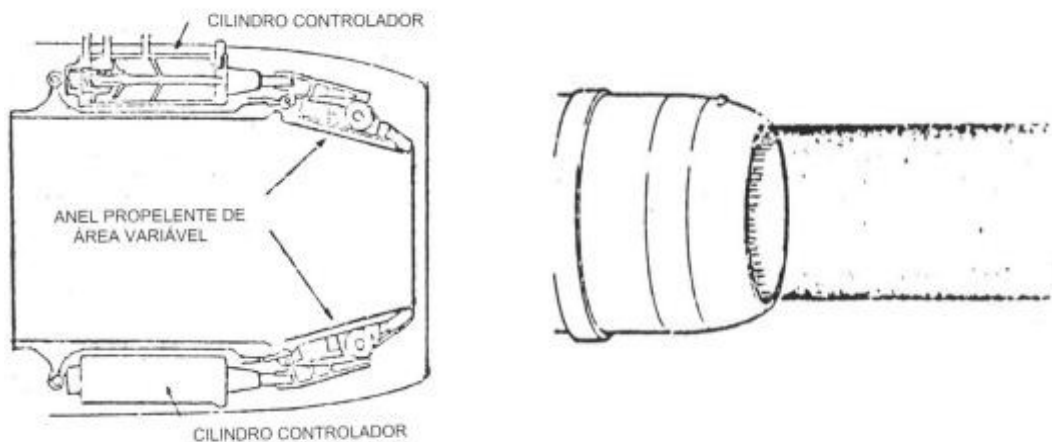
✓ Funcionamento

Com o motor girando a 100% e estabilizado, o piloto comanda o pós-combustão através de um deslocamento na própria manete de potência. Com esse movimento, é enviado um sinal elétrico para um amplificador e conseqüentemente para a válvula que libera a passagem de combustível para o bico injetor de acendimento do pós-combustão. Ao mesmo tempo em que tudo isso acontece, (a caixa de manete está ligada mecanicamente ao FCU de pós-combustão) o FCU PC, através de uma posição de manete, mencionada anteriormente, abre a passagem de combustível dosado para os anéis queimadores do PC. E um sistema de velas de ignição acende esta mistura.

O pós-combustão permanecerá aceso até que o piloto retorne a manete de potência máxima, quando ocorre o corte de combustível através do FCU PC. Contudo, devemos lembrar que o consumo de combustível, ao se usar o sistema de pós-combustão, é consideravelmente aumentado, aproximadamente três vezes, tornando o sistema viável apenas para decolagens e manobras de combate.

✓ Anel Propelente

Figura 56



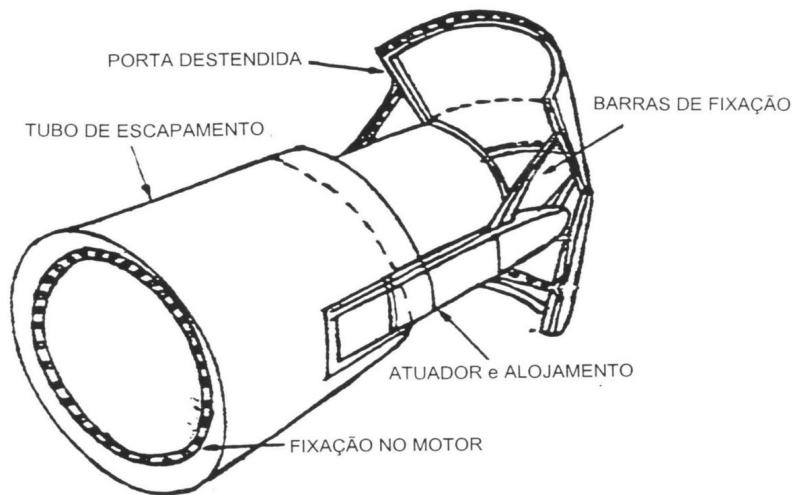
É um dispositivo instalado logo após o coletor de escapamento, ou tubo de escapamento, cuja finalidade é aumentar a velocidade da massa gasosa expulsa do motor, para que seja aumentado o valor da tração.

Esse dispositivo nada mais é que um verdadeiro anel de formato convergente, que pode ser fixo ou variável. Nos motores equipados com dispositivo de pós-combustão, em face da grande aceleração da massa gasosa, a área de descarga do motor deverá ser aumentada para permitir um escoamento normal. Por isso o anel propelente empregado é do tipo variável.

A movimentação desse anel propelente é determinada por um mecanismo intimamente ligado aos controles do dispositivo de pós-combustão, **para que permaneça aberto, quando o pós-combustão estiver operando.**

✓ Reversor de Tração

Esse é um outro dispositivo suplementar, que se instala na extremidade final do coletor ou tubo de escapamento de um motor a jato e que tem a função de dar origem a uma força de tração exatamente contrária àquela do deslocamento do avião. Essa força de tração, denominada **TRAÇÃO REVERSÍVEL**, é utilizada para diminuir a corrida de aterragem dos grandes aviões.

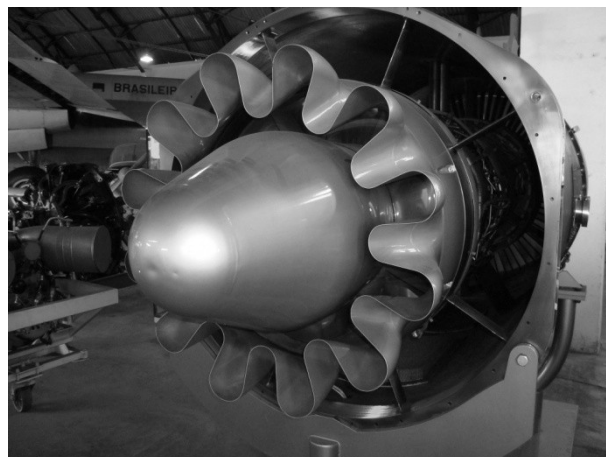
Figura 57: Tipo concha

✓ Supressor de Ruídos

Esse é um termo escolhido para identificar aquele dispositivo destinado a atenuar o ruído produzido pelos gases que escapam do motor na altura da abertura final da descarga. Esse dispositivo, que não chega a ser um silencioso, estará sempre instalado na última parte de todo conjunto formado pelo motor.

A redução do ruído, produzido pela massa gasosa de escapamento, é conseguida por esse supressor de ruídos, porque ele subdivide a corrente da massa gasosa de escapamento em várias outras correntes menores. Com isso, as vibrações registradas no escapamento serão bem menores do que aquelas que teríamos, se a massa gasosa escoasse numa corrente única.

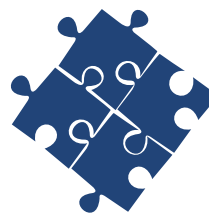
O emprego do supressor de ruídos determina uma redução no valor total da tração do motor, daí o fato de não ser empregado nos motores equipados com o sistema de pós-combustão.

Figura 58



Vamos fazer
algumas anotações!

- ✓ Procure no conteúdo estudado as palavras-chave que melhor representam o que foi estudado até aqui.
- ✓ Faça uma lista dessas palavras-chave seguida de um breve comentário.
- ✓ A partir da leitura delas, tente reconstruir o que foi visto.



Está na hora
de resumir!

A partir de suas anotações, reconstrua com suas palavras todo o estudo em um ou dois parágrafos, ou se preferir, elabore um mapa mental ou um infográfico sobre o texto.

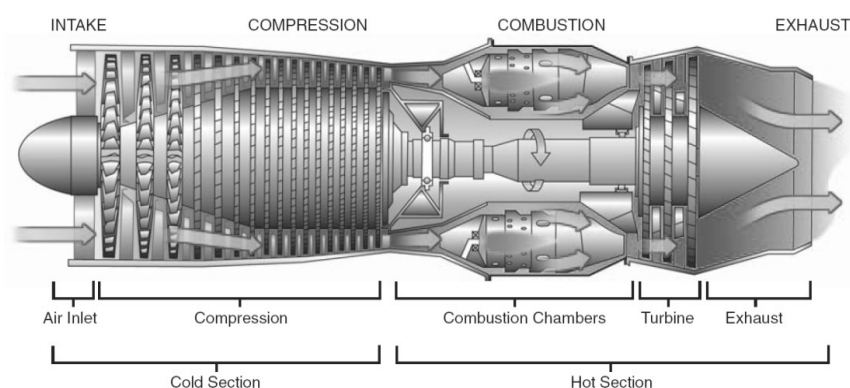
3 MOTORES TURBOJATO

Os motores turbojato, são classificados quanto ao fluxo da massa de ar que passa pelo motor, em: simples ou duplo.

3.1 Motor TurboJato

✓ Fluxo Simples

Figura 59



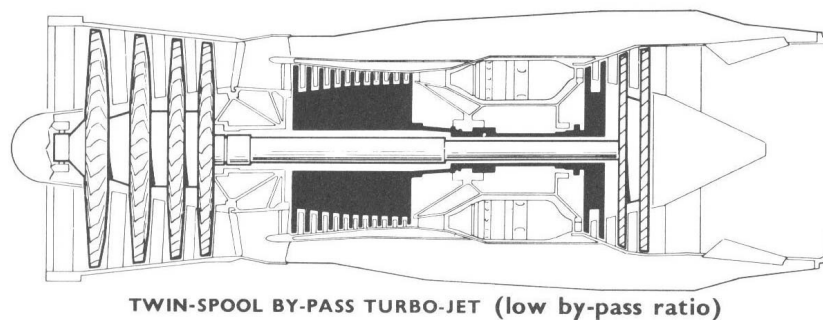
Os motores de fluxo simples quando toda massa de ar que é admitida pelo COMPRESSOR vai para as câmaras de combustão, turbina, coletor de escapamento e daí para fora do motor. Não quer dizer que toda esta massa de ar será misturada com o combustível, nós vamos verificar que a quantidade varia de 20% a 30%, o restante será utilizada no resfriamento e nos sistemas do motor.

✓ Fluxo Duplo

Os motores de fluxo duplo apresentam-se com uma estrutura diferente do fluxo simples, pois parte da massa de ar que é admitida não vai para as câmaras de combustão.

Esses motores geralmente possuem mais de um compressor ou possui na entrada de ar uma ventoinha (FAN), a qual admite toda a massa de ar. Por esta razão eles recebem o nome de motor de fluxo duplo com derivação "BY-PASS" e "TURBOFAN".

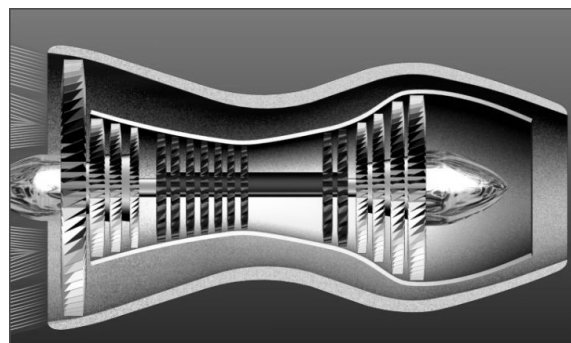
Figura 60



O motor com derivação "BY-PASS" é aquele que apresenta uma divisão no fluxo da massa de ar, logo após o compressor de baixa pressão.

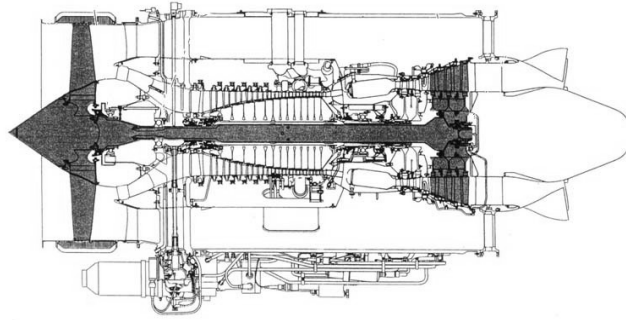
O motor "TURBOFAN" poderá apresentar duas configurações:

Figura 61



- Se o motor apresentar um compressor de baixa pressão, o seu 1º estágio rotativo será muito maior que os demais, e a divisão do fluxo de ar será logo após este estágio; ou

Figura 62: Rolls Royce AE3007A de 8169 Lb de empuxo da ANV C-99



- Terá somente uma parte rotativa (FAN), muito maior que o compressor.

✓ **Funcionamento do “BY-PASS” e do “TURBOFAN”:**

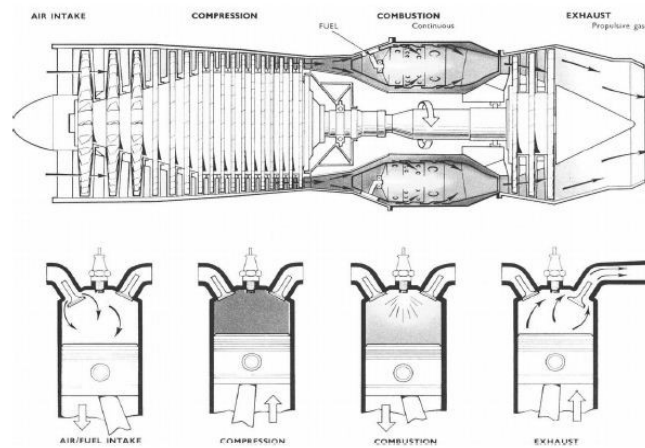
Parte da massa de ar (logo após o compressor de LP ou do FAN) penetra diretamente no compressor de alta pressão, para seguir seu trajeto no interior do motor até o coletor de escapamento. A outra parte da massa, descarregada pelo compressor de baixa pressão ou pelo FAN, é desviada para fluir em torno do motor, ao longo de um conduto anular que termina exatamente no orifício de descarga de ar quente, expelido pelo motor. Esse conduto anular é limitado entre a carcaça do motor e a carcaça do compressor de alta, câmara de combustão e turbina.

✓ **Funcionamento do Turbojato**

O funcionamento é bastante simples, pois é constituído por quatro fases distintas que são: ADMISSÃO, COMPRESSÃO, EXPANSÃO e ESCAPAMENTO. O termo FASE substitui inteiramente o termo TEMPO comumente empregado para explicar as diversas etapas do ciclo de funcionamento de um motor convencional a pistão.

Em resumo, o funcionamento do motor turbojato é o seguinte: o ar é absorvido e imediatamente comprimido para o interior das câmaras de combustão, onde o combustível é continuamente injetado e queimado. Somente uma pequena parte dessa massa de ar que penetra nas câmaras de combustão é requerida para formar a mistura com o combustível.

Figura 63



*O termo tempo jamais poderia ser empregado no ciclo de funcionamento de um motor a jato, isto pelo simples fato do motor turbojato ter o seu funcionamento marcado por um ciclo contínuo e único. Daí a denominação de **ciclo aberto** para esse motor.*

O resultado dessa combustão é uma chama sempre constante à frente do bico injetor de combustível, em cada uma das câmaras existentes no motor.

Por causa da elevada temperatura dessa chama (cerca de 2000 graus centígrados), a massa de ar contida no interior das câmaras de combustão irá se expandir; mas, como o recinto da câmara é restrito, o resultado será sempre uma grande aceleração dessa massa de ar no sentido antero posterior em direção ao conjunto da turbina.

A passagem rápida da massa gasosa (ar + produtos da combustão) sobre as pás periféricas da turbina provoca a rotação da roda da turbina, determinando a transformação da energia cinética (velocidade da massa) em energia mecânica ou potência do rotor (rotação).

Ao deixar as pás periféricas da turbina, essa massa gasosa escapa pela extremidade posterior do motor, através do conjunto coletor de escapamento, em forma de jato, com grande velocidade.

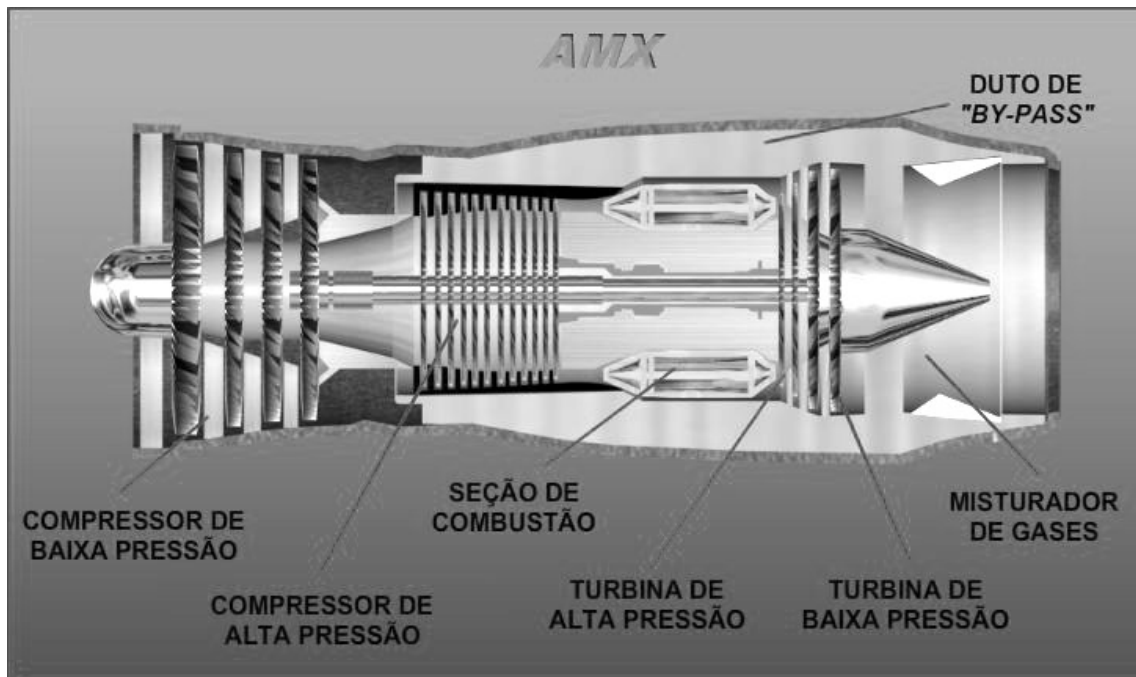
Essa velocidade (força) final nada mais será do que a chamada TRAÇÃO, que é expressa em libras ou quilos. O controle dessa força de TRAÇÃO é feito por intermédio do comando realizado sobre o sistema de combustível do motor.

✓ Motor Rr Spey Mk807 - "ANV A-1m".

O motor MK807 que equipa a aeronave AMX utiliza compressor rotativo de fluxo axial, com sistema de combustão do tipo tubo-anular, duas turbinas que são acionadas por eixos coaxiais e dois compressores.

A principal característica do motor é o arranjo "BY-PASS", o qual permite que uma proporção de fluxo de ar contorne o sistema de combustão e turbinas. Isto aumenta a eficiência do motor e, em consequência, obtém uma propulsão capaz de produzir um dado empuxo para um baixo consumo de combustível, com peso do motor reduzido.

Figura 64



O empuxo do motor é em função da massa de ar que entra no mesmo e da temperatura dos gases na entrada das turbinas. O empuxo pode ser controlado pela quantidade de combustível requerido (injetado) nas câmaras de combustão e em função da velocidade de rotação do compressor de alta pressão (HP).

O fluxo total de ar admitido no motor é comprimido pelo compressor de baixa pressão (LP), sendo a seguir, na carcaça intermediária entre os compressores de baixa e alta pressão, dividido em dois fluxos: fluxo primário e fluxo secundário.

O fluxo primário é comprimido pelo compressor de alta e participa no processo de combustão nas câmaras de combustão. Os gases resultantes, após a queima, são expulsos através das turbinas, as quais retiram parte da energia dos gases para acionar os compressores.

