

Motores Térmicos

8º Semestre

4º ano

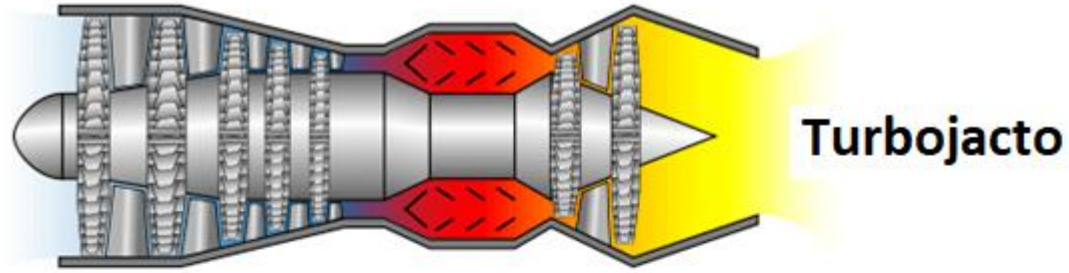
Aula 28. Motores de propulsão

- ▶ Introdução
- ▶ Motor Turbojacto
- ▶ Motor TurboFan
- ▶ Motor Pulso Jacto
- ▶ Motor Ramjet (Estado jacto)
- ▶ Motor Propjet
- ▶ Motor Scramjet
- ▶ Pós Combustor (Afterburner)

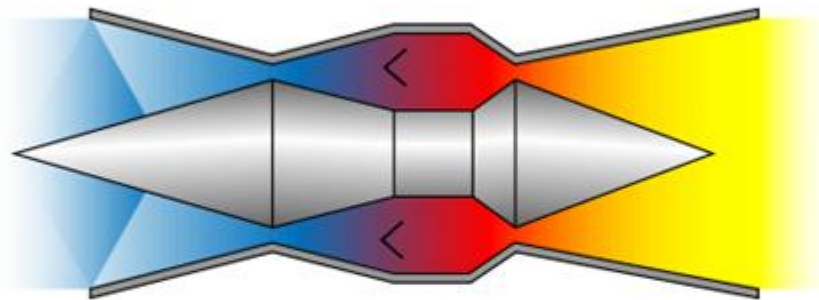
28.1 Introdução

Motores de propulsão utilizam o ar atmosférico capturado pela entrada do motor com o objectivo de oxidar o combustível e gerar empuxo. A grande vantagem destes motores consiste no facto deles não precisarem de carregar o oxidante e isso faz com que seja possível obter motores com maiores dimensões em relação aos motores nos quais se precisa carregar oxidante, como os motores de foguete. A função dos motores de propulsão é converter a energia química armazenada no combustível em energia mecânica necessária para fazer mover o veículo aéreo.

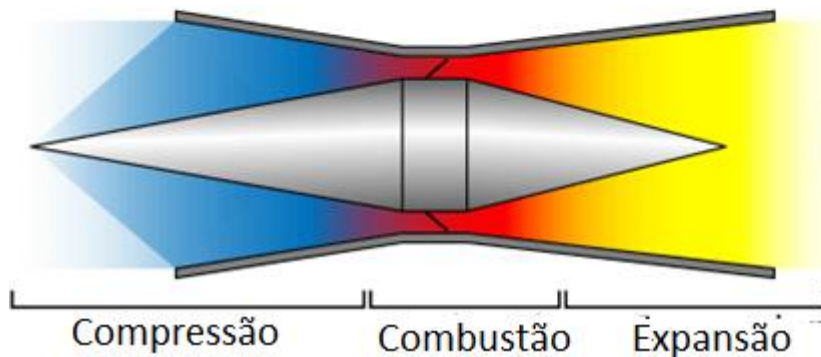
28.1 Introdução



Turbojacto



Ramjet



Scramjet

Compressão Combustão Expansão

A função dos motores de propulsão é converter a energia química armazenada no combustível em energia mecânica necessária para fazer mover o veículo aéreo.

Os tipos mais comuns de motores propulsão são: Turbojacto, Turbo-Hélice, Turbofan, Ramjet e o motor Scramjet.

28.1 Introdução

Os primeiros aviões construídos foram todos movidos a hélice, com hélices movidas por motores idênticos aos dos automóveis. O maior avanço na aviação comercial ocorreu com a introdução do motor turbo-jacto em 1952. Tanto os motores a hélice como os a jacto têm seus pontos fortes e fracos, e várias tentativas foram feitas para combinar as melhores características de ambos num só motor.