O fluxo secundário é direcionado através de um ducto anular, entre a carcaça principal e externa do motor, denominado ducto de "by-pass". Esse ar resfria o motor externamente e se junta aos gases provenientes das turbinas no escapamento do motor. A mistura das duas correntes, permite um resfriamento e em consequência disto, melhora a eficiência propulsiva.

Como consequência desse resfriamento da massa gasosa a ser expulsa para a atmosfera, através do bocal de propulsão, com velocidade aumentada.

✓ Compressor de Lp

Tem quatro estágios e é acionado pela turbina de baixa pressão, através de um eixo interno concêntrico ao eixo do compressor de alta pressão. Possui uma sangria de ar no ducto de "by-pass", ar esse utilizado para pressurização de tanques e controle automático do fluxo de combustível.

✓ Compressor de Hp

Tem doze estágios e é acionado pela turbina de alta pressão. Há uma sangria de ar do 12º estágio para fornecimento de ar ao sistema de antigelado do motor e aos sistemas da aeronave.

O compressor de alta pressão é equipado com aletas de passo variável na sua entrada, bem como uma válvula de sangria progressivamente variável no 7º estágio, que se destinam a prover o controle de fluxo de ar através do mesmo.

✓ Caixa Interna

Situada entre o compressor de baixa e o de alta pressão, transmite o movimento dos eixos de HP e LP, através de eixos e engrenagens, para as duas caixas de engrenagens externas, à direita e à esquerda, respectivamente. O eixo do compressor de HP aciona, através de engrenagens e de um eixo, a caixa de engrenagens direita (HP). A outra caixa de engrenagens é acionada pelo eixo do compressor de LP, através de engrenagens e um eixo de ligação, e é conhecida como caixa de engrenagens esquerda (LP). Comporta ainda o rolamento traseiro do compressor de LP e o dianteiro do compressor de HP.

✓ Caixa de Alta Velocidade

Fixada à carcaça intermediária do compressor, é acionada pelo eixo do compressor de alta pressão e move os acessórios do motor. Na face dianteira: Tacogerador de HP, Regulador de fluxo de combustível (FFR), Bomba de combustível de LP, duas bombas hidráulicas, Respirador centrífugo e IDG dianteiro. Na face traseira: Bomba de combustível de HP, Conjunto de bombas de óleo, Transmissor de sinal de RPM, IDG traseiro e Motor de arranque.

Figura 65

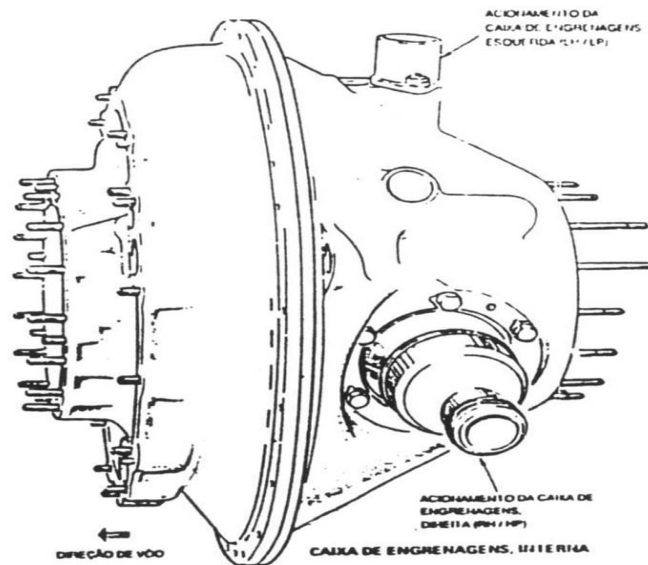
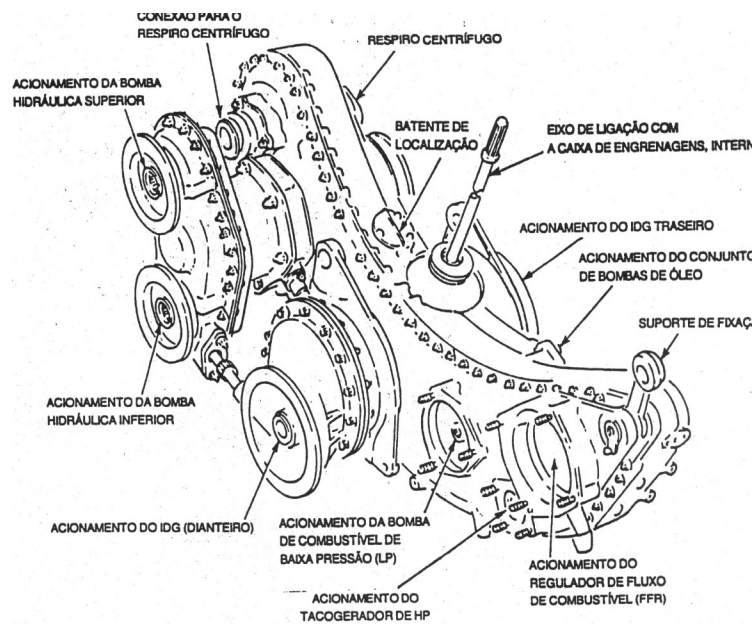


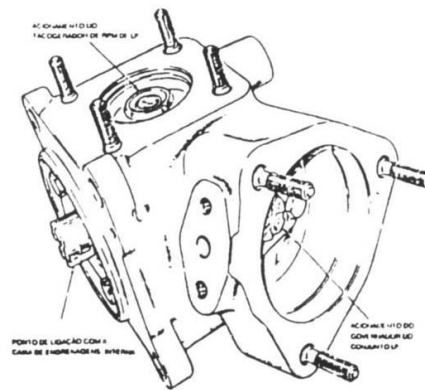
Figura 66



✓ Caixa de Baixa Velocidade

Também fixada à carcaça intermediária lateral esquerda do compressor, é acionada pelo eixo do compressor de LP e move o governador de velocidade de LP e o gerador de indicador de RPM de LP.

Figura 67

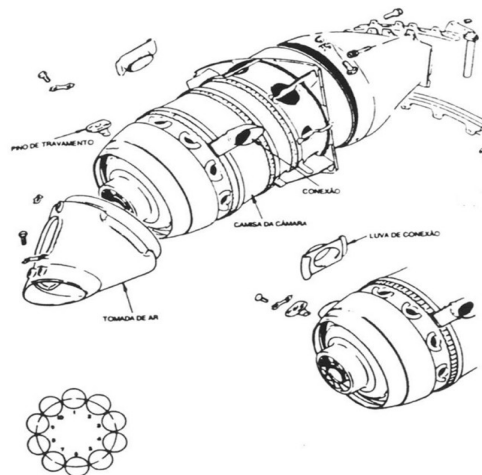


✓ Câmaras de Combustão

O processo de combustão é realizado em 10 camisas de combustão (câmaras de combustão) localizadas em uma câmara anular formada por uma carcaça cilíndrica externa e uma parede interna.

Estas camisas são interligadas e cada uma possui um injetor que pulveriza o combustível no ar, preparando a mistura adequada para a ignição. As camisas nº 4 e nº 8 possuem ignitores para dar início ao processo de combustão, que se propaga às outras camisas através dos tubos de interligação (intercâmaras).

Figura 68



SEÇÃO DAS TURBINAS

É completamente envolvida pelo ducto "by-pass". A turbina de alta pressão, de dois estágios, extrai energia do fluxo de gás proveniente da câmara de combustão, para acionar o compressor de alta pressão. A turbina de baixa pressão, similar à de alta pressão, de dois estágios, recebe o fluxo que vem da turbina de alta pressão e aciona o compressor de baixa pressão.

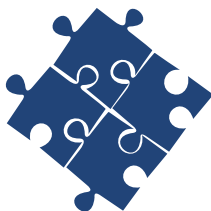
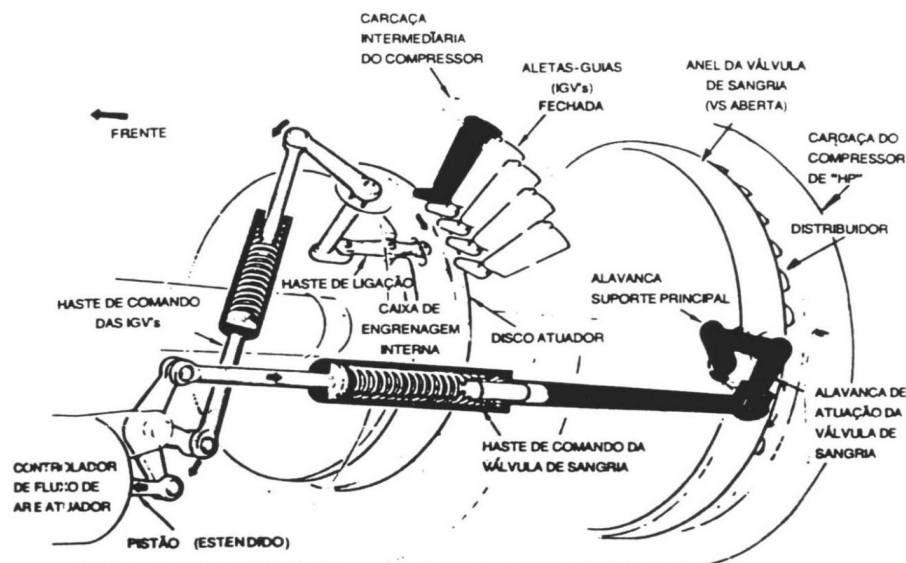
O estol de compressor pode conduzir a situação para a condição de "SURGE" (ondulações), que é a condição de colapso total do fluxo de ar através do compressor. Para evitar o aparecimento destas condições, um sistema de controle de fluxo é utilizado de forma a controlar o compressor de alta (HP).

O sistema é composto por um conjunto de aletas guias de entrada de ar (I.G.V.), de ângulos de passo variável na parte frontal do compressor de HP e de uma válvula de sangria instalada na região do 7º estágio do compressor de HP. As aletas guias da entrada de ar asseguram que o ar seja direcionado no primeiro estágio de rotores em ângulo adequado, em todas as velocidades de rotação.

A válvula de sangria do compressor sangra o excesso de ar para o ducto de derivação (by-pass), evitando assim diferenciais indesejáveis de pressão, que originam anomalias de fluxo de ar nos estágios posteriores do compressor.

As aletas guias de entrada de ar e a válvula de sangria são posicionadas pelo regulador de fluxo de ar (Air Flow Regulator). Um sinal de R.P.M. é entregue para este regulador por meio de um transmissor de sinal de rotação de HP. Ambos componentes utilizam o combustível do motor como meio de trabalho.

Figura 71



Está na hora
de resumir!

A partir de suas anotações, reconstrua com suas palavras todo o estudo em um ou dois parágrafos, ou se preferir, elabore um mapa mental ou um infográfico sobre o texto.

4 MOTORES TURBOHÉLICE E TURBOEIXO

4.1 Motores TurboHélice e TurboEixo

Estes tipos de motores nada mais são do que uma verdadeira turbina a gás (motor turbojato) cuja função principal é girar uma hélice ou um rotor. Enquanto os motores turbojato acionam aviões pelo princípio da propulsão a jato (reação direta), os turbohélices propõem a aeronave graças às hélices e no caso do turboeixo o rotor principal do helicóptero.

Os motores turbohélice e turboeixo apresentam as seguintes partes fundamentais:

- O conjunto do compressor é representado por um ou mais impelidores rotativos.
- O conjunto da turbina é representado por uma ou mais rodas da turbina.
- A câmara de combustão é agrupada ou instalada (no caso de uma), interligando o conjunto do compressor com o conjunto da turbina.
- O coletor de escapamento é representado por um tubo que tem a função de conduzir a massa gasosa para a atmosfera após a sua circulação pelo interior do motor.
- Os acessórios dos diversos sistemas do motor, agrupados em regiões diversas do mesmo.
- Caixa de redução para reduzir velocidade da turbina de potência para a hélice ou para o rotor principal.
- Hélice é o componente instalado no motor, que produz a tração para a aeronave.

A maior vantagem do motor turbohélice sobre o turbojato é com respeito às decolagens e subida inicial, onde os jatos puros são mais deficientes.

O motor turboeixo é um motor a reação, interligado a uma caixa de transmissão, destinado a propelir helicópteros.

O motor turbohélice é um motor a reação equipado com hélice, destinado a cobrir a lacuna existente entre o motor convencional a pistão e o motor turbojato, no tocante à velocidade e altitude de voo.

✓ Exemplos de Motores Turbohélice

➤ Motor Allison T56-A-15 da Aeronave C-130 E/H.

O motor possui um compressor axial, uma seção de combustão, uma turbina, um conjunto de torquímetro, uma caixa de acessórios e uma caixa de redução. Uma característica muito importante neste

motor é que ele funciona com rotação constante (100 % RPM) em todos os regimes de operação, as mudanças de potência não afetam as RPM do motor nem da hélice, ela fica associada a TIT. Ao ser alterada a potência do motor haverá uma variação no fluxo de combustível, que fará variar a TIT. Por exemplo: Havendo um aumento de fluxo de combustível, haverá um aumento de energia térmica disponível na turbina. A turbina absorve e transmite à hélice, em forma de torque, esse aumento de energia faz com que a hélice tende a aumentar de rotação para absolver o aumento de torque. A tendência de aumento de rotação da hélice é sentida pelo governador de controle de velocidade que provoca o aumento do ângulo das pás da hélice para esta absolver o torque ganho, mantendo as RPM em 1021 e a turbina em 13.820.

Ele fornece nas condições ISA e a 13.820 RPM uma potência máxima de 4910 ESHP (4591 SHP no eixo da hélice e 319 HP (800 libras de empuxo) no jato de escapamento).

➤ Compressor / Difusor

O compressor é composto de 14 estágios, o qual possui uma taxa de 9,5:1 de compressão, fornecendo ar comprimido para o sistema de combustão, refrigeração interna, pneumático do mesmo e para toda a aeronave. Com uma pressão atmosférica de 14,7 PSI na entrada do compressor teremos uma pressão de 140 PSI no 14º estágio com uma temperatura de 610° F (321° C).

Uma preocupação constante nos projetos dos compressores é o estol. Estol de compressor é a interrupção ou a queda do fluxo de ar através do mesmo. Este motor por ser de rotação constante, ele poderá ocorrer durante a partida ou na mudança de *NORMAL GROUND IDLE* para *LOW SPEED* ou para *NORMAL SPEED*.

Ao ser admitido mais combustível nas câmaras de combustão haverá um acréscimo de pressão no seu interior e conseqüente aumento de pressão na área de escape, fazendo com isso aumentar a rotação da turbina. A turbina aumentando de rotação provoca o aumento de rotação do compressor e, assim, a descarga do compressor é proporcional à rotação da turbina. Com a turbina girando com o máximo de carga, a pressão do compressor é somente um pouco maior do que à pressão nas câmaras de combustão, e isso permite que o motor acelere, uma vez que o fluxo de ar move através do compressor.

O estol ocorre quando o combustível é acrescentado em excesso, provocando nas câmaras de combustão um aumento de pressão maior do que a aceleração provocada na turbina. Como a rotação da turbina é proporcional à pressão de descarga do compressor, conclui-se que a descarga do compressor também será menor do que a pressão gerada nas câmaras de combustão.

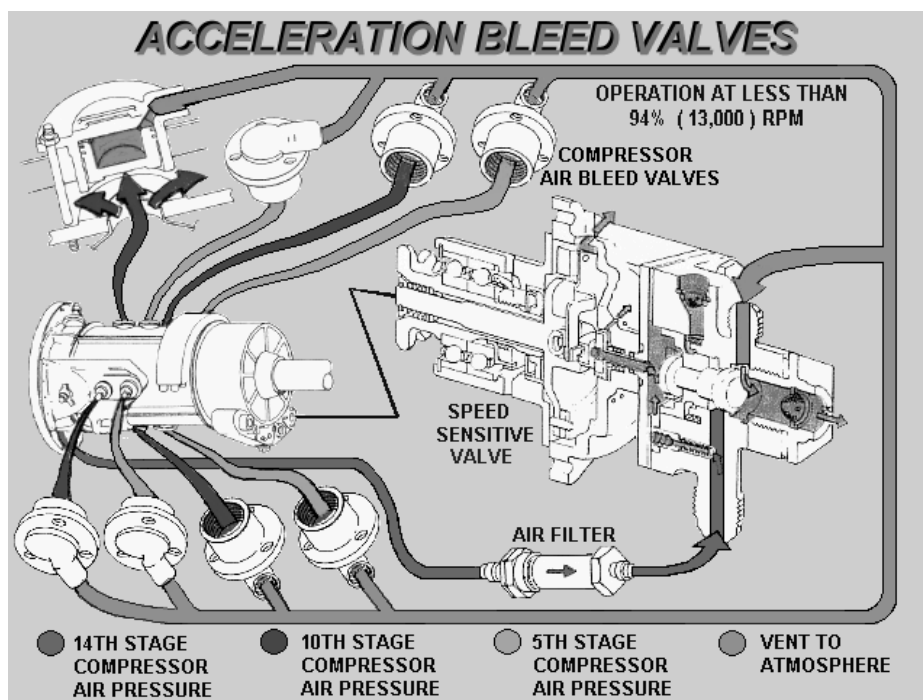
O compressor se torna então incapaz de introduzir ar na área de combustão e o fluxo de ar que corria sofre uma parada. A turbina não tendo capacidade de acelerar bruscamente para aliviar a pressão das câmaras e extrair os gases queimados, ao peso dessa pressão desproporcional para, provocando

também a parada do compressor, e os gases queimados então “explodem”, saindo no sentido inverso pela tomada de ar.

A entrada de ar é constituída de uma única peça fundida e sua finalidade é dirigir o fluxo de ar para o compressor. Nesta seção existe um conjunto de palhetas orientadoras que além de impedir a entrada de objetos estranhos no compressor, orienta o fluxo de ar para o primeiro estágio do compressor. Encontra-se nesta seção os *PROBES* que medindo a pressão e a temperatura do ar, enviam sinais ao *FUEL CONTROL* para variar a dosagem de combustível.

O alojamento do compressor é constituído por quatro seções aparafusadas juntas, onde no 5º e 10º estágio de compressão estão instaladas oito válvulas *BLEEDS* para o controle do fluxo de ar no interior do compressor, eliminando a possibilidade de estol.

Figura 72



Após o último estágio de compressão encontramos a seção difusora do motor, onde o ar é desacelerado por ser um conduto divergente. Esta perda de velocidade melhora o processo de combustão. Nesta seção existe as sangrias do ar para o sistema pneumático do motor e da aeronave.

O conjunto do compressor é apoiado por dois rolamentos, o frontal é de roletes e o traseiro é de esferas.

✓ Combustão

A seção de combustão é formada por seis câmaras tuboanulares, dispostas entre duas carcaças, a externa que envolve o conjunto e a interna onde estão fixadas as câmaras. Na carcaça externa está

instalada as duas velas de ignição correspondentes as câmaras de número 2 e 5, duas válvulas dreno pra eliminação das sobras de combustível por ocasião do corte do motor. Estão abertas por meio de molas e fecham-se quando a pressão de ar é de 1 a 4 PSI. A carcaça interna é composta por tubos (um dentro do outro), onde no externo estão fixadas as câmaras de combustão e no interno são fixados tubos de pressão e retorno de óleo de lubrificação do rolamento dianteiro da turbina.

✓ Câmaras

As seis câmaras estão instaladas ao redor da carcaça interna, recebendo ainda uma fixação pela parte frontal através dos bicos injetores de combustível. Na partida, a chama formada na câmara 2 e 5 passa para as demais através de tubos de interconexão entre ela (CROSSOVER).