28.1 Introdução

Duas dessas modificações são o motor propjet e o turbofan.

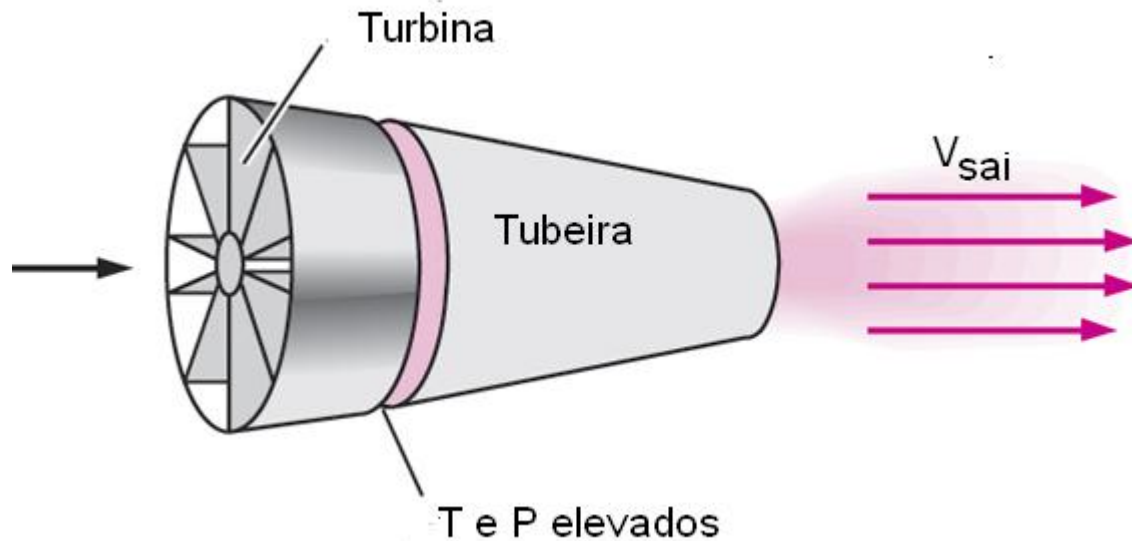
O motor mais amplamente utilizado na propulsão de aeronaves é o motor turbofan (ou ventilador a jacto), em que um grande ventilador accionado pela turbina força uma quantidade considerável de ar através de um ducto (carenagem) ao redor do motor.

28.1 Introdução

Os motores de turbinas a gás são geralmente usados para propulsar aviões devido a apresentarem uma alta potência específica.

As turbinas a gás de aviões funcionam num ciclo aberto denominado **Ciclo de Propulsão a Jacto** que difere do de Brayton pelo facto de os gases não serem expandidos da turbina até à pressão ambiente.

28.1 Introdução



$$Mach = \frac{V}{a}$$

Onde:

V - é a velocidade de escoamento (m/s)

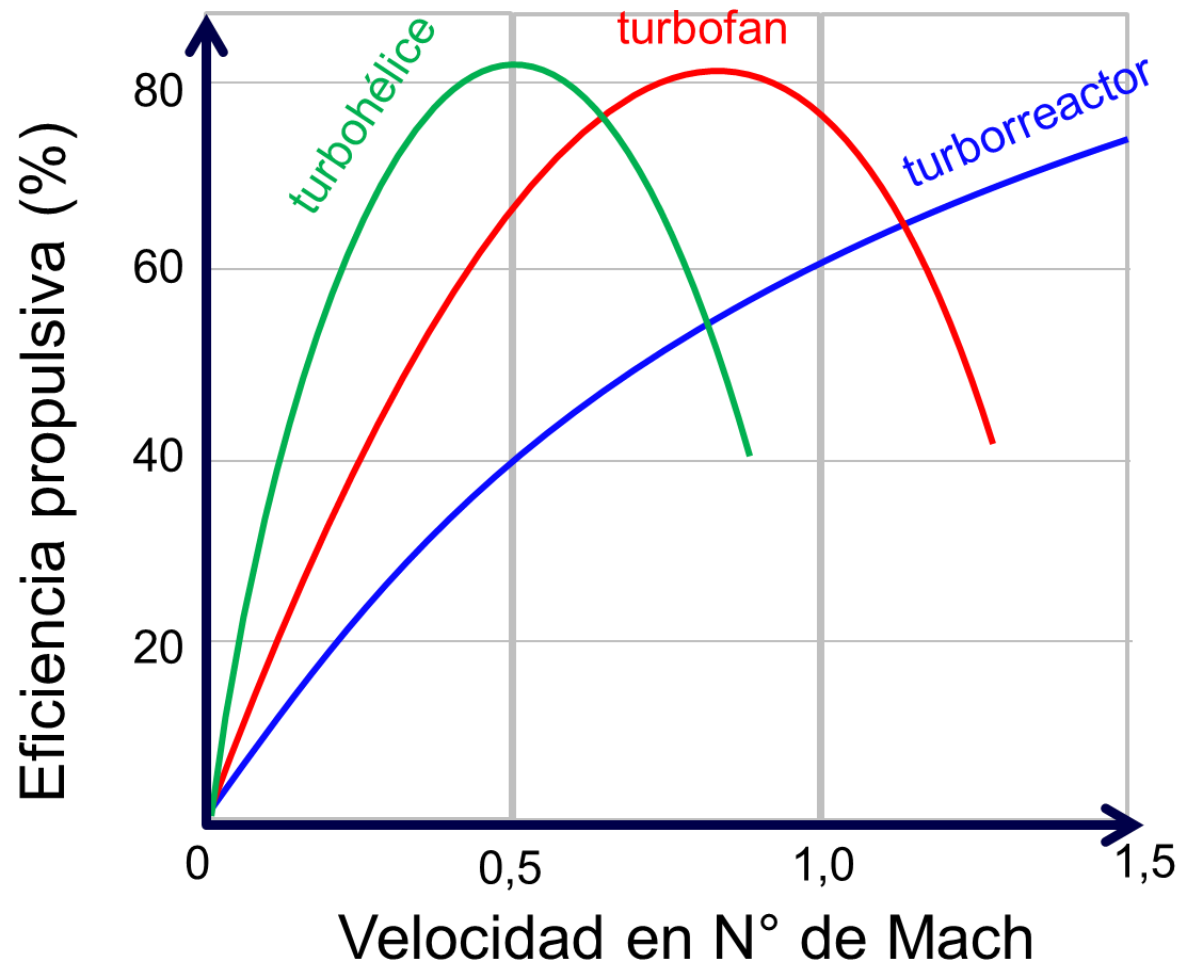
a – é a velocidade do som (m/s)

28.1 Introdução

De acordo com o **número de Mach**, os escoamentos podem ser classificados como: Subsónico, Transónico, Supersónico e Hipersónico

- ▶ $0 \leq Mach < 0,8$ escoamento subsónico
- ▶ $0,8 \leq Mach < 1,2$ escoamento transónico
- ▶ $1,2 \leq Mach < 5$ escoamento supersónico
- ▶ $Mach \geq 5$ escoamento hipersónico