Figura 73

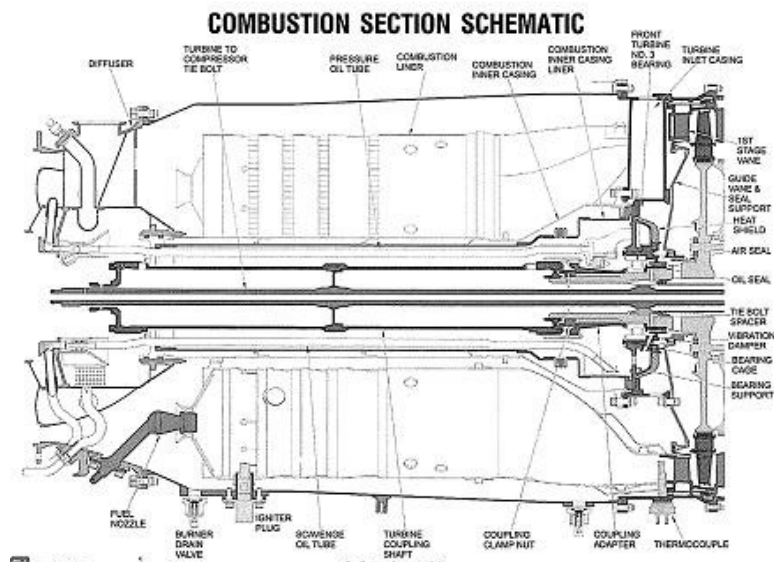
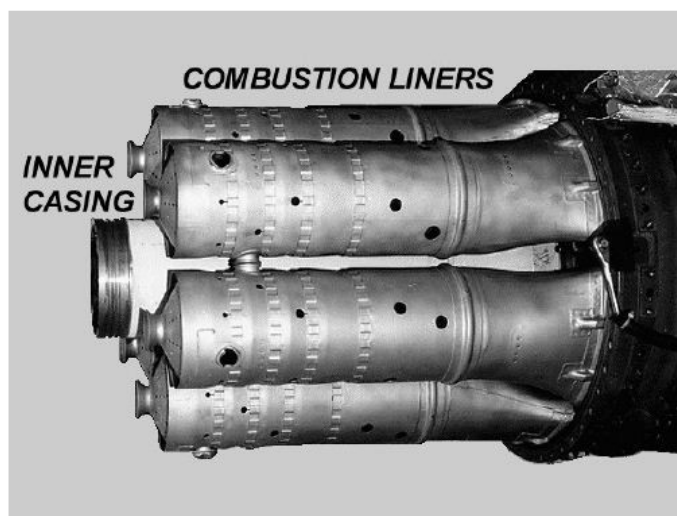


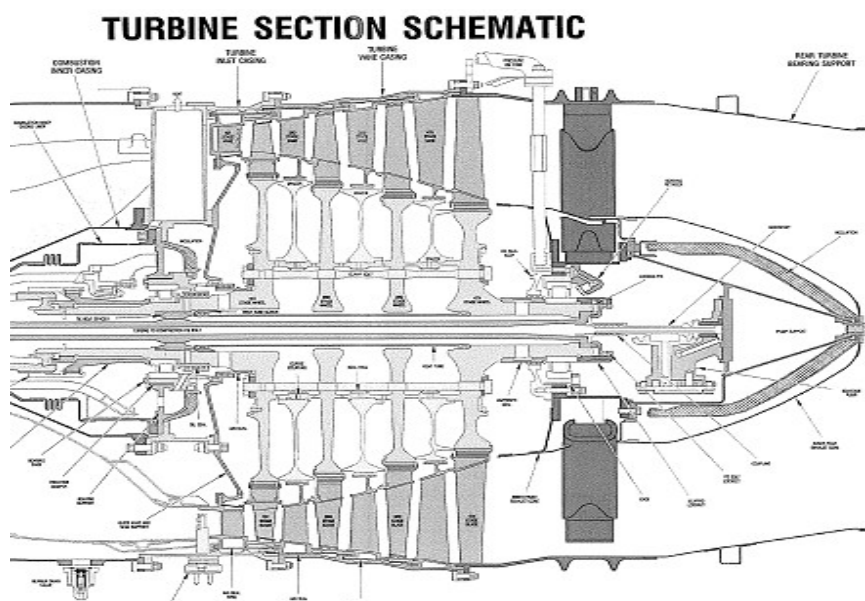
Figura 74



✓ Turbinas

A turbina é composta de 4 estágios, cuja finalidade é extrair a energia calorífica dos gases expandidos na combustão e transformá-lo em energia mecânica. Ao deixarem a turbina, os gases são lançados na atmosfera e a energia ainda remanescente produz um empuxo de 740 Lbs. Na entrada do 1º estágio são instalados 18 pares *THERMOCOUPLES* (3 em cada câmara), os quais enviam um sinal de temperatura para o controle da quantidade de combustível injetado nas câmaras, controlando assim a torque do motor, que depende da energia gerada na câmara para acionar as turbinas as quais giram o compressor e conseqüentemente a hélice através da caixa de redução.

Figura 75



✓ Rolamentos

O conjunto é composto por 4 rolamentos. Dois estão no compressor (dianteiro é de roletes e o traseiro é de esfera) e dois estão na turbina (dianteiro é de roletes e o traseiro é de esfera).

✓ Acessórios

A caixa de acionamento dos acessórios está montada na parte inferior da entrada de ar do compressor.

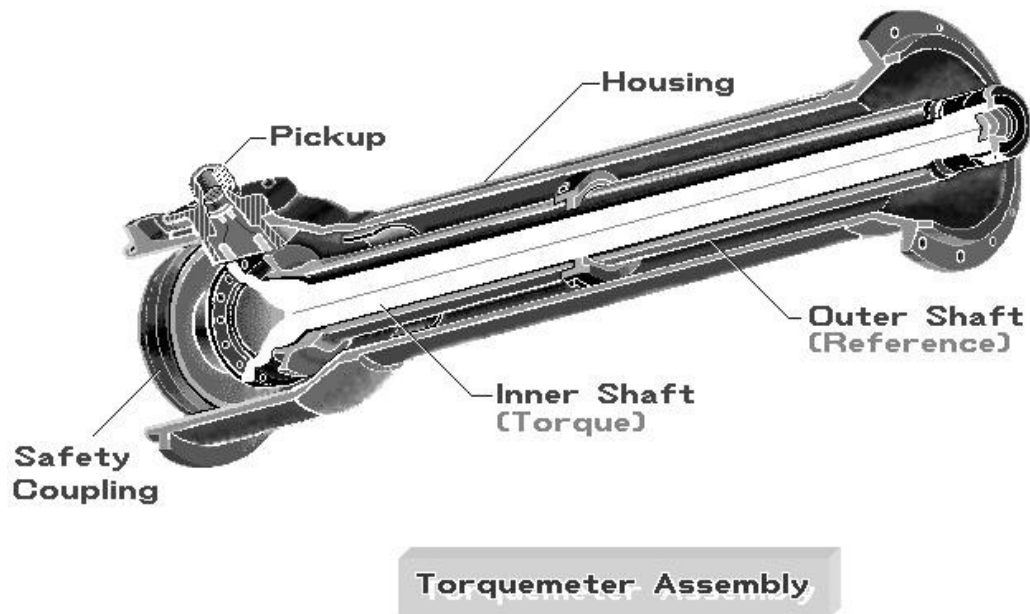
Nela encontramos na parte frontal: Filtro e Bomba de Óleo, *Speed Sensitive Control* e *Speed Sensitive Valve*; na parte traseira: *Fuel Control*, Bomba de Combustível, Conjunto do Filtro de Combustível, Bomba de Recuperação de Óleo dos mancais traseiros do compressor e dianteiro da turbina.

✓ Sistema de Indicação de Torque

O conjunto consiste de dois eixos concêntricos e mede a produção de potência do motor em polegadas/libras de torque. O eixo de torque é o que transmite a força do motor para a caixa de redução e está preso em uma das extremidades ao motor e na outra a caixa de redução. O eixo de referência é oco e está montado sobre o eixo de torque, ficando preso a este em uma das extremidades, a outra extremidade, onde está situada sua engrenagem excitadora, fica livre.

Na posição das engrenagens excitadoras estão instalados o conjunto de PICK-UP. As engrenagens excitadoras estão situadas uma na extremidade do eixo de torque e a outra no eixo de referência. Com o motor girando, o eixo de torque, por estar preso em uma extremidade ao motor e na outra extremidade na caixa de redução, sofre uma torção ao transmitir o esforço do motor a caixa de redução. O eixo de referência não sofrerá nenhuma torção, uma vez, que está preso apenas em uma extremidade e se constitui assim em um ponto de referência que indica onde estava o eixo de torque antes da torção.

Figura 76



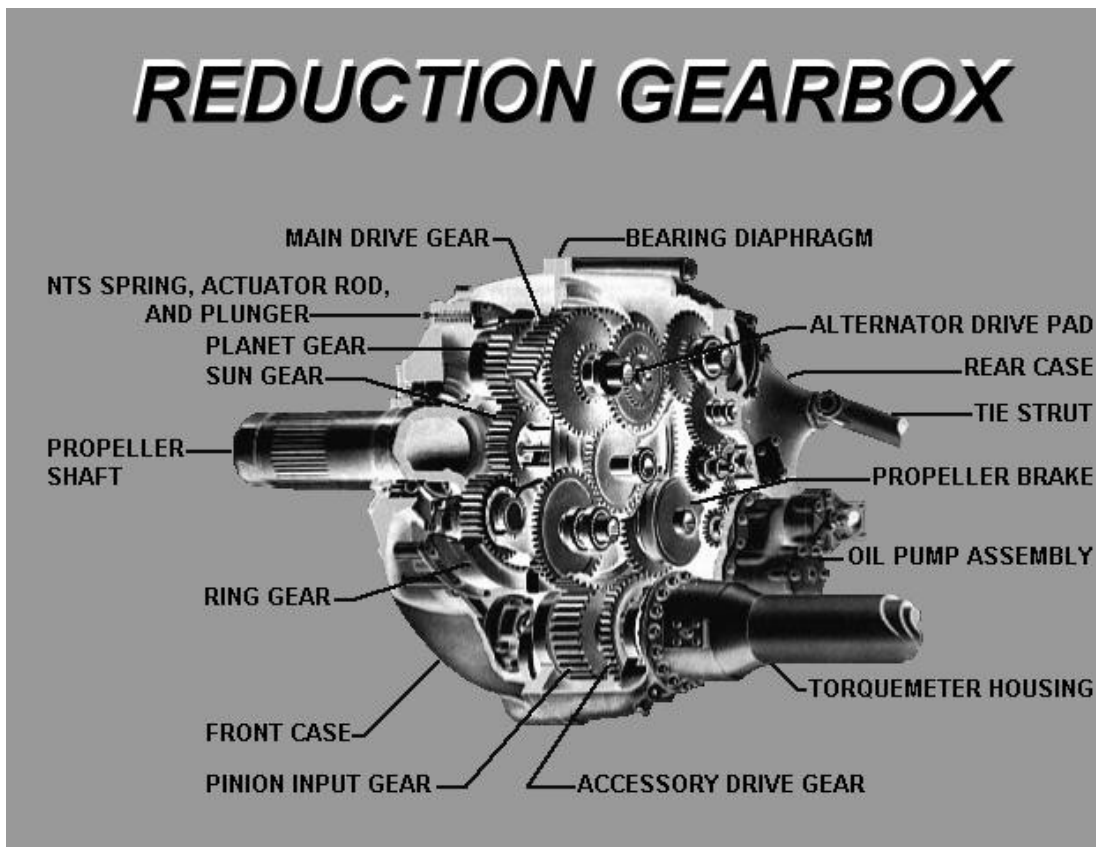
✓ Caixa de Redução

Tem a função primária de reduzir a velocidade de rotação do motor para os limites de eficiência da hélice. A razão de redução é de 13,54:1. Para evitar engrenagens de grande porte são utilizados dois estágios de redução.

Na seção frontal está o eixo da hélice e o 2º estágio de redução, que reduz a velocidade de 4,33:1. O 1º estágio está acoplado ao eixo de torque e reduz a velocidade 3,125:1.

$$(4,33 \times 3,125 = 13,54:1)$$

Figura 77



✓ Torque Negativo

Um torque negativo se desenvolve sempre que a hélice gira o motor e pode ser causado por uma redução súbita ou parada do motor, por rajadas de ventos sobre a hélice, descida violenta a alta velocidade, funcionamento impróprio do governador ou durante uma partida em voo. Este torque pode causar um desequilíbrio de potência no motor fazendo a aeronave guinar.

Para evitar o ângulo da hélice é aumentado para receber mais carga. Isto é feito automaticamente pelo mecanismo do NTS (*Negative Torque System*) instalado na caixa de redução.

✓ Acoplamento de Segurança

Em caso de falha do mecanismo do NTS, existe um sistema que desconecta a caixa de redução do motor.

✓ Freio da Hélice

Este sistema é para evitar que a hélice fique girando como um cata-vento após um embandeiramento em voo e também parar o conjunto motor-hélice nos cortes normais em solo.

✓ **Acessórios da Seção De Redução**

Os acessórios instalados nesta seção são para uso dos sistemas da aeronave e da própria caixa de redução. Os acessórios são: Gerador de AC, Bomba Hidráulica, Filtro de Óleo, *Starter Pneumático*, Gerador de Taquímetro e Bomba de Óleo.

4.2 Motor Pt6a

✓ **Descrição Geral**

Os motores da série PT6A(P= *propeller* – hélice, T= *turbine* – turbina, 6= geração, A= dupla redução) são motores leves, do tipo turbina livre e fluxo reverso. Utilizam duas turbinas independentes: uma que aciona o compressor na seção do gerador de gases e outra que aciona a hélice através de um sistema de engrenagens de redução.

O ar de admissão entra no motor através de uma câmara anular formada pela entrada da carcaça do compressor, de onde é dirigido ao compressor. O compressor consiste de três estágios axiais combinados com um único estágio centrífugo e montados como uma única unidade. Esta unidade fornece uma taxa de compressão de 7:1.

Uma série de lâminas estatoras, localizadas entre cada conjunto rotativo do compressor, difundem o ar, aumentando sua pressão, dirigindo-o para o próximo estágio. Em seguida, o ar comprimido passa através dos tubos difusores, os quais mudam sua direção em 90°; o ar é então dirigido para a câmara de combustão.

A camisa da câmara de combustão tem as paredes duplas, soldadas, formando uma câmara anular de fluxo reverso provida de furos de vários tamanhos, os quais permitem a entrada de ar. O fluxo de ar muda de direção para entrar na camisa da câmara de combustão, onde inverte de sentido e mistura-se com o combustível.

A posição da câmara de combustão elimina a necessidade de um eixo longo entre o compressor e a turbina, reduzindo o comprimento e o peso total do motor.

O combustível é injetado na câmara de combustão por 14 bicos injetores alimentados por um distribuidor duplo. A mistura é inflamada na partida por duas velas de ignição instaladas na camisa da câmara de combustão.

Os gases resultantes expandem-se por dentro da câmara de combustão, invertem de sentido e passam através das lâminas guia (estatoras) da turbina do compressor em direção a turbina do compressor. As lâminas guia (estatoras) da turbina asseguram que os gases em expansão atinjam as palhetas da turbina

no ângulo correto, com uma perda mínima de energia. Os gases, ainda em expansão, passam para frente, através de um segundo grupo de lâminas guia (estatoras), para acionar a turbina de potência.

As turbinas do compressor e de potência estão localizadas aproximadamente no centro do motor, com seus eixos estendendo-se em direções opostas. Isto simplifica bastante os procedimentos de instalação e inspeção.

Os gases de escapamento, vindos da turbina de potência, são dirigidos para a atmosfera através de ductos de descarga. Todos os acessórios acionados pelo motor, com exceção do tacogerador de NH e do governador da hélice, estão montados na caixa de engrenagens de acionamento dos acessórios, localizada na traseira do motor. A caixa de engrenagens é acionada pelo compressor por meio de acoplamento, o qual se estende, através de um tubo cônico, na seção central do tanque de óleo.

A localização dos acessórios na parte traseira simplifica os procedimentos de manutenção. O suprimento de óleo do motor está contido em um tanque de óleo integral o qual faz parte da carcaça de admissão do compressor. O tanque possui capacidade total de 2,3 Galões americanos (8,74 litros) e está provido de uma vareta medidora de nível e de um bujão para drenagem. O filtro do sistema de óleo está localizado no lado direito do tanque.

A turbina de potência aciona a hélice por meio de uma caixa de engrenagens de redução de dois estágios, localizada na frente do motor.

A caixa de engrenagens de redução incorpora um dispositivo integral medidor de torque, cuja finalidade é fornecer uma indicação precisa de potência produzida pelo motor.

O motor possui 08 estações para tomadas de pressão e temperatura. Possui 07 flanges (A, B, C, D, E, F e G) para acesso à manutenção, relacionados em ordem alfabética. O flange "C" divide as duas principais seções do motor e dá acesso à seção quente. Nos flanges A e G, existem suportes para içamento do motor.

Possui 06 rolamentos principais, sendo 03 de esferas e 03 de roletes. Rolamentos nº1, 4 e 6 são de esferas e suportam pressões axiais. Rolamentos nº2, 3 e 5 são de roletes e suportam pressões radiais e possuem capacidade de expansão térmica.

O consumo máximo de óleo é de 0,2 Lbs por um período de 10 horas.

De todo o ar que entra no compressor aproximadamente 25% é usado para a combustão, 65% usado para resfriamento das partes quentes, 5% para o sistema da aeronave e 5% para os sistemas pneumáticos (F.C.U., *Bleed Air*, selos labirintos).

Tabela 01

AERONAVES DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA E SEUS RESPECTIVOS MOTORES		
Aeronave	Modelo	Motor
Bandeirante	C-95 A/B/C	PT6A-34
Bandeirante	C-95 / R-95	PT6A-27 / -28
Tucano	T-27	PT6A-25C
Super-Tucano	A-29	PT6A-68C
Caravan	C-98	PT6A-114
Grand-Caravan	C-98A	PT6A-114 A
Xingu	VU-9	PT6A-135

Figura 78

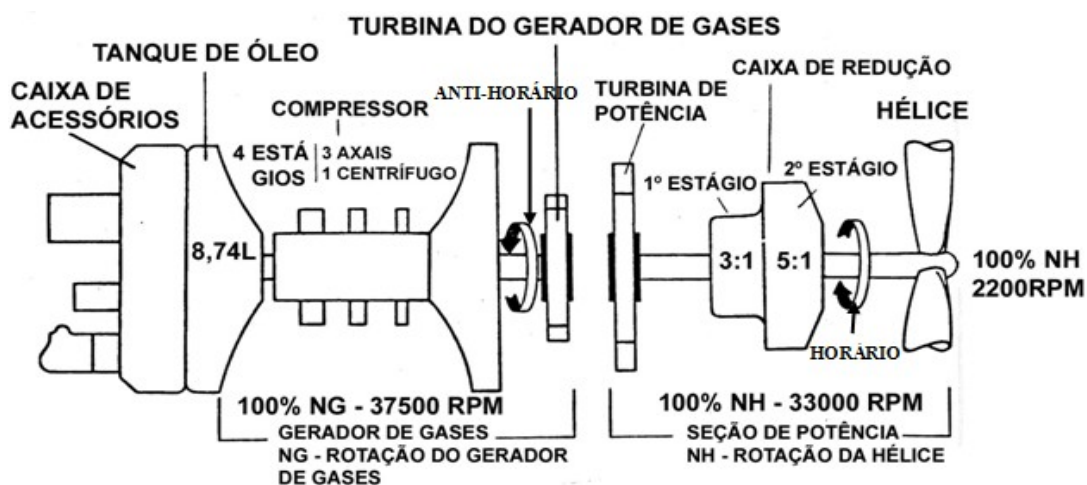


Tabela 02

CARACTERÍSTICAS DO MOTOR				
MOTORES	Potência máxima no eixo (SHP)	Temperatura ao nível do mar	100% Nh	100% Ng
PT6A-27	680	21°	2200	37500
PT6A-28	680	21°	2200	37500
PT6A-25C	750	30°	2200	37500
PT6A-34	750	29.5°	2200	37500
PT6A-114/114A	600/675	30.6°	1900	37500
PT6A-135	750	30.6°	1900	37500

Tabela 03

PESO BRUTO APROXIMADO		
PT6A-27 / -28	137 kg	303 lb
PT6A-25C	152 Kg	346 lb
PT6A-34	139 Kg	307 lb
PT6A-114 / -114A	158 Kg	350 lb
PT6A-135	146 Kg	323 lb

Diâmetro aproximado dos motores: 48,26 cm.

Comprimento aproximado dos motores: 157,48 cm.

Tabela 04

RAZÃO DE REDUÇÃO PARA O EIXO DA HÉLICE		
PT6A-25, 27, 28 e 34	0,0668:1	15:1
PT6A-135	0,0576:1	17:1

Tabela 05

ROTOR	SUPORTADO PELO
EIXO DO COMPRESSOR	Nº 1 ESFERA Nº 2 ROLETE
EIXO DA TURBINA DE POTÊNCIA	Nº 3 ROLETE Nº 4 ESFERA
EIXO DA HÉLICE	Nº 5 ROLETE Nº 6 ESFERA

Tabela 06

ESTAÇÕES	LOCALIZAÇÃO	TEMP. °C	PRESSÃO PSIA
1	AMBIENTE	15°	14.7
2	ENTRADA DE AR	16°	14.7
2,5	INTERESTÁGIO DO COMPRESSOR	110°	26.4
3	SAÍDA DO COMPRESSOR	280°	103
4	TURBINA	934°	101
5	ENTRE TURBINAS	690°	35
6	SAÍDA DAS TURBINAS	565°	16
7	EXAUSTÃO	551°	15.5

Nota: Temperaturas e pressões tomadas em potência máxima, 15° C e ao nível do mar.

CARACTERÍSTICAS

Figura 79: ESTAÇÕES

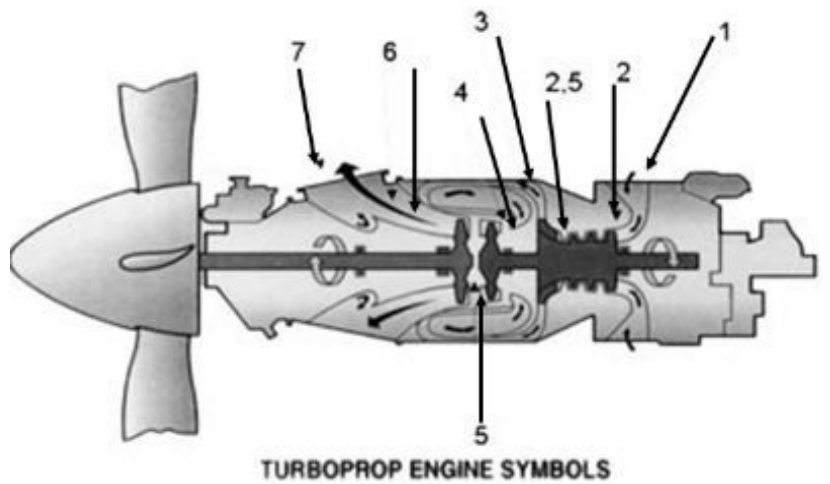


Figura 80: ROLAMENTOS

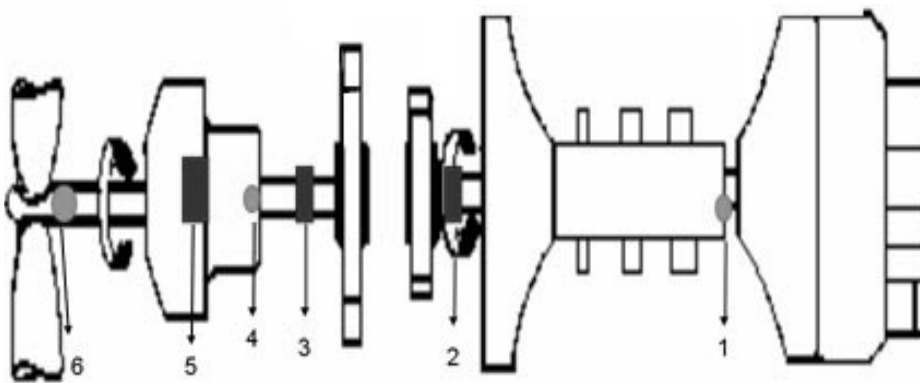


Figura 81: FLANGES E ROLAMENTOS

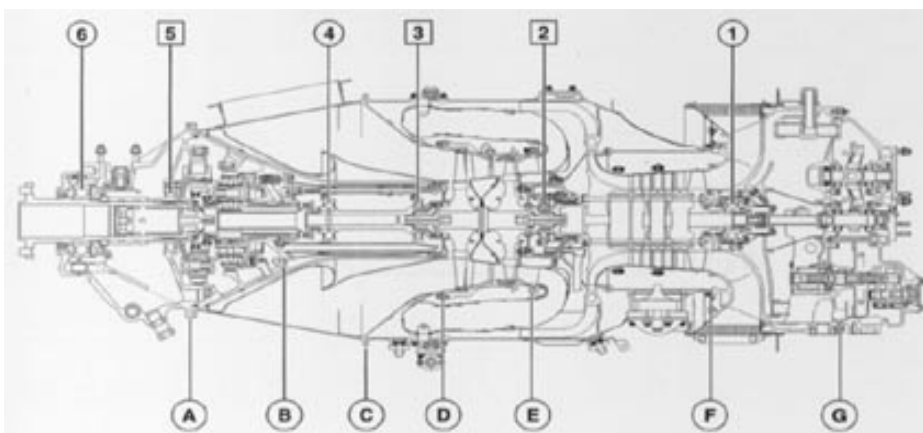


Figura 82: VISTA EXPLODIDA

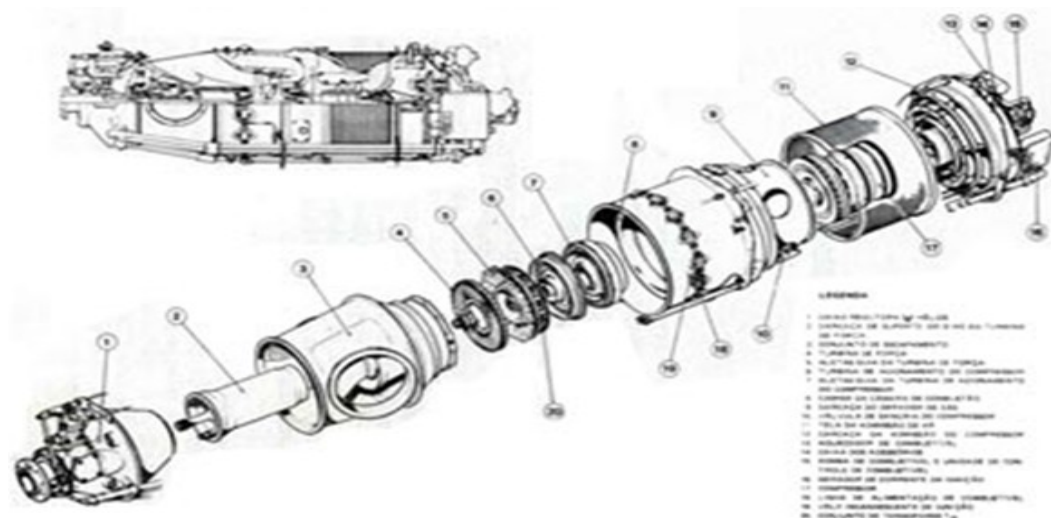
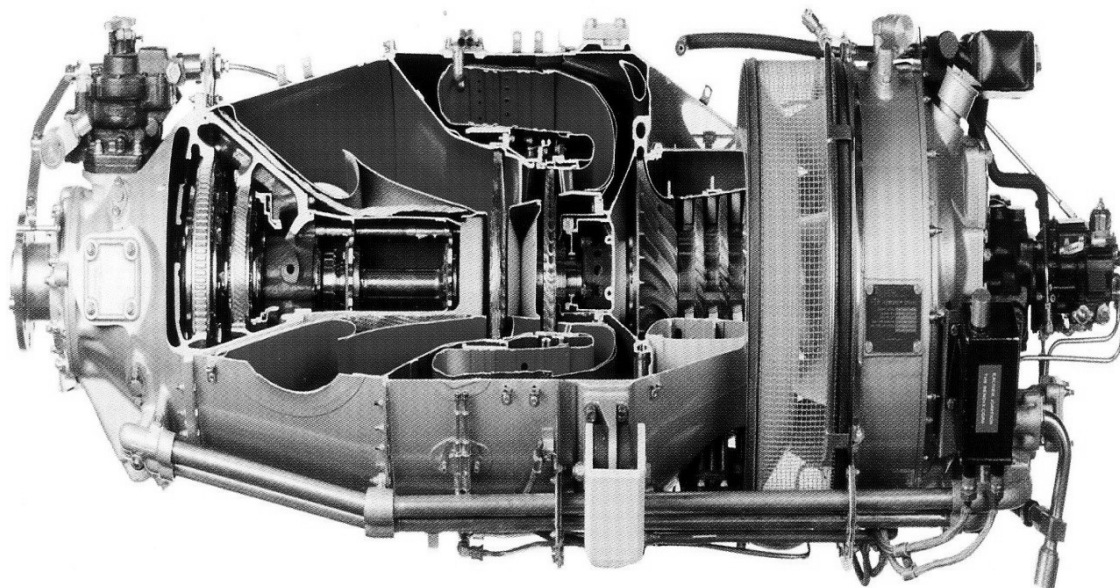


Figura 83



✓ Caixa de Acessórios

A caixa de acessórios, localizada na seção traseira do motor, é constituída por um diafragma rígido e uma carcaça, todos forjados em liga de magnésio, unidos entre si no flange posterior da carcaça de entrada de ar do compressor (flange “G”).

O diafragma, provido de anéis de vedação em ambas as faces, forma a parede traseira do tanque de óleo, na carcaça de entrada de ar do compressor, separando-o do compartimento das engrenagens de acionamento dos acessórios. Suporta na sua face dianteira a bomba de pressão de óleo e válvula de alívio

do sistema de lubrificação, e na sua face traseira, os rolamentos dianteiros das engrenagens da caixa de acessórios. Está fixado na carcaça traseira por quatro parafusos de cabeça escareadas.

A carcaça traseira aloja os rolamentos traseiros e selos (retentores de óleo) das engrenagens de acionamento dos acessórios e ainda suporta as bombas de retorno de óleo, duas na face interna e duas na face externa. Na sua parte superior acha-se instalado o bocal de reabastecimento, onde está alojada uma vareta medidora de óleo.

As engrenagens da caixa de acessórios distribuem-se da seguinte maneira:

Uma engrenagem acionadora acopla no eixo do compressor, alojado no centro da caixa, transmite movimento para o restante através de engrenagens auxiliares. Uma para o arranque gerador, uma para a bomba de combustível e F.C.U., uma para a bomba hidráulica, uma para bombas internas de retorno, tacogerador de NG e bomba de pressão de óleo, uma para bombas externas de retorno e uma sobressalente.

Figura 84

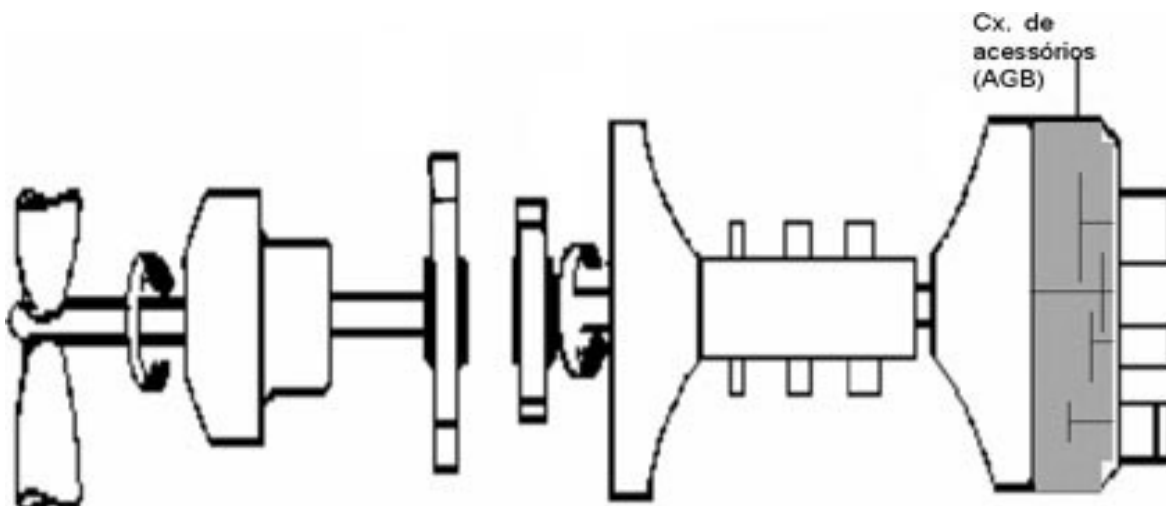
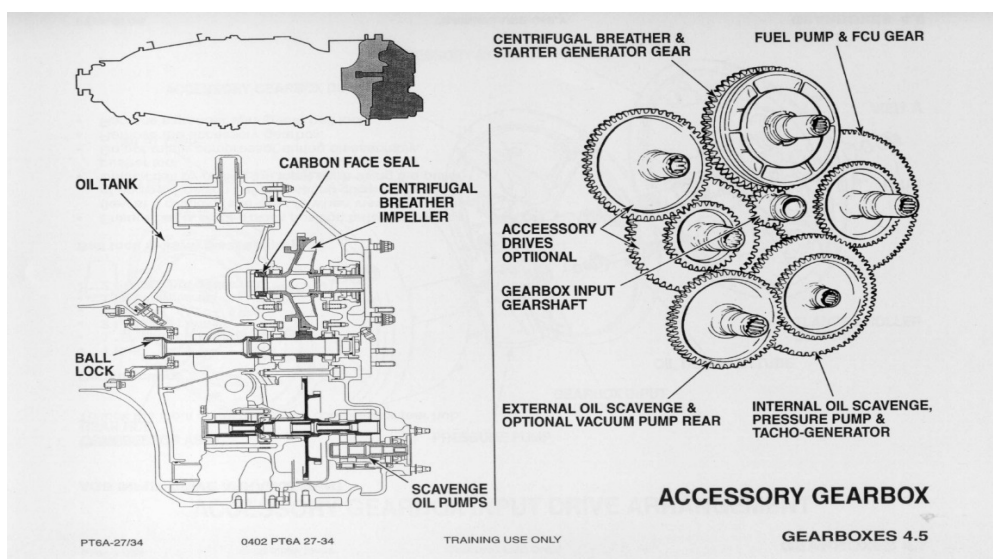


Figura 85



Acionamento dos Acessórios

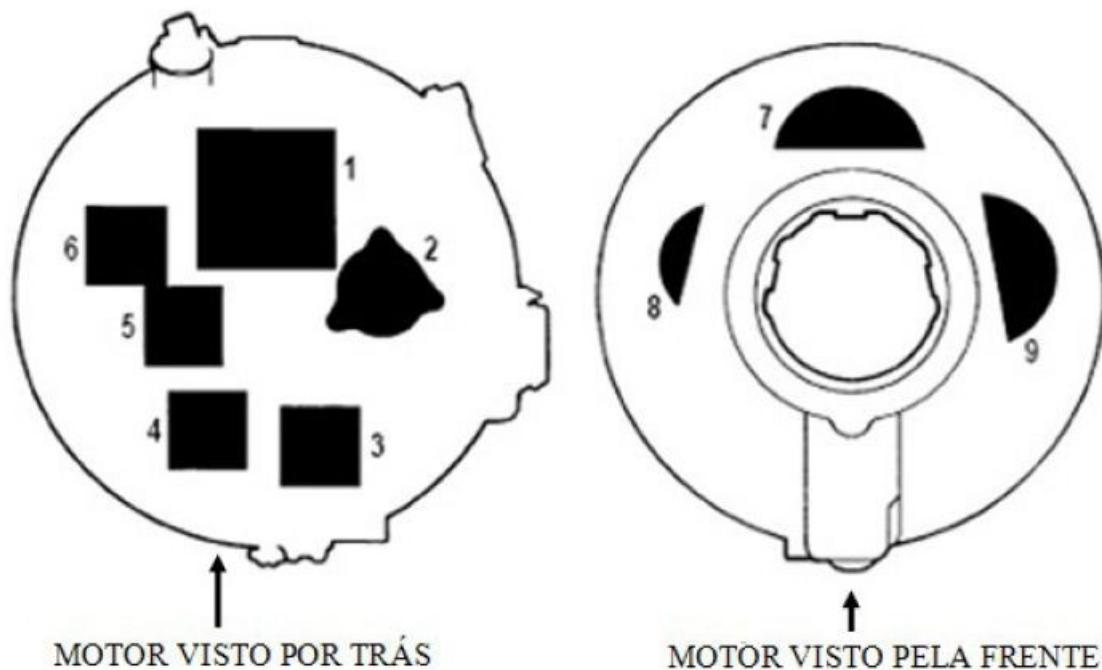
Tabela 07

	Sentido de Rotação	Razão de redução	R.P.M.
Acessórios acionados pela seção do gerador de gases com 100% NG – 37.500 R.P.M.			
1 - Arranque gerador.	H	0,2931:1	10991
2 - Bomba de combustível / Unidade controladora de combustível (F.C.U.).	AH	0,1670:1	6202
3 - Tacogerador de NG e Bombas internas de retorno de óleo.	AH	0,1121:1	4204
4 - Bombas externas de retorno de óleo. Bomba hidráulica (PT6A-25C). Flange vazio (PT6A-34).	AH	0,1019:1	3621
5 - Não utilizado	H	0,3207:1	12026

6 - Polia acionadora do compressor de freon (PT6A-25C). Bomba hidráulica (PT6A-34).	AH	0,203:1	7612
7 - Governador da hélice.	H	0,1264	4171
8 - Tacogerador de NH.	H	0,1264	4171
9 - Governador de sobrevelocidade.	H	0,1264	4171

Observação: os itens números 7, 8 e 9 estão localizados na caixa de redução.

Figura 86



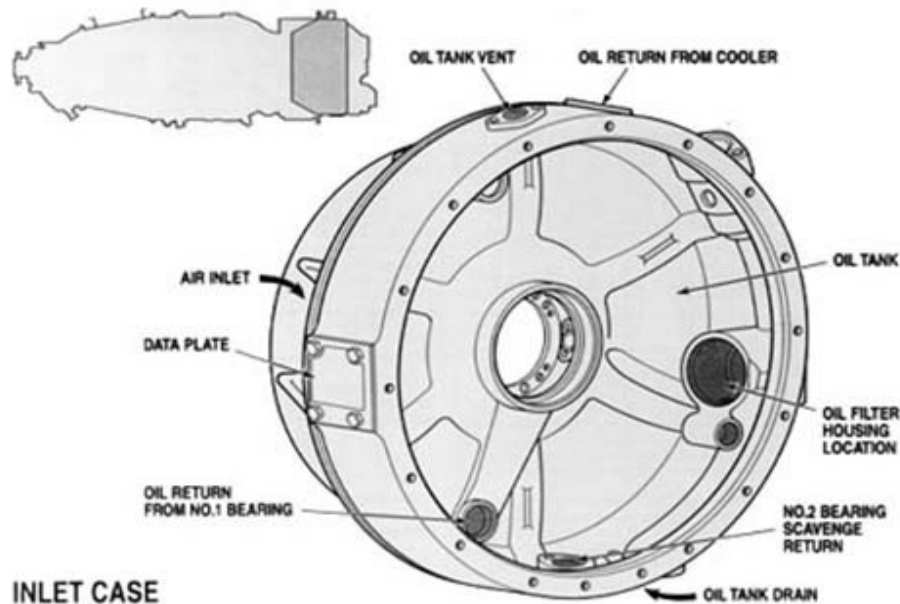
✓ Carcaça de Admissão do Compressor

A carcaça de admissão do compressor consiste de uma peça circular de liga de alumínio fundida em cuja parte fronteira encontra-se uma passagem anular por onde o ar é admitido no compressor. A parte posterior que forma um compartimento oco é usada como um tanque de óleo integral. Uma tela circular de aço é aparafusada em torno da tomada de ar da carcaça para evitar a ingestão de objetos estranhos ao compressor.