28.1 Introdução

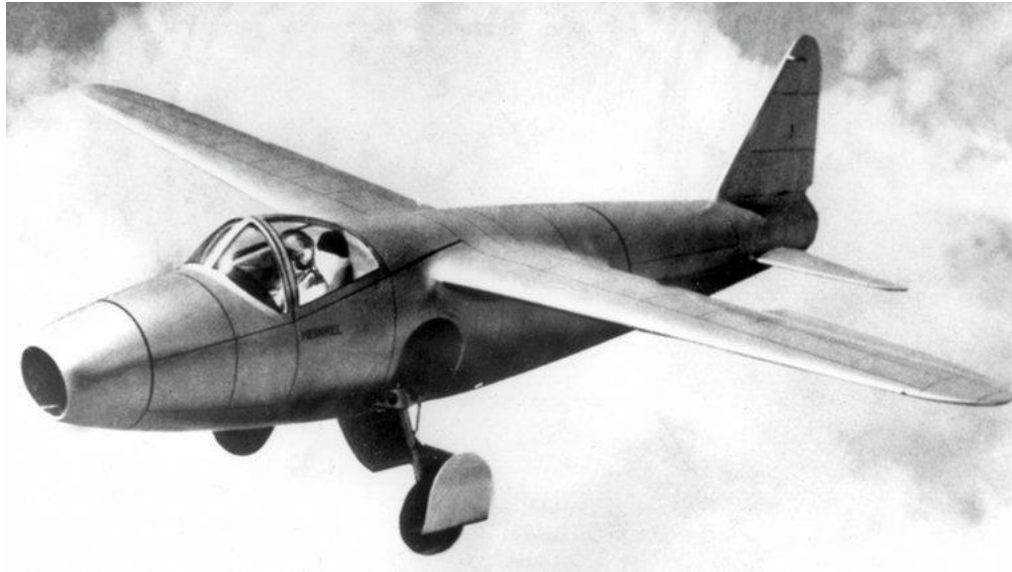


28.2 Motor Turbojacto

O turbojacto, ou turboreactor, é o tipo mais simples e mais antigo de motor a jacto para fins gerais. Dois engenheiros distintos, Frank Whittle, no Reino Unido, e Hans von Ohain, na Alemanha, desenvolveram independentemente o conceito durante o fim da década de 1930.

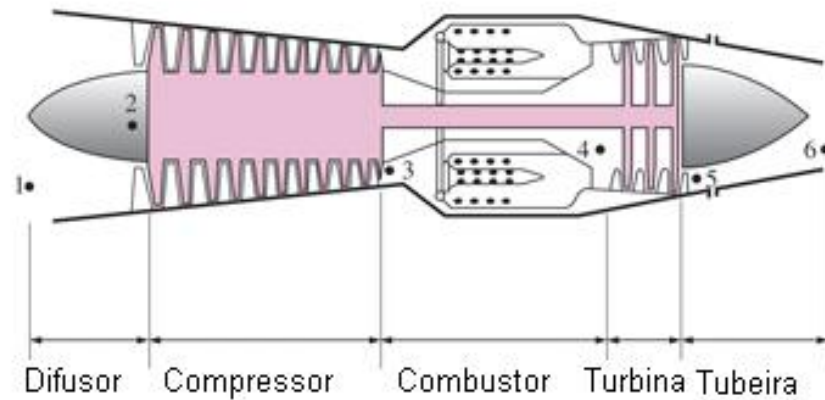
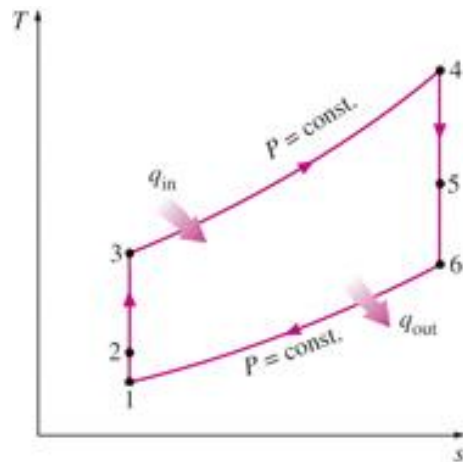
Em 27 de Agosto de 1939, o Heinkel He 178 se tornou o primeiro avião do mundo a voar sob a propulsão do turbojacto, transformando-se assim no primeiro avião funcional a jacto.