O suporte do rolamento nº1 e o selo labirinto estão dentro da cavidade central da carcaça de admissão do compressor.

Um injetor calibrado localizado na extremidade de um pequeno tubo é responsável em prover a lubrificação do rolamento em forma de jato de óleo pulverizado. Este óleo retorna por meio de passagens internas na própria carcaça e tubos para a caixa de acessórios.

Figura 87



✓ Seção do Compressor

O conjunto do compressor consiste de duas partes, uma rotativa (rotor) e uma fixa (estatora), e está contido entre a parte traseira da carcaça do gerador de gases e a parte dianteira na carcaça de entrada de ar.

A parte rotativa consiste de três estágios axiais associados a um impelidor centrífugo de face simples, que formam um conjunto de compressor conjugado, axial centrífugo de quatro estágios.

As palhetas do compressor são construídas com aço inoxidável, sendo encaixadas nas ranhuras, tipo “rabo de andorinha”, existentes na periferia de cada um dos três discos rotores da parte axial do compressor, com certa folga limitada, que permite o perfeito alinhamento das palhetas, quando o rotor está girando e ainda à compensação dos efeitos de dilatação, causados pelo aumento de temperatura.

Encaixados aos discos existem espaçadores que unem os discos distantes uns dos outros, pois intercalado a cada conjunto rotativo há um conjunto de lâminas fixas (estatoras) que uma das funções é a orientação do fluxo de ar.

O último conjunto de lâminas fixas orienta o ar para a entrada do impelidor centrífugo, que se acha unido aos discos do conjunto axial, por parafusos, formando um conjunto sólido oco rotativo, suportado por dois rolamentos, um de esfera outro de rolete. O de esfera (rolamento nº1) em conjunto

com um selo labirinto duplo (vedador de óleo) acha-se instalado na cavidade central da carcaça de entrada de ar. O selo labirinto está localizado na parte dianteira do rolamento. O rolamento de roletes (nº2) com seus dois selos labirinto (dianteiro simples e o traseiro duplo) estão instalados em uma cavidade própria na carcaça do gerador de gases.

A carcaça das lâminas guias do conjunto do compressor é unida por meio de parafusos à carcaça envoltória do impelidor centrífugo. A carcaça envoltória por sua vez é fixada por um pino guia e um anel de retenção na parte traseira da carcaça do gerador de gases. O pino impede o movimento giratório, e o anel trava impede o movimento axial do conjunto.

A parte traseira desse conjunto é encaixada na parte dianteira da carcaça de entrada de ar, protegida por um anel de vedação para evitar a perda de pressão de ar do compressor. O alinhamento dos conjuntos, fixo e rotativo em relação às carcaças do gerador de gases e de entrada de ar deve ser o mais perfeito possível, para que não haja interferência entre um conjunto e outro. Na face dianteira do impelidor centrífugo acha-se preso pelos mesmos parafusos de união do conjunto rotativo, um cubo no qual é fixada a turbina do compressor. O cubo é estriado internamente, para encaixe do eixo estriado da respectiva turbina.

Há uma estria especial no cubo e no eixo da turbina para que seja colocada na mesma posição a turbina em relação ao cubo, para evitar desbalanceamento do conjunto caso seja necessária à remoção da turbina.

Figura 88

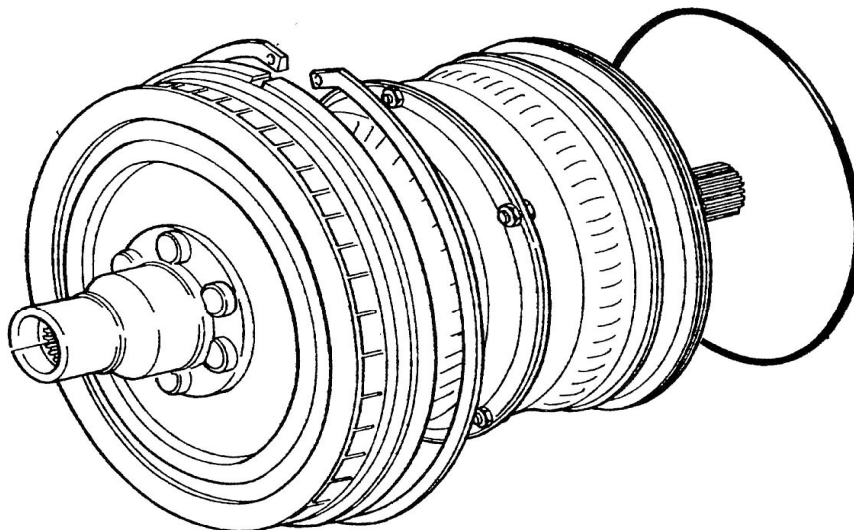


Figura 89

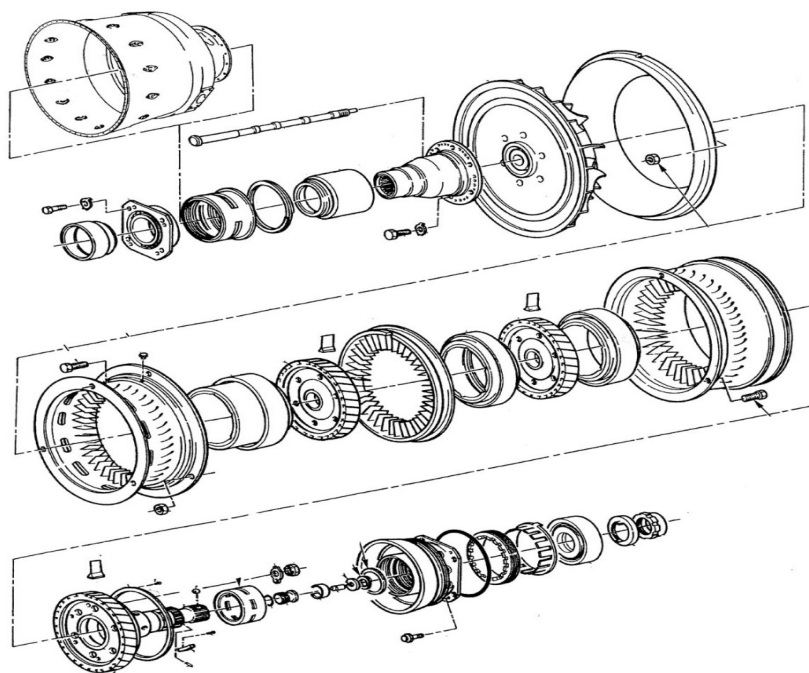


Figura 90



✓ Carcaça Geradora de Gases

A carcaça geradora de gases está localizada entre a parte dianteira da carcaça de entrada de ar do compressor e a parte traseira do duto de descarga (flange "C"). A carcaça é fabricada em aço inoxidável e pode ser coberta por um tratamento de aluminização para impedir o ataque de corrosão. Na parte interna traseira está localizado o rolamento nº2 e os respectivos selos de vedação de óleo (labirintos) e também o conjunto de lâminas guias (estatoras) da turbina do compressor. A turbina está alojada no seu respectivo

eixo após o rolamento nº2. No núcleo central da carcaça geradora de gases existem quatro furos de passagem de ar (P3) para pressurização dos selos do rolamento nº2.

Quatro aberturas estão localizadas na parte cônica da carcaça, sendo que uma dessas aberturas, localizada na posição quatro horas, serve de acesso à válvula de sangria do compressor. Na seção central da carcaça estão soldados os tubos difusores (21) que são recurvados a fim de mudar a direção e o sentido da massa de ar proveniente da periferia do impelidor centrífugo, que sai em alta velocidade e de forma radial. As extremidades dos tubos são retas e divergentes a fim de retificar a massa de ar convertendo sua energia cinética em energia de pressão, ao entrar na câmara de combustão.

De um dos difusores localizados aproximadamente na posição quatro horas, sai um pequeno tubo a ele soldado, que segue internamente até a posição cinco horas da carcaça geradora de gases. A carcaça nessa posição no lado externo tem uma pequena protuberância que está ligada a esse tubo interno. Nessa protuberância está conectado um tubo que conduz pressão P3 até a seção pneumática do F.C.U. Um outro tubo também soldado internamente na posição oito horas, passando por dentro da parte cônica, conduz pressão P3 para o funcionamento da válvula de sangria do compressor. Na parte mais saliente da carcaça, na posição onze horas há uma saída de onde é sangrada pressão “P3” para os vários sistemas pneumáticos do avião.

Essa sangria coleta o ar que circula em uma câmara interna localizada entre a parede da carcaça e os tubos difusores anteriormente descritos. Na carcaça geradora de gases também são fixados os injetores de combustível em número de 14, que em conjunto com duas velas de ignição localizadas nas posições 4 e 9 horas fixam interiormente a camisa da câmara de combustão. Esta camisa é fechada de forma cupular na sua parte dianteira e aberta na parte traseira para saída dos gases em expansão. A parte traseira da camisa é encaixada em outra camisa com formato de uma cúpula que é aparafusada na parte central da carcaça geradora de gases.

Ainda na parte mais saliente da carcaça existem três locais usinados nas posições quatro, oito e doze horas para serem instalados os suportes que fixam o motor ao respectivo berço.

Localizado no lado direito da válvula dreno traseiro da câmara há uma protuberância que recebe um tubo condutor de óleo sob pressão. No lado interno da carcaça, um tubo conectado a essa protuberância segue até a parte central da carcaça, levando óleo sob pressão que é pulverizado nos dois lados do rolamento nº2. O retorno desse óleo é feito através de outro tubo de maior diâmetro soldado internamente na posição seis horas que segue até outra protuberância externa, situada no lado esquerdo da válvula dreno traseiro da câmara de combustão, e daí por tubo próprio até a caixa de acessórios.

Figura 91

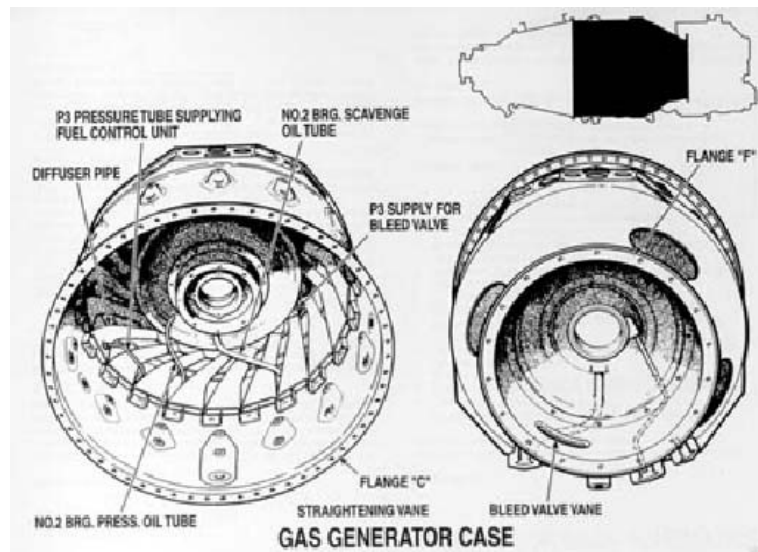


Figura 92

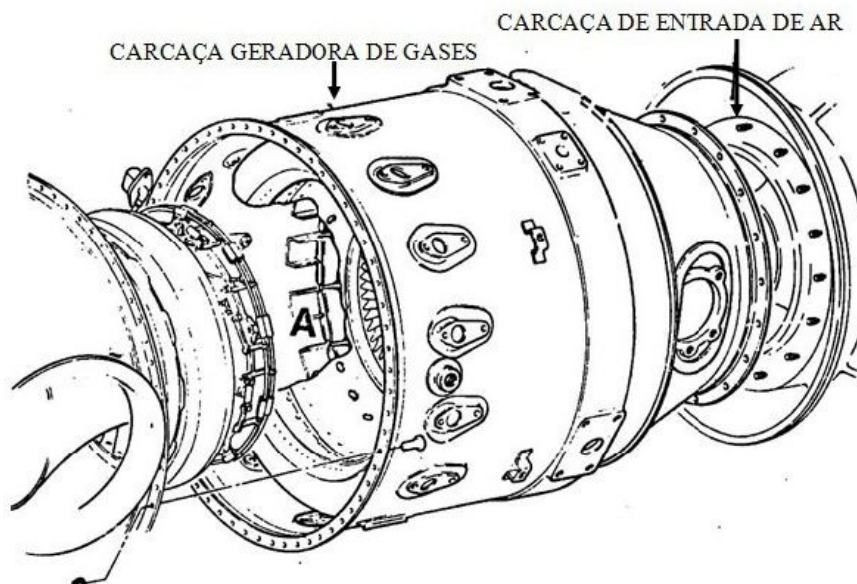
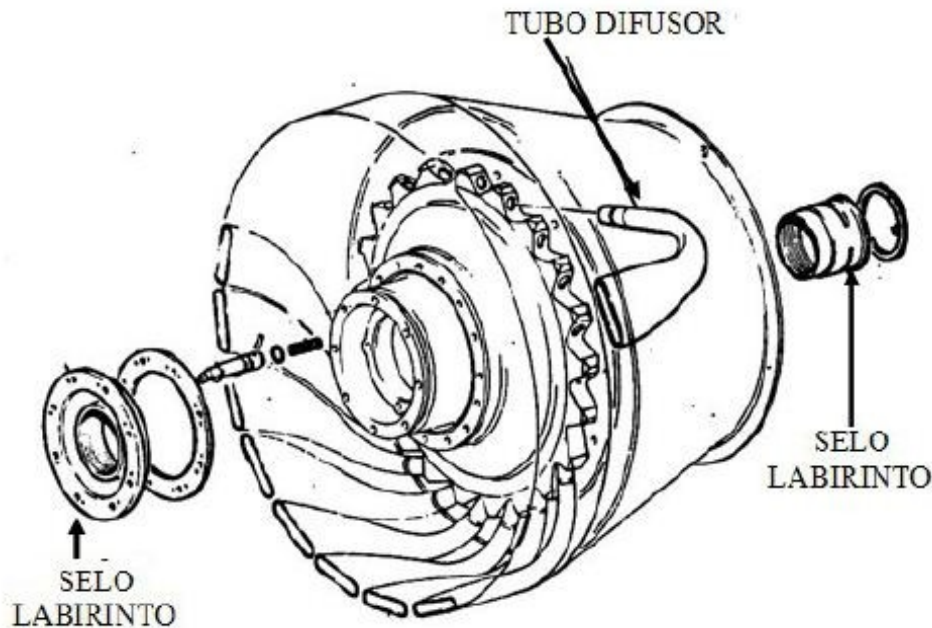


Figura 93



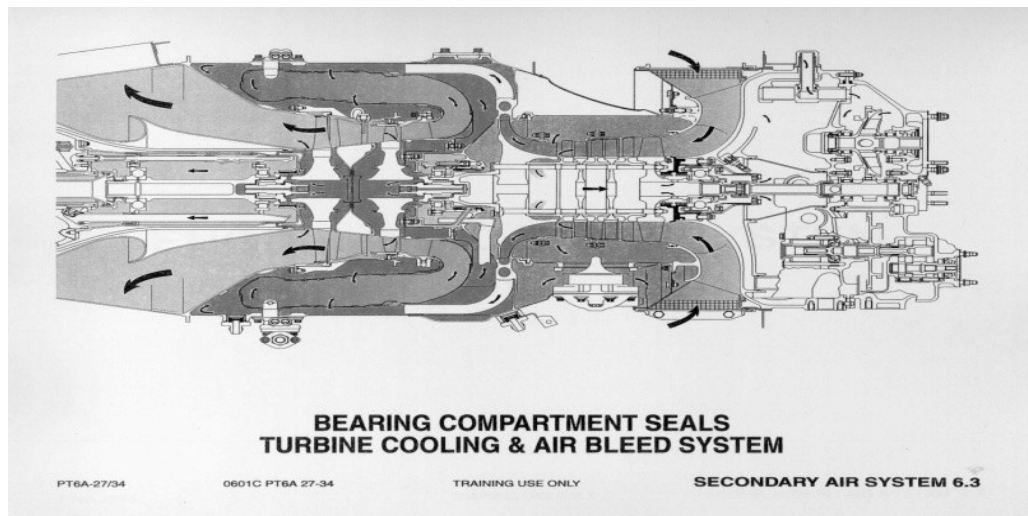
✓ Sistema de Ar

O ar pressurizado pelo compressor, além de suprir as necessidades básicas necessárias para a geração de gases na câmara de combustão, cumpre através de sangrias, as seguintes funções:

- Pressurização dos selos labirintos de vedação de óleo de lubrificação dos rolamentos nº 1, 2 e 3;
- Promove controle adequado e automático de pressão do compressor por meio da válvula de sangria;
- Arrefece os discos das turbinas e de mais peças na seção quente e nos motores PT6A-34 e 135, refrigera a parte interna das palhetas do conjunto estator da turbina do compressor;
- Mantém um sinal de pressão final do compressor, disponível ao F.C.U.;
- Supre através de ligações, dependendo da utilização dos aviões, a quantidade de ar necessária para a pressurização de cabine, ar-condicionado e sistema de degelo do bordo de ataque de superfícies.

As sangrias são feitas basicamente, nas estações 2,5 e 3 e são respectivamente denominadas de P2,5 e P3.

Figura 94



✓ Válvula de Sangria do Compressor

A válvula de sangria do compressor (*bleed valve*) tem como função permitir o escoamento para a atmosfera, de parte do ar produzido pelo compressor, enquanto o motor estiver operando em baixos regimes de potência (compressor em baixas rotações). Em baixas rotações os estágios axiais do compressor são mais eficientes do que a parte centrífuga do conjunto do compressor. Desta forma esta abertura, controlada pela válvula de sangria, situa-se entre os estágios axiais e o centrífugo evitando que seja fornecido ao estágio centrífugo um excesso de ar, que resultaria em situação identificada como “estol” do compressor.

A válvula fecha gradualmente e automaticamente o referido orifício, à medida que o motor atinge certo nível de rotação.

O conjunto da válvula de sangria consiste, basicamente, de uma válvula tipo pistão que funciona dentro de uma carcaça radialmente provida de furos na sua base superior. O pistão é provido de um diafragma flexível que, vedando efetivamente a câmara existente abaixo do pistão, permite simultaneamente que este se desloque para cima e para baixo, a fim de fechar ou abrir os orifícios de descarga situados junto ao flange da carcaça.

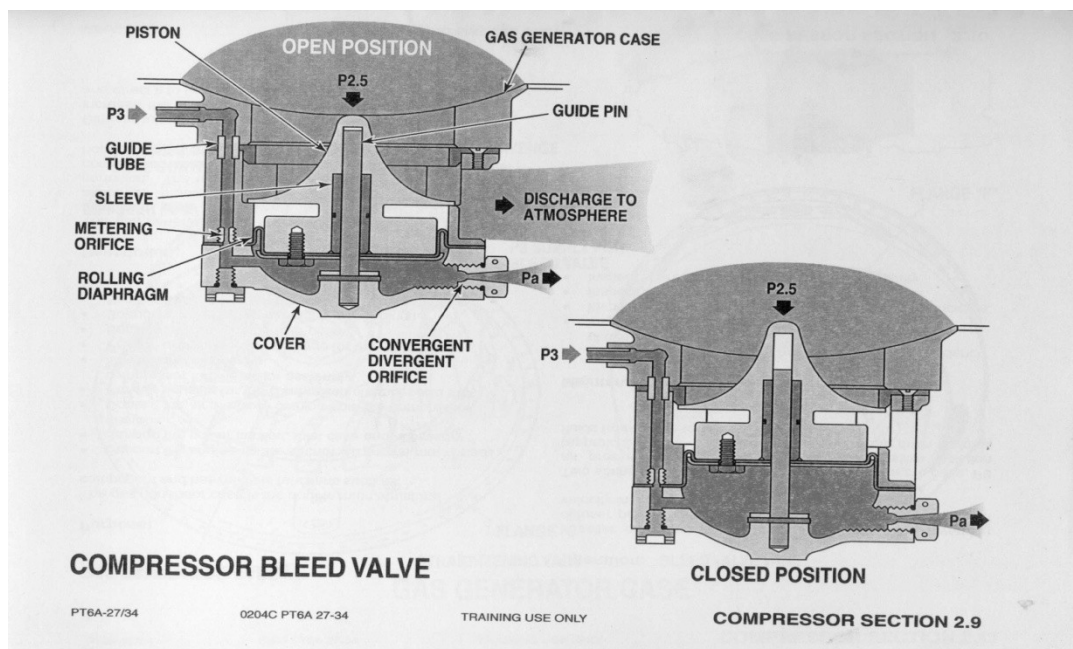
A válvula de sangria é fixada por quatro parafusos ao orifício de saída existente na carcaça geradora de gases e permite a passagem direta do fluxo de ar do terceiro estágio do compressor (P2,5) para a parte superior da válvula.

Um pino guia, existente na face de encosto da válvula de sangria, serve para alinhar o orifício de P3 da válvula, com o existente na carcaça geradora de gases.

O ar P3, proveniente do estágio centrífugo do compressor, é dirigido através de um orifício calibrado instalado na unidade, para uma câmara abaixo do pistão, de onde é escoado para a atmosfera através de um orifício convergente/divergente. A pressão interna, entre o orifício calibrado de entrada e o orifício convergente/divergente de saída, atua sobre a parte inferior do pistão de tal modo que quando esta for maior do que P2,5, a válvula de sangria fecha.

Quando a pressão interna é inferior a P2,5, o que acontece a baixa rotação do compressor, a válvula permite o escoamento do ar proveniente do terceiro estágio axial (P2,5).

Figura 95



✓ Seção Quente

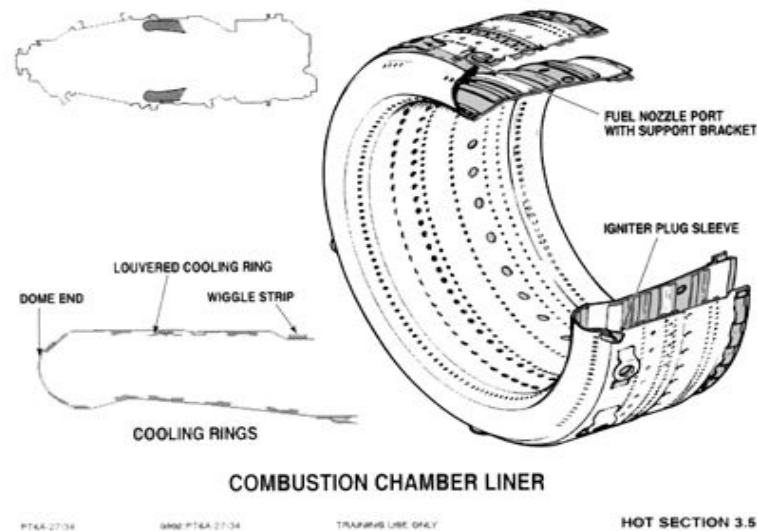
➤ Câmara de Combustão

A seção de combustão do motor está contida na parte dianteira da carcaça geradora de gases, e consiste de uma camisa de combustão, de forma anular de fluxo reverso, construída com uma liga de aço resistente a altas temperaturas, fechada de forma cupular na sua extremidade dianteira e aberta na sua parte traseira.

O ar penetra no interior da camisa através de orifícios de configurações variadas, a fim de misturar-se ao combustível vindo dos injetores, para obter-se a relação ideal ar/combustível necessária a uma combustão contínua e adequada para o perfeito funcionamento do motor em todos os regimes de operação. A camisa ainda possui uma grande quantidade de pequenos orifícios alhetados internamente, que tem por finalidade permitir a entrada de ar para formar uma camada isolante que evita o contato direto da chama com a camisa da câmara.

A parte traseira da camisa da câmara é encaixada em duas peças de aço que estão fixadas ao motor e formam um duto convergente de saída, que inverte o fluxo de gases em expansão, mudando a sua direção em 180°, e desta forma dirigindo-o para descarga sobre os estatores e turbinas do compressor. A extremidade dianteira da câmara é suportada no interior da carcaça geradora de gases, pelas blindagens dos 14 injetores de combustível e pelas 2 velas de ignição.

Figura 96



✓ Anéis de Lâminas Guia (ESTATORAS) das Turbinas do Compressor e de Potência

Os estatores são anéis de lâminas guias fixas construídas com aço resistente a altas temperaturas, que tem por finalidade, orientar os gases provenientes da câmara de combustão, para que incidam contra as palhetas das turbinas a um determinado ângulo, de forma que haja o melhor aproveitamento da energia dos gases em expansão.

Alguns modelos dos motores PT6A são equipados com refrigeração interna nas lâminas guia do estator da turbina do compressor, que é obtida por perfurações onde circula ar proveniente do compressor (P3). O conjunto de lâminas estatoras da turbina do compressor, é equipado com segmentos de ajustagem aerodinâmica (“SHROUDS”) posicionados no seu anel suporte, que atuam como vedação aerodinâmica e permitem estabelecer a folga correta para o funcionamento da turbina do compressor.

Figura 97



✓ Turbina do Compressor(C.T.)

A turbina de acionamento do compressor é constituída de um disco central e de palhetas periféricas. O conjunto é balanceado para evitar vibrações no motor. O disco possui flanges na parte dianteira e traseira para colocação de rebites especiais durante o processo de balanceamento. A turbina aciona o compressor na seção geradora de gases, no sentido anti-horário. O conjunto da turbina é acoplado ao cubo fronteiro do compressor por meio de estrias, e seguro por um parafuso especial. Uma estria mestra assegura a montagem do disco sempre na mesma posição predeterminada de modo a manter o balanceamento do conjunto.

As palhetas em nº de 58 da turbina do compressor são encaixadas nas ranhuras em formato de pinheiro (*fir-tree*) na periferia do disco e são presas em posição por meio de pinos tubulares individuais. As palhetas são fundidas em aço especial resistente a altas temperaturas, e possuem as pontas “chanfradas” (*Squealer Tip*).

Figura 98

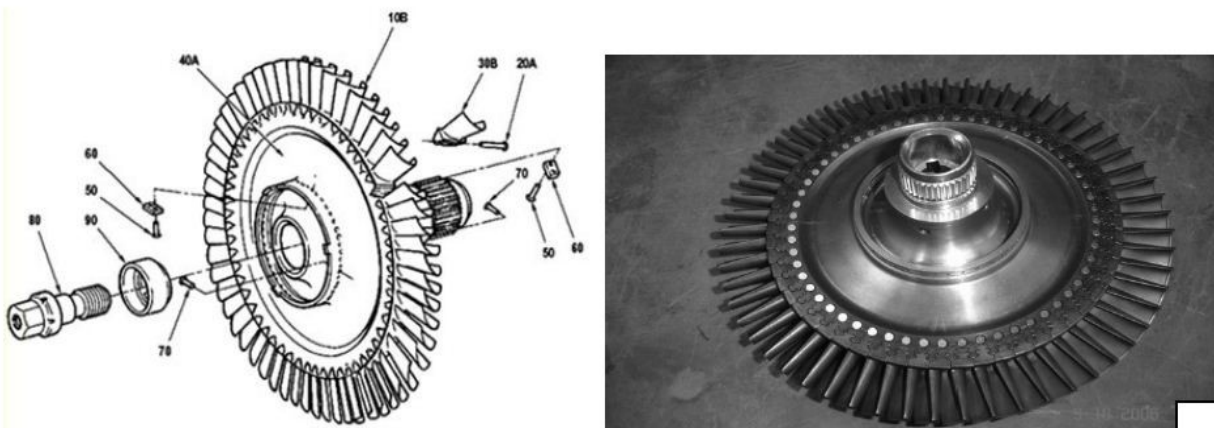
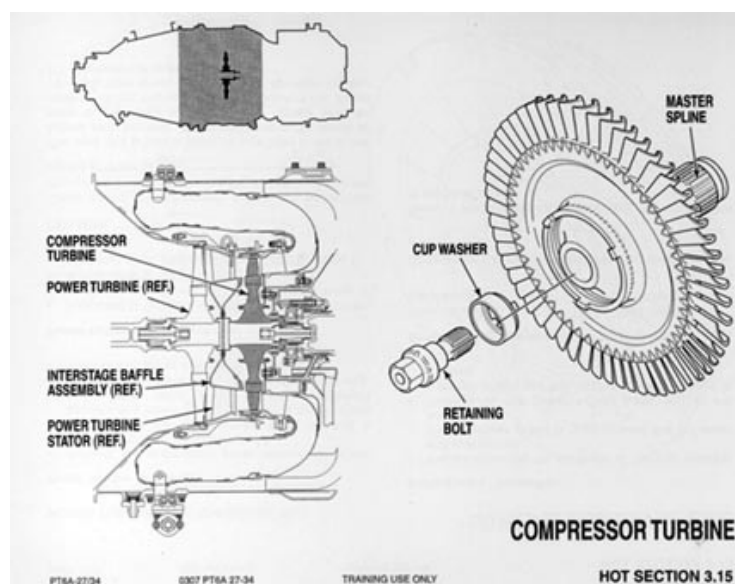


Figura 99



✓ Alojamento, Eixo e Turbina de Potência (P.T.)

O conjunto da turbina de potência consiste de um disco e 41 palhetas, distribuídas em sua periferia, e são de perfis e tamanhos diferentes daquelas usadas na turbina do compressor.

São fundidas em liga especiais sujeitas às altas temperaturas e possuem entalhes para interfixação em suas pontas, sendo encaixadas nas ranhuras do disco em formato de pinheiro (*fir-tree*) e são retidas em posição por meio de pinos tubulares especiais.

O disco da turbina incorpora um flange na face traseira para colocação de rebites especiais durante o processo de balanceamento. O conjunto é acoplado nas estrias da extremidade traseira do seu respectivo eixo e preso em posição por um parafuso especial e uma arruela copo.

Uma estria mestra garante a reinstalação na mesma posição, caso seja necessário sua remoção mantendo seu balanceamento original. Na ponta das palhetas há um filete e este se torna contínuo e circunferencial após a montagem de todas as palhetas no disco. A finalidade deste filete é a de prover a vedação na ponta das palhetas quando o motor estiver funcionando.

Os conjuntos rotativos da turbina e eixo devidamente balanceado são suportados no respectivo alojamento por meio dos rolamentos 3 e 4 dos tipos roletes e esferas respectivamente. O alojamento consiste de uma peça cilíndrica fabricada em aço e fixada na parte traseira da carcaça traseira da caixa de redução.

Figura 100

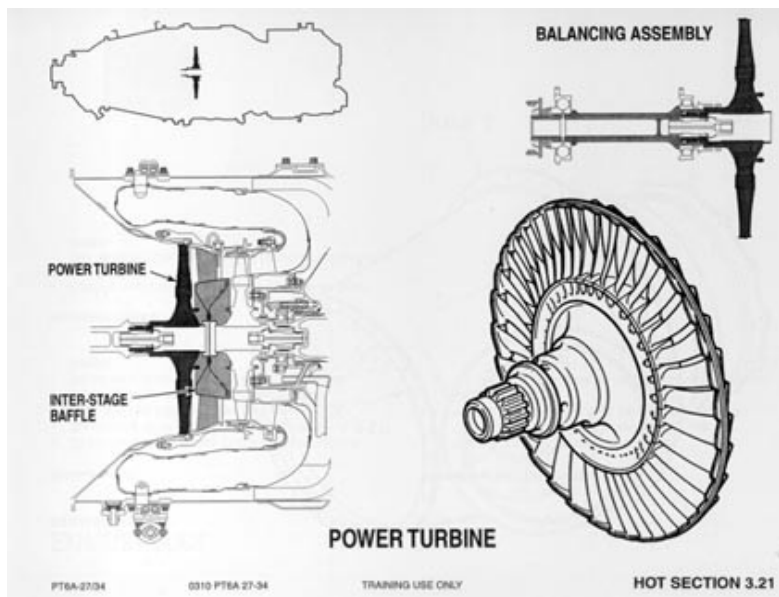
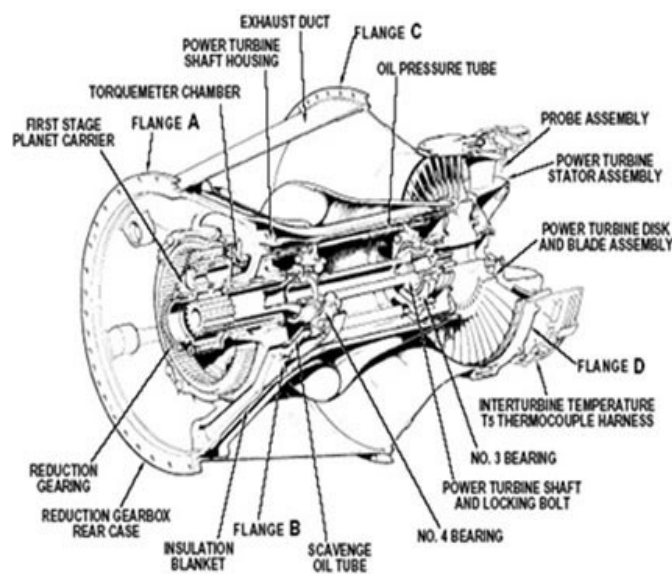


Figura 101



✓ Caixa de Redução

A caixa de redução reduz de 15:1 a velocidade da turbina de potência de 33.000 RPM para 2200 RPM com 100% de NH. Também provê o acionamento do governador principal, governador de sobrevelocidade e tacogerador de NH. Provê um indicador do sistema de torque, contém uma área para o recolhimento do óleo, possui o chip detector (detector de limalhas) e possui dois rolamentos (nº 5 e nº 6).

A caixa redutora, constituída de dois estágios, está localizada na parte dianteira do motor e é formada por duas carcaças fundidas em liga de magnésio, fixadas ao flange dianteiro do duto de descarga

(Flange “A”). O primeiro estágio de redução (3:1) é montado na carcaça traseira e está ligada a turbina de potência por meio de um eixo.

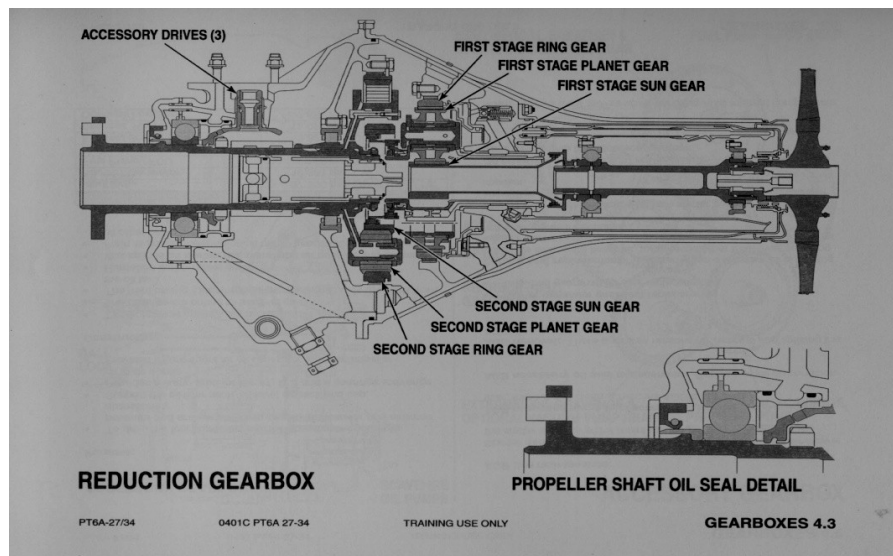
O movimento da turbina de potência é transmitido através do seu próprio eixo a engrenagem solar do primeiro estágio de redução. A engrenagem solar consiste de um eixo curto e oco, estriado na sua extremidade traseira e provido na sua parte dianteira de uma engrenagem de dentes retos, que aciona as três engrenagens planetárias do primeiro estágio, ligadas entre si por uma aranha.

Um eixo de acoplamento, estriado internamente, conecta a extremidade traseira do eixo da engrenagem solar ao eixo da turbina de potência. Uma engrenagem anular está acoplada na carcaça traseira da seção redutora por meio de estrias helicoidais. A rotação da turbina de potência é transmitida através da engrenagem solar e das três planetárias para a engrenagem anular que impossibilitada de girar provoca a rotação das planetárias e da aranha que as conectam.

A engrenagem anular ainda que presa e impossibilitada de girar desloca-se para comandar o sistema de medição de torque do motor. O segundo estágio de redução (5:1) está montado na carcaça dianteira, na caixa de redução, são acionados por uma engrenagem cônica montada no eixo da hélice, atrás do rolamento de esfera nº 6. A engrenagem cônica aciona três engrenagens também cônicas e estas por sua vez movimentam os acessórios acima, mencionados que são: governador de hélice, tacogerador de NH e governador de sobrevelocidade. As cargas axiais da hélice são da caixa redutora. A aranha das engrenagens planetárias do primeiro estágio é fixada à engrenagem solar do segundo estágio por meio de um acoplamento flexível que serve para amortecer as vibrações entre os dois conjuntos rotativos. A engrenagem solar do segundo estágio aciona cinco engrenagens planetárias ligadas entre si por uma aranha. Uma segunda engrenagem anular com dentes retos na sua periferia está acoplada na carcaça dianteira em estrias também retas. A engrenagem anular impossibilitada de girar provoca a rotação das cinco planetárias e da aranha que as conectam. O eixo da aranha do segundo estágio é acoplado por meio de estrias ao eixo da hélice.

Os acessórios, localizados absorvidas pelo rolamento nº 6 que está localizado na carcaça dianteira da caixa de redução. A tampa do rolamento, fixada à face dianteira da carcaça, incorpora um retentor de óleo (selo da hélice), removível a fim de facilitar sua substituição.

Figura 102



✓ Sistema de Lubrificação

➤ Descrição Geral

O sistema de lubrificação do motor foi concebido de forma a fornecer um fluxo constante de óleo limpo aos rolamentos, engrenagens de redução, torquímetro, hélice e a todas as engrenagens dos comandos dos acessórios do motor. O óleo lubrifica e arrefece os rolamentos, transportando as matérias estranhas em suspensão para o filtro principal onde ficam retidas. Injetores calibrados dirigem a quantidade correta de óleo aos rolamentos, garantindo um fluxo adequado para todas as condições de operação do motor.

Uma bomba principal de pressão fornece o óleo para a seção de acessórios e através de um tubo de transferência externo, para a seção do gerador de gases e caixa de redução.