28.2 Motor Turbojacto



Heinkel He 178

28.2 Motor Turbojacto

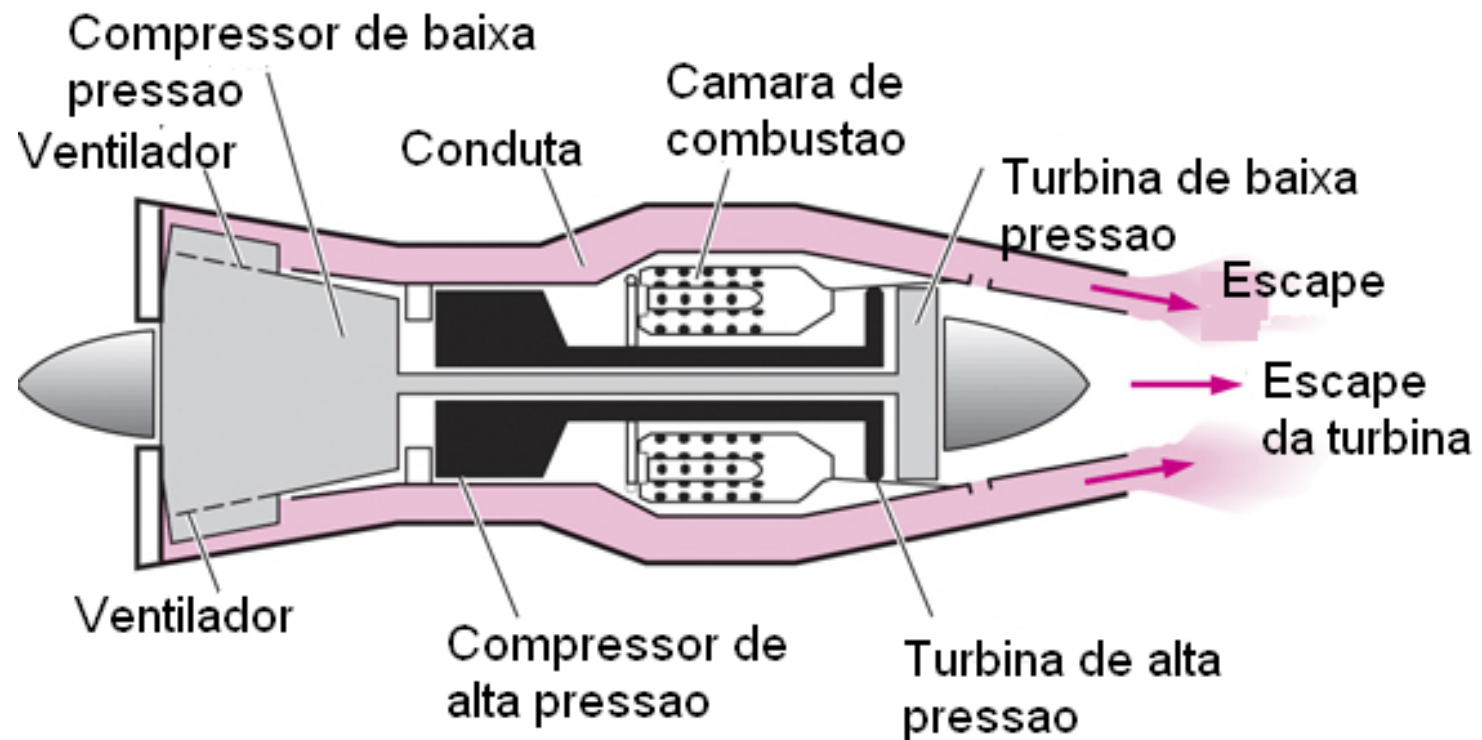


28.2 Motor Turbojacto

Um motor turbojacto é usado essencialmente na propulsão de aeronaves. Nele, o ar é introduzido no compressor giratório através da entrada e comprimido antes de entrar na câmara de combustão. O combustível é misturado com o ar comprimido e inflamado por uma faísca.

Este processo de combustão aumenta significativamente a temperatura do gás. Os produtos da combustão que saem do combustor expandem-se através da turbina, onde a potência é extraída para accionar o compressor. O fluxo de gás saído da turbina expande-se até à pressão ambiente através do bocal de propulsão, produzindo um jacto de alta velocidade à saída do motor.