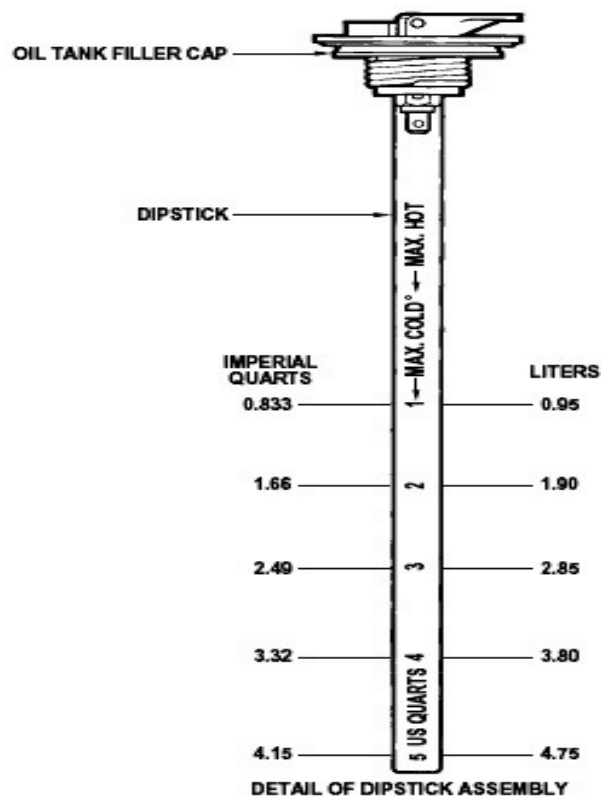
✓ Tanque de Óleo

O tanque de óleo é parte integrante da carcaça de admissão do compressor e está localizado entre esta e a carcaça da caixa de acessórios. A sua capacidade total é de 8,74 litros, dos quais 5,68 litros é a quantidade utilizável. Esta capacidade provê um espaço de 2,26 litros para a expansão térmica.

O tanque de óleo é provido de um bocal para abastecimento, cujo bujão incorpora uma vareta medidora graduada, localizada na posição de onze horas na carcaça caixa de comando dos acessórios. As marcações na vareta correspondem a 1/4 de galão U.S. e indica a quantidade de óleo em quartos de galão, necessária para encher o tanque ao nível adequado.

A marcação superior da vareta (MAX. HOT) indica o nível correto quando o óleo se encontra quente. A segunda marcação (MAX. COLD) indica o nível correto quando o óleo se encontra frio.

Figura 103



Um dispositivo de suspiro e sangria do óleo localizado no ponto mais alto do tanque, evita a inundação da caixa de acessórios do tanque. Um bujão na parte inferior do tanque facilita a drenagem do óleo.

✓ Bomba de Óleo

O óleo sob pressão é enviado para circulação a partir do tanque, através do sistema de lubrificação do motor, por uma bomba de engrenagens localizada no interior do tanque de óleo.

A bomba de óleo consiste de um alojamento, que contém duas engrenagens, sendo uma delas comandada por uma das engrenagens da caixa de acessórios.

O corpo da bomba de pressão de óleo possui um suporte de apoio anular que acomoda uma válvula de retenção, localizada na extremidade interior do alojamento do filtro principal. Um segundo suporte no corpo da bomba acomoda a válvula de alívio de pressão. Na parte inferior do conjunto da bomba, uma tela protege o bocal de admissão de óleo.

✓ Conjunto do Filtro de Óleo

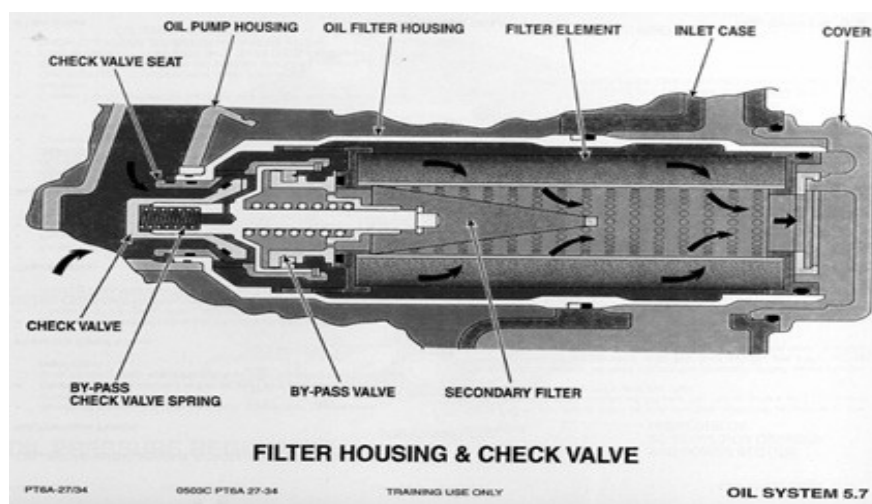
O conjunto do filtro de óleo, localizado na posição 3(três) horas da carcaça de admissão do compressor, consiste de um elemento filtrante metálico, tipo cartucho removível e descartável, que se

encontra dentro de um alojamento, também removível e que incorpora duas válvulas, sendo uma de retenção e outra de derivação.

A válvula de retenção evita o escoamento de óleo do tanque para o motor, quando este estiver parado, e permite a troca de elemento do filtro sem que, haja necessidade de proceder à drenagem prévia do tanque.

A válvula de derivação, normalmente fechada, abre quando o elemento filtrante fica de tal forma obstruída que provoque um aumento de pressão do óleo para além de um valor preestabelecido fazendo com que o óleo seja fornecido ao motor sem ser filtrado.

Figura 104



✓ Sistema de Pressão

A pressão do sistema é controlada por uma válvula de alívio de pressão do tipo pistão, alojado na parte superior do corpo da bomba, que mantém a pressão do óleo dentro de uma faixa de valor pré-determinado, sendo que o óleo em excesso desta pressão é devolvido ao tanque. A válvula de alívio de pressão é fixada ao corpo da bomba por um anel de retenção, podendo ainda este conjunto ser removido através do alojamento do conjunto do filtro.

O valor de pressão é regulado através da variação da quantidade de arruelas calço que modificam o valor de tensão da mola interna da válvula. O óleo para a lubrificação das engrenagens de comando dos acessórios e de seus rolamentos é levado a partir do filtro de óleo, através de passagens internas e tubos de transferência, ao diafragma da caixa de acessórios.

Para a lubrificação do rolamento nº1, o óleo é conduzido por uma passagem interna fundida na carcaça de entrada de ar passando ainda por um filtro, junto ao injetor, montado na parte central da carcaça, que o pulveriza sobre o conjunto do rolamento.

Os demais rolamentos, a caixa de redução, o torquímetro e o sistema de controle de rotação da hélice recebem o óleo proveniente do filtro através de uma passagem interna que o conduz a um cotovelo de saída localizado na posição 5h na base do tanque de óleo. Uma tubulação externa ligada a este ponto dirige o óleo até a parte frontal do motor e ainda por uma ligação intermediária a esta, um tubo interno canaliza o óleo por um filtro junto a dois injetores que fazem a pulverização sobre o rolamento nº2.

Na seção redutora o óleo é distribuído por três ramificações internas. A primeira o canaliza para a lubrificação dos rolamentos nº3 e 4, engrenagens do 1º estágio e o torquímetro. O óleo passando por um filtro fino interno, é conduzido por um tubo montado na parte superior interna da capa do eixo da turbina de potência onde 4 injetores fazem a pulverização. Dois deles estão colocados junto às duas faces do rolamento nº3, para assegurar a necessária refrigeração e lubrificação.

Os dois outros injetores proveem a lubrificação do rolamento nº4 e a lubrificação adicional do acoplamento da engrenagem solar do 1º estágio. O óleo ainda é conduzido por uma válvula reguladora que controla o fluxo para a câmara do torquímetro. A segunda ramificação canaliza o óleo para a lubrificação das engrenagens do 2º estágio de redução e ainda através de um injetor fixado na parte traseira da luva de transferência de óleo da hélice, o fluxo é dirigido para a parte central do rolamento nº4, onde passagens localizadas na pista interna o conduzem por ação centrífuga para a lubrificação do conjunto do rolamento.

A terceira passagem fornece o óleo através de canais internos, para o governador da hélice, engrenagens de comando dos acessórios e para o rolamento nº6. A lubrificação do rolamento nº5 é feita por uma névoa de óleo.

✓ **Sistema de Retorno**

O sistema de retorno é composto por quatro bombas do tipo engrenagem, montada duas a duas, sendo que um conjunto é fixado no interior da caixa de acessórios e outro externamente, todas comandadas pela caixa de acionamento dos acessórios. O óleo proveniente do rolamento nº1 retorna por gravidade, através de passagens internas, para caixa de acessórios.

A recuperação do óleo utilizado na lubrificação do rolamento nº2 é feita por uma da bomba interna dianteira que o conduz para a caixa de acessórios. No interior da caixa de acessórios, antes da bomba existente ainda uma válvula de derivação. A bomba externa dianteira recupera o óleo dos rolamentos nº3 e 4, que é dirigido até a parte dianteira da seção redutora por tubos internos e a partir deste ponto por tubulação externa é levado até a bomba que o conduz ao interior da caixa de acessórios.

Na parte frontal inferior da seção redutora, uma tubulação externa coleta, e conduz até a bomba de recuperação externa traseira, o óleo já utilizado nos rolamentos nº5 e 6, sistema do torquímetro e sistema de controle de passo da hélice, esta bomba envia o óleo diretamente para o radiador, por meio de uma

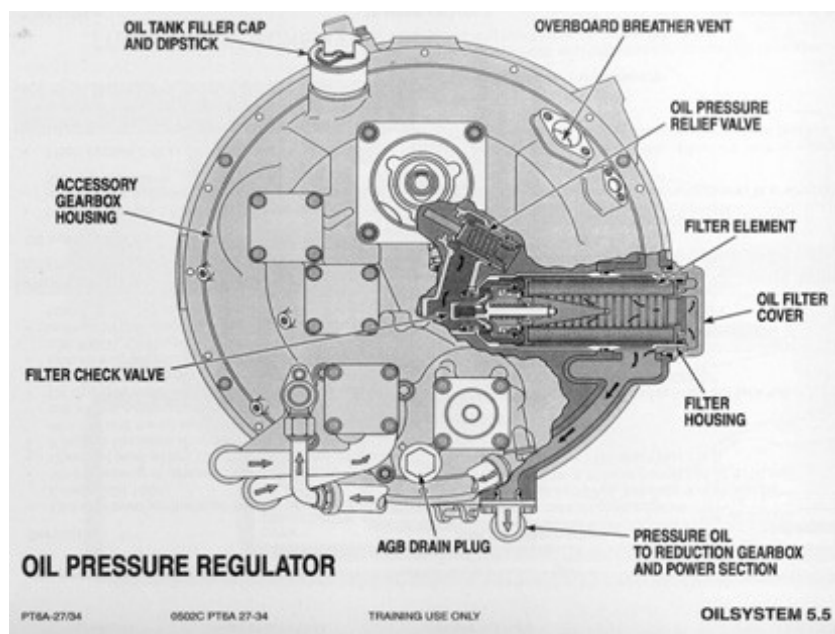
linha externa. Uma junção conecta esta linha com a bomba interna traseira, que coleta o óleo depositado no interior da caixa de acessórios. O óleo é enviado ao radiador sob pressão, e após o necessário arrefecimento, é retornado ao tanque de óleo.

✓ Sistema de Suspiro

O ar de suspiro dos diversos compartimentos dos rolamentos e da caixa de acessórios é expelido para a atmosfera por meio de um impelidor centrífugo localizado na caixa de acessórios. Os vários compartimentos são ligados à caixa através de passagens internas e pelas tubulações de retorno de óleo. A equalização da pressão de ar entre o tanque de óleo e a caixa de acessórios é obtida através de um dispositivo montado na parte superior do tanque de óleo que através de um tubo de passagem equilibra as pressões, evitando transferência de óleo do tanque para a caixa, quando o motor assume diversas atitudes durante manobras de voo, ou se houver abastecimento excessivo de óleo.

O impelidor centrífugo é fixado na extremidade posterior da engrenagem de comando do arranque gerador. O ar do suspiro flui radialmente para o centro do dispositivo, de onde é conduzido por uma passagem central do eixo de acionamento e, através de um tubo de transferência, para o exterior, enquanto o óleo mais pesado é projetado radialmente, caindo no fundo da caixa de comando de acessórios.

Figura 105



✓ Radiador de Óleo

O radiador de óleo, alojado na parte traseira do duto formado pela carenagem inferior do motor, é essencialmente um trocador de calor, cujo objetivo é promover a transferência do calor do óleo que circula dentro dos tubos do radiador, para a atmosfera. O radiador é constituído basicamente por dois

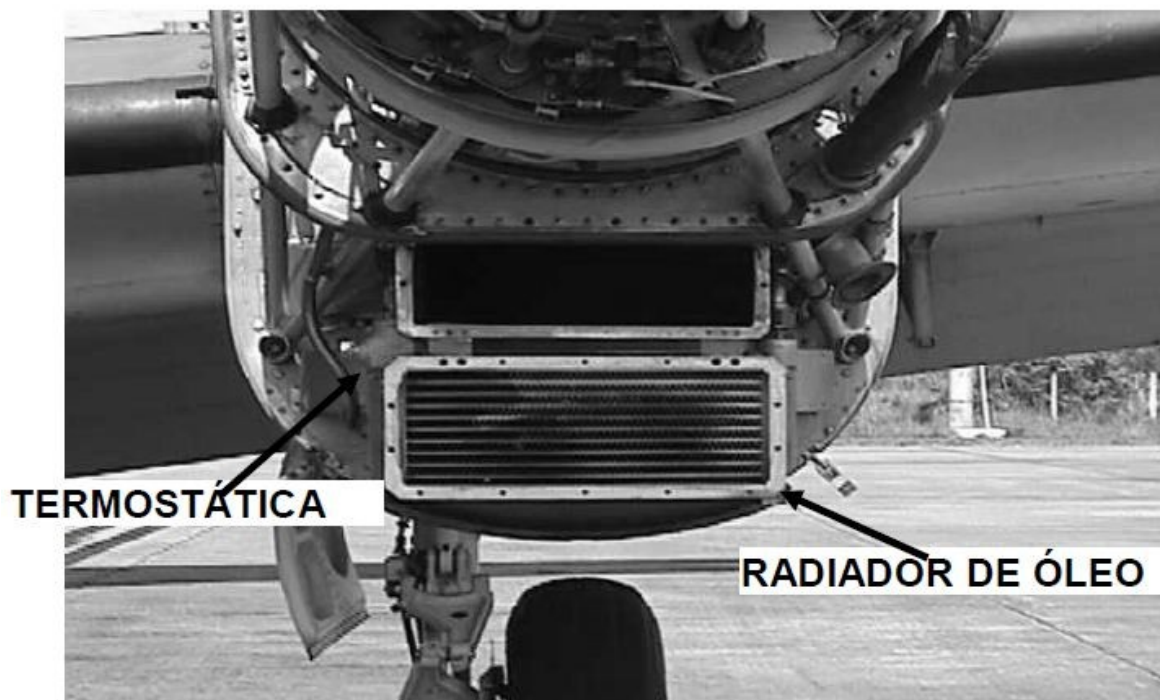
tanques coletores, um de entrada e outro de saída, ligados por um conjunto de tubos separados entre si por uma série de aletas, sendo estes elementos feitos de metal bom condutor de calor. O conjunto encontra-se ainda equipado com um tubo de derivação que liga os dois tanques coletores.

Uma válvula termostática, instalada junto ao coletor de saída, controla a passagem do óleo pelo tubo de derivação, de acordo com a temperatura do mesmo.

Quando o óleo se encontra com temperaturas inferiores a 60°C, esta válvula se encontra aberta permitindo que o óleo passe direto pelo tubo de derivação. Neste valor de temperatura a válvula começa a fechar, permitindo a circulação parcial do óleo através do radiador.

Aproximadamente 71°C, a válvula encontra-se totalmente fechada, o tubo de derivação é bloqueado e a circulação do óleo faz-se na totalidade através do radiador.

Figura 106



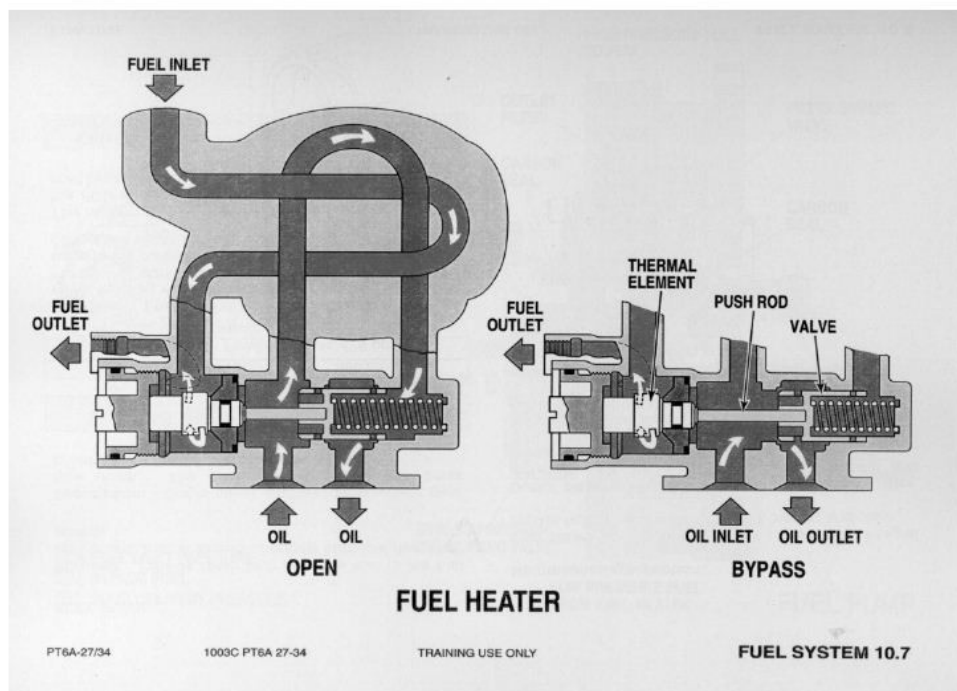
✓ **Aquecedor de Combustível**

O aquecedor de combustível é basicamente um trocador de calor, que utiliza o calor do sistema de lubrificação, para aquecer o combustível. O controle da temperatura do combustível é feito por uma válvula deslizante que permite o fluxo de óleo através do aquecedor ou que o interrompe, retornando-o ao tanque de óleo por meio de uma linha externa.

A válvula deslizante é comandada por um elemento térmico (“*VERNATHERM*”), que reage com a variação de temperatura do combustível, que consiste de um material altamente expansível, selado numa câmara metálica, a sua dilatação é transmitida a um pistão que desloca a válvula deslizante.

Quando o combustível atinge a temperatura de 21°C aproximadamente, inicia-se o fechamento da saída do óleo circulante e simultaneamente ocorre à abertura parcial da derivação para o tanque de óleo. Quando o combustível atinge a temperatura de 32°C, a saída do óleo circulante pelo aquecedor é fechada e a derivação para o tanque é totalmente aberta. Uma válvula de pressurização mínima, incorporada no circuito de óleo, antes do aquecedor, fecha quando a pressão de óleo desce abaixo de 40 PSI aproximadamente, evitando a ocorrência de óleo no aquecedor por molinagem do compressor, com o motor cortado em voo.

Figura 107



✓ Detector de Limalhas

Na posição 6 horas na carcaça da seção redutora, um bujão atua como dreno de óleo e como detector de limalhas. O acúmulo de limalhas provenientes das engrenagens da seção redutora, provoca o fechamento dos contatos do detector, que poderá estar ligado ao sistema de alarmes da aeronave.