28.2 Motor Turbofan

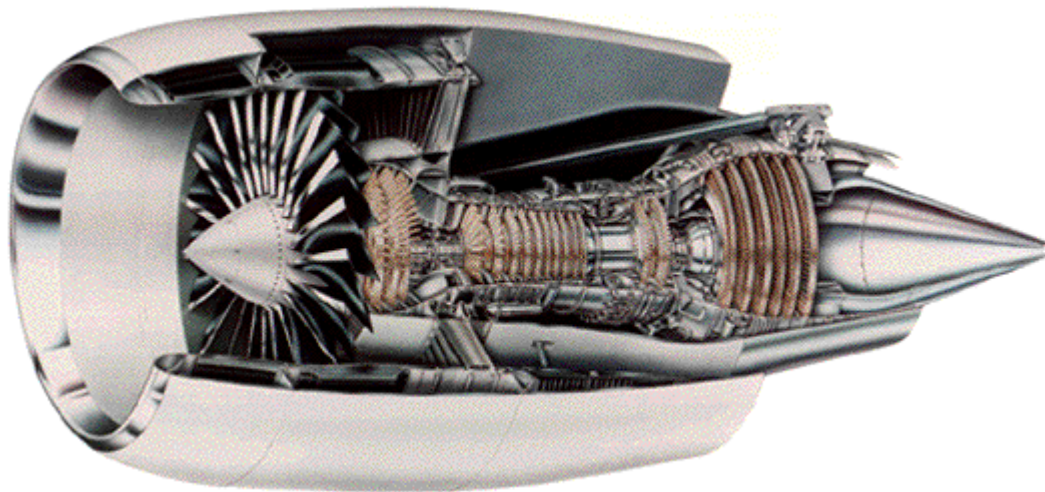


28.3 Motor TurboFan

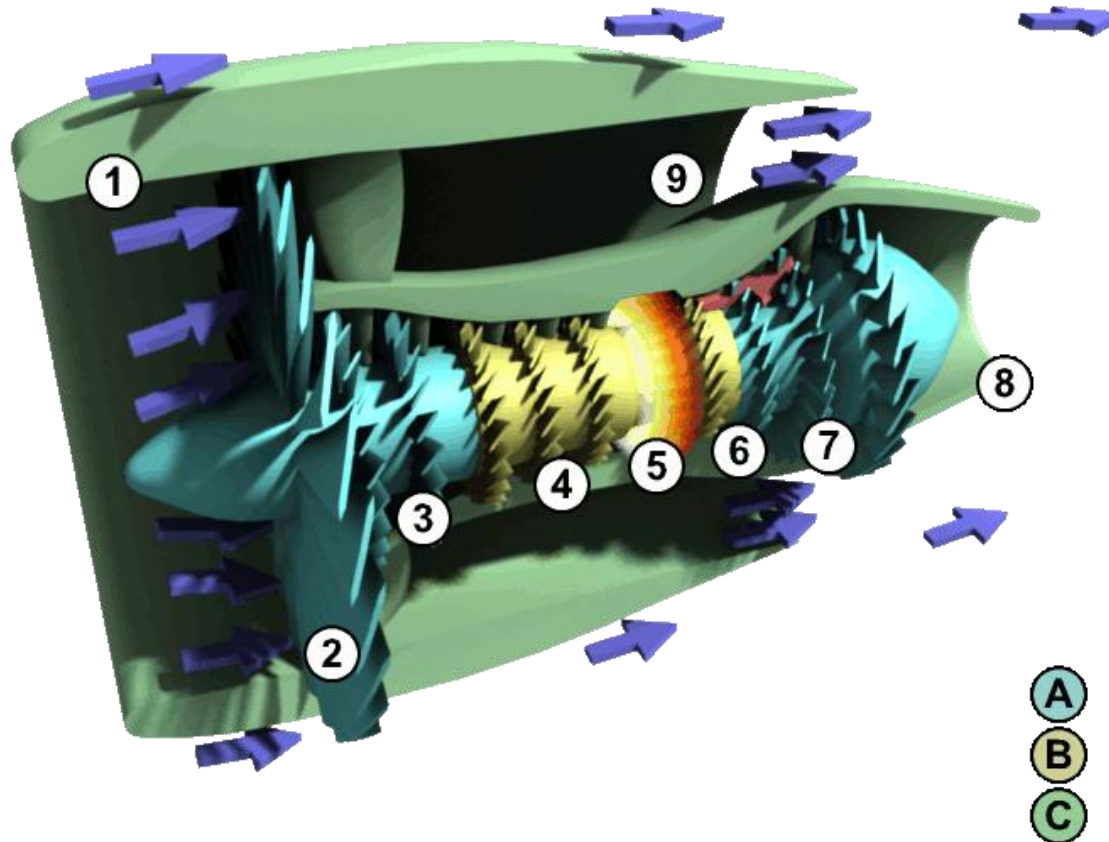
A exaustão do ventilador deixa o ducto a uma velocidade mais alta, aumentando significativamente a pressão total do motor. Um motor turbofan é baseado no princípio de que, para a mesma potência, um grande volume de ar em movimento mais lento produz mais impulso do que um pequeno volume de ar em movimento rápido. O primeiro motor turbofan comercial foi testado com sucesso em 1955.

O motor turbofan de um avião pode ser diferenciado do motor turbojato de baixo custo por seu capot que cobre o grande ventilador. Todo o impulso de um motor turbo-jato é devido aos gases de escape que deixam o motor aproximadamente ao dobro da velocidade do som.