Figura 108

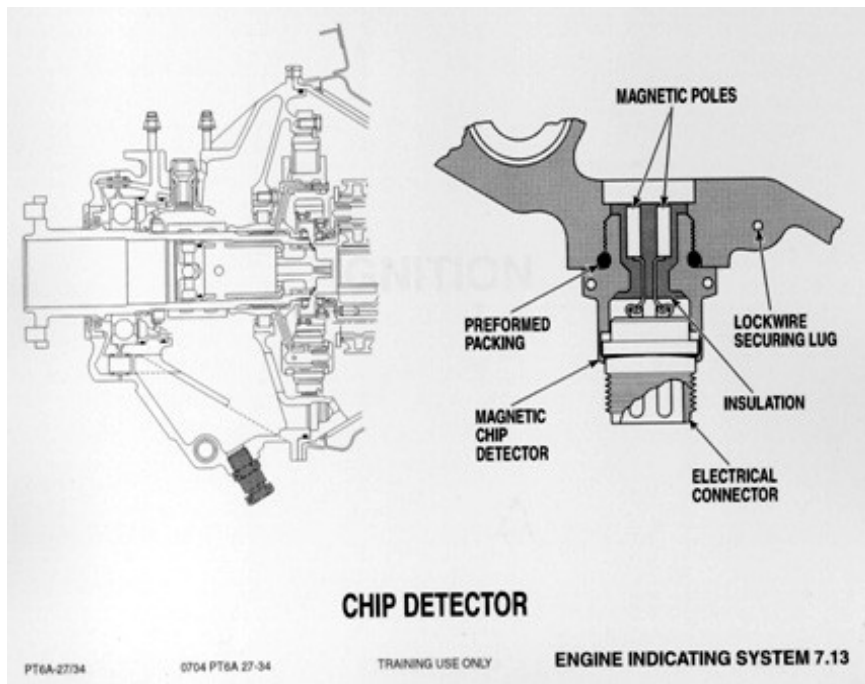
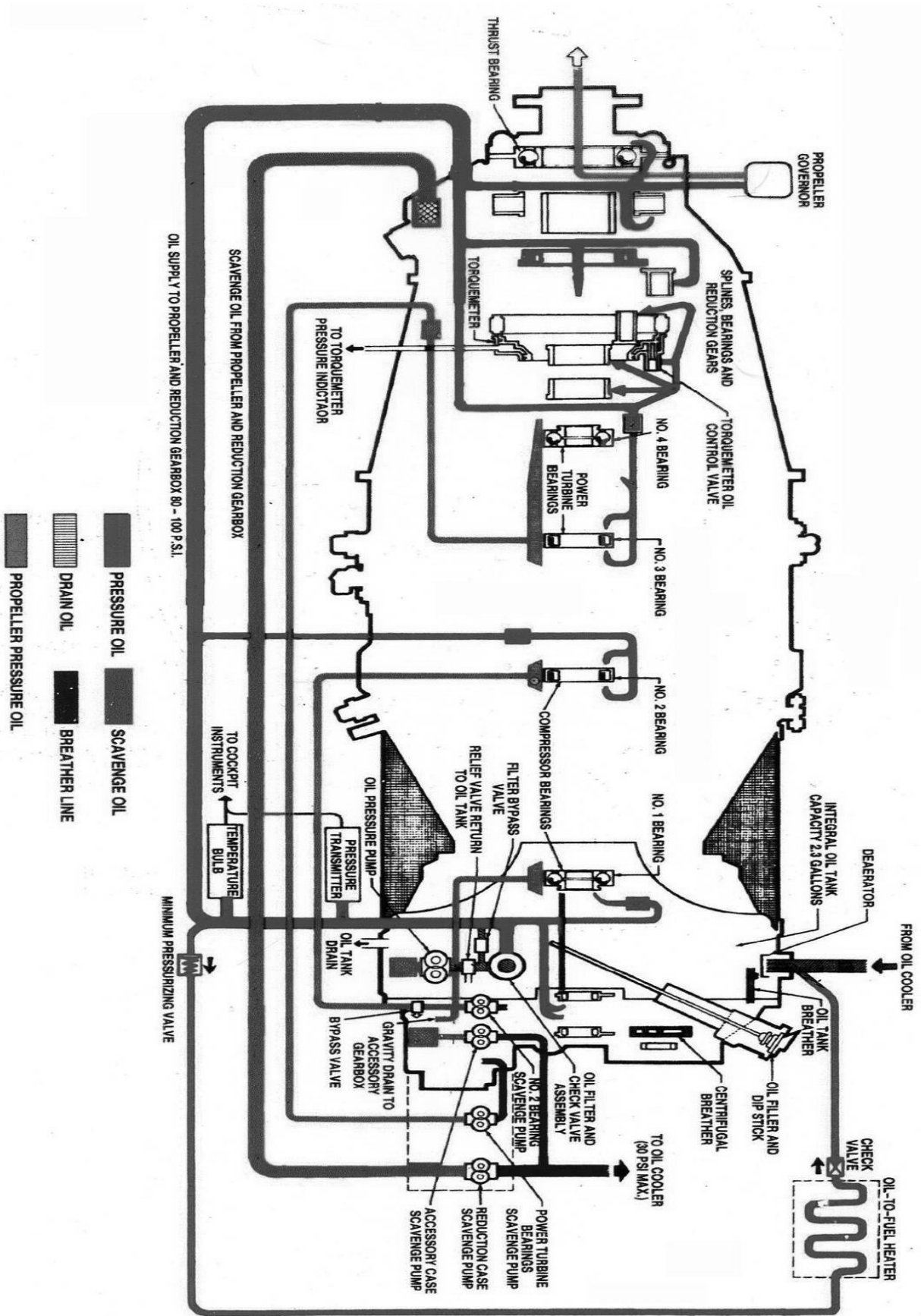


Figura 109



✓ Sistema de Combustível do Motor

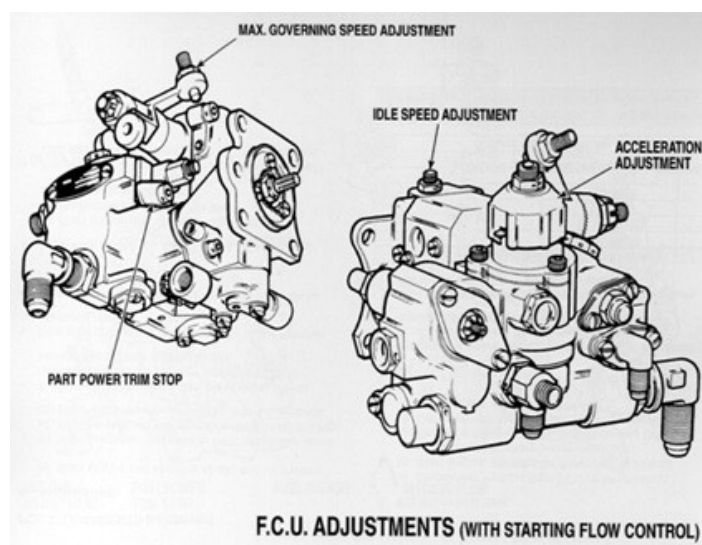
O sistema de controle de combustível consiste de um aquecedor de combustível, bomba, unidade controladora de combustível (F.C.U.), unidade controladora de partida (U.C.P.), duas linhas de alimentação, com 14 injetores “simples”, válvulas dreno de combustível e linhas sensoras pneumáticas.

✓ F.C.U. (UNIDADE De Controle De Combustível)

A unidade de controle de combustível (F.C.U.) encontra-se instalada na face traseira da bomba de combustível, e é acionada a uma velocidade proporcional a velocidade da turbina do compressor (NG). O F.C.U. determina a quantidade correta de combustível a ser fornecida ao motor para que este, por sua vez, forneça a potência exigida pelo comando enviado a partir da manete de potência. Isto é conseguido controlando a velocidade de rotação da turbina do compressor. A potência do motor é diretamente dependente da velocidade de rotação da turbina do compressor.

O F.C.U. é suprido com combustível pressurizado pela bomba.

Figura 110



✓ Bomba de Combustível

A bomba de combustível é do tipo de engrenagens, de um só estágio, e encontra-se instalada entre o F.C.U. e a caixa de acessórios do motor. É acionada diretamente pela caixa de acessórios, através de um eixo de acoplamento estriado.

Outro acoplamento estriado, na parte traseira da bomba, aciona a seção governadora do F.C.U., fornecendo o sinal de rotação (NG). Normalmente, a bomba admite o combustível proveniente da bomba de recalque (bomba elétrica da asa do avião), através de um filtro de 74 microns localizado na sua entrada, e descarrega o combustível sob pressão através de um filtro de 10 microns na sua saída. O filtro

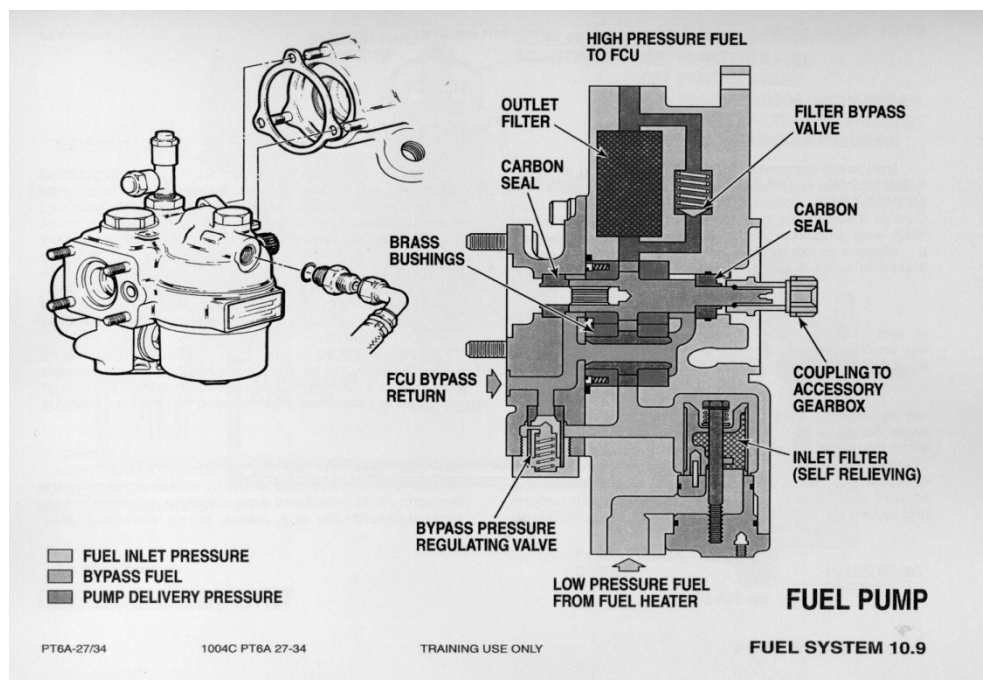
de entrada (tela) com capacidade de 74 microns que pode ser inspecionado e limpo. O filtro de saída (papel) de alta pressão com capacidade de 10 microns pode ser inspecionado e trocado. Os filtros possuem válvulas de derivação.

Os mancais da bomba são pressionados por meio de doze molas espirais e por pressão de combustível de retorno, que é controlada por uma válvula reguladora, que mantém uma pressão de 10 a 35 PSI, acima da pressão do combustível de admissão. Envia combustível sobre pressão para o F.C.U. A pressão de combustível de saída é de 850 psi com 1180 pph a 101,5% Ng e existe uma “bypass” em cada filtro, sendo que no de entrada abre com 1.5 PSID (diferencial) e o de saída 20 PSID (diferencial).

O máximo permitido para a bomba funcionar sem “booster” (bomba elétrica da asa do avião) é de 10 horas.

São verificadas nas inspeções de 150 horas quanto à presença de óxido de ferro, graxa azul e de vazamento na bomba mecânica de combustível.

Figura 111



✓ U.C.P. (UNIDADE de Controle de Partida)

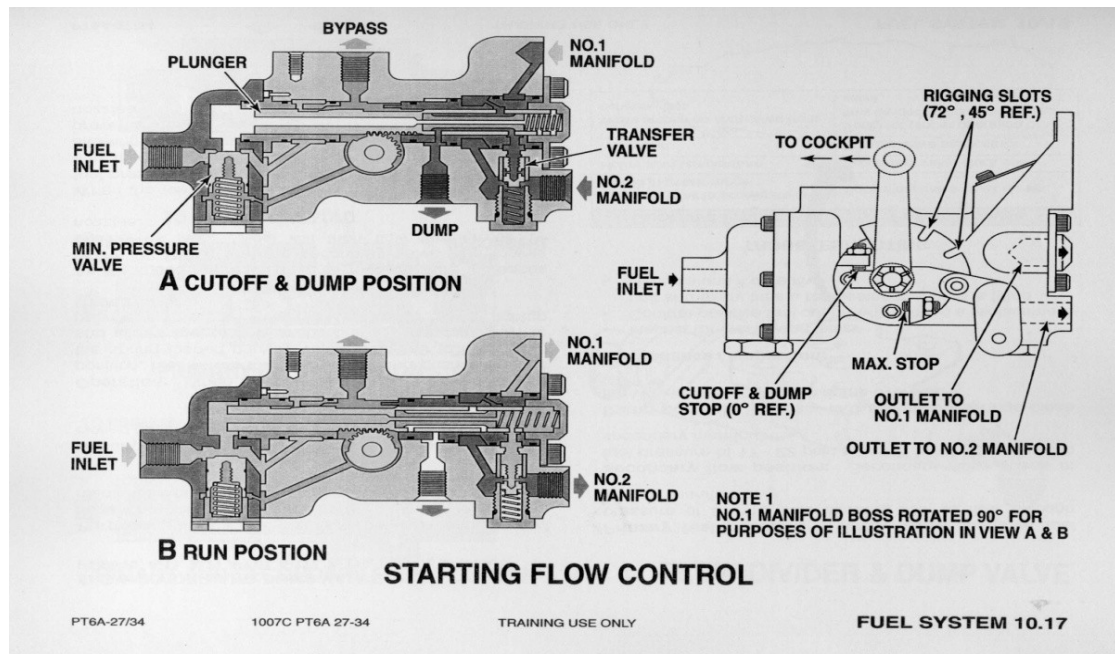
A unidade de controle de partida (U.C.P.) executa quatro funções:

- Permite que o combustível atinja uma pressão mínima necessária para a partida do motor;
- Atua como divisora de fluxo;
- Exerce o papel de válvula de corte e de abertura;

- Promove a drenagem de combustível.

A unidade de controle de partida (U.C.P.), localizada na caixa de acessórios do motor, tem a função de dividir o combustível em linhas primárias e secundárias, enviando-o aos bicos injetores.

Figura 112



✓ Linhas de Combustível e Injetores

As linhas de combustível, primária e secundária, fornecem um fluxo constante de combustível a alta pressão aos injetores primários e secundários.

O motor é equipado com quatorze (14) injetores sendo dez (10) primários e quatro (4) secundários. Os injetores do tipo “simples” são montados em adaptadores individuais interligados entre si por tubos de transferência de combustível.

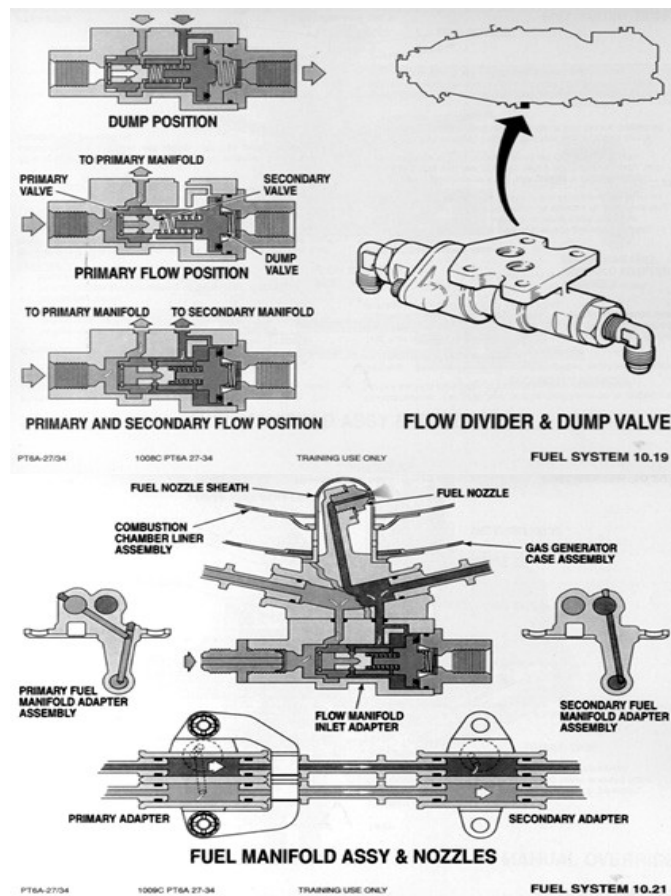
O conjunto do injetor é formado por um adaptador, um bico e uma blindagem. O adaptador possui na sua seção externa, ligação com as linhas de alimentação e na sua extremidade interna, projetado no interior da camisa da câmara, o bico, ambos introduzidos dentro da blindagem, que atua como barreira térmica. O bico é protegido por um filtro de tela fina e atomiza o combustível em redemoinho cônico para o interior da câmara.

O injetor é posicionado no adaptador de forma a produzir uma descarga contínua e tangencial em relação ao motor, na direção do próximo injetor. As blindagens possuem orifícios junto à base de fixação, que permitem a entrada de ar proveniente do compressor, provendo a refrigeração do bico injetor e auxiliando a atomização do combustível.

A camisa da câmara de combustão é suportada pelas blindagens dos injetores, que fixam firmemente a parte dianteira da câmara. Os adaptadores primários são identificados por dois pontos de solda na parte exterior, e os adaptadores secundários por um só ponto na parte exterior.

Combustível para os bicos primários (9 a 13 psig) aproximadamente 18% de NG e combustível para os bicos secundários (17 a 22 psig) aproximadamente 35% de NG.

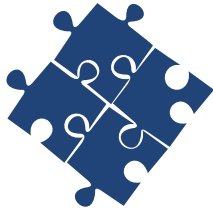
Figura 113



Vamos fazer
algumas anotações!

- ✓ Procure no conteúdo estudado as palavras-chave que melhor representam o que foi estudado até aqui.
- ✓ Faça uma lista dessas palavras-chave seguida de um breve comentário.
- ✓ A partir da leitura delas, tente reconstruir o que foi visto.

A partir de suas anotações, reconstrua com suas palavras todo o estudo em um ou dois parágrafos, ou



Está na hora
de resumir!

se referir, elabore um mapa mental ou um infográfico sobre o texto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tenho certeza que ao final deste módulo de motores de aviação, tenhamos atingido os nossos objetivos que eram conhecer as partes integrantes dos diversos tipos de motores de aeronaves, as suas funções e o seu funcionamento.

Com as saudações da Equipe do Berço dos Especialistas, sucesso em sua Missão!

REFERÊNCIAS

EMPRESA BRASILEIRA DE AERONÁUTICA. Manual de manutenção OT-C95-2-3.

MÓDULO DO CURSO DO PT6A DO PAMA-AF.

MÓDULO DA ESCOLA DE ESPECIALISTAS DE AERONÁUTICA. MOTOR PT6A.

MANUAL DE MANUTENÇÃO DA Pratt & Whitney CANADÁ.

CATÁLOGO DE PEÇAS DA Pratt & Whitney CANADÁ.

MÓDULO DO CURSO DO C-130 HÉRCULES.

MÓDULO DO CURSO DO A-1 AMX.

MÓDULO DO CURSO DA EEAR DE MOTOR A JATO.