28.3 Motor TurboFan



28.3 Motor TurboFan



1. Nacela
 2. Ventilador
 3. Compressor de baixa pressão
 4. Compressor de alta pressão
 5. Câmara de combustão
 6. Turbina de alta pressão
 7. Turbina de baixa pressão
 8. Bocal do núcleo
 9. Bocal do ventilador
- A
B
C

A: rotor de baixa pressão. **B:** rotor de alta pressão. **C:** componentes fixos

8.3 Motor TurboFan

Num motor turbo-fan, os gases de escape a alta velocidade são misturados com o ar a baixa velocidade, o que resulta numa redução considerável no ruído.

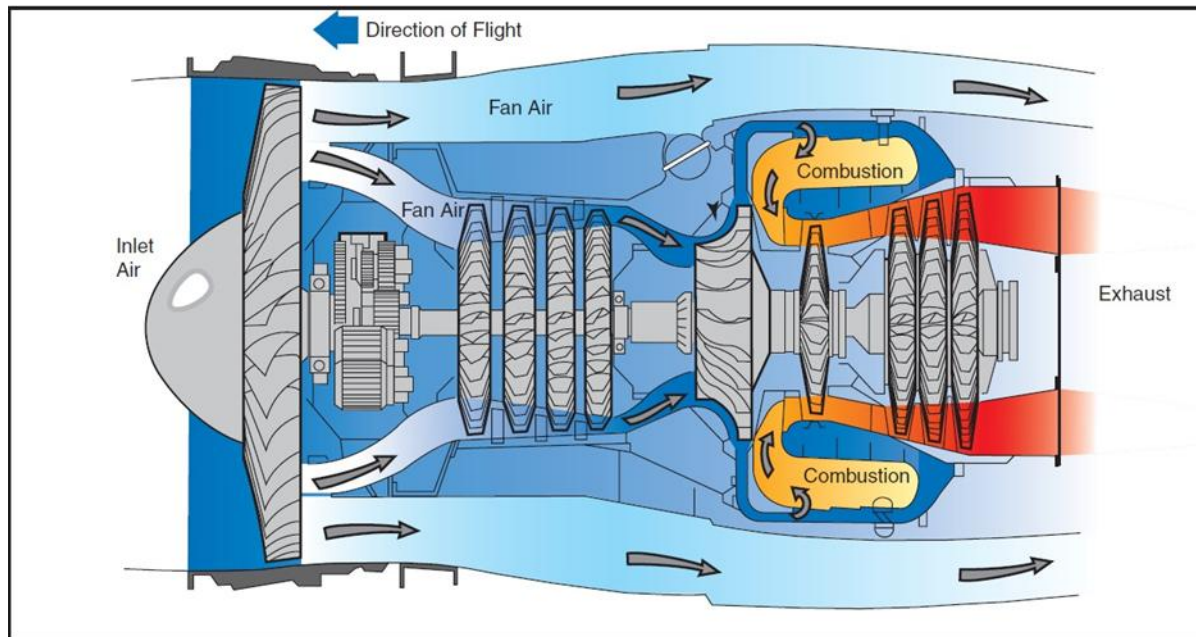
As novas técnicas de arrefecimento resultaram em aumentos consideráveis na eficiência, permitindo que a temperatura do gás na saída do queimador atinja mais de 1500°C , que é mais de 100°C acima do ponto de fusão dos materiais das pás da turbina.

Os motores turbofan merecem grande crédito pelo sucesso dos grandes aviões que pesam quase 400.000 kg e são capazes de transportar mais de 400 passageiros numa distância de 10.000 km à velocidades acima de 950 km/h, com pouco combustível por quilómetro-passageiro.

28.3 Motor TurboFan

Um Motor TurboFan, com turbina a gás conjunta com uma hélice multi-pá, com passo fixo, que utiliza o ar deslocado por estas pás que se direcciona através de um ducto convergindo em energia turbo. O “Fan” de turbo fan, significa a hélice multi-pá que tem a função de produzir uma compressão de ar em relação à pressão atmosférica. Este motor veio para elevar e melhorar o que existe de melhor no turbo a jacto e turbo hélice. Ele funciona com menos combustível e com ruídos sonoros bem menores que os motores turbo a jacto e turbo hélice. Este motor que possui um diâmetro menor comparado com as hélices, as multi-pás deslocam o ar com uma velocidade muito maior, dentro do ducto, o ducto do fan.

28.3 Motor TurboFan



28.3 Motor TurboFan

Entre a admissão e o escape do motor totalmente rotativo, eles são formados por:

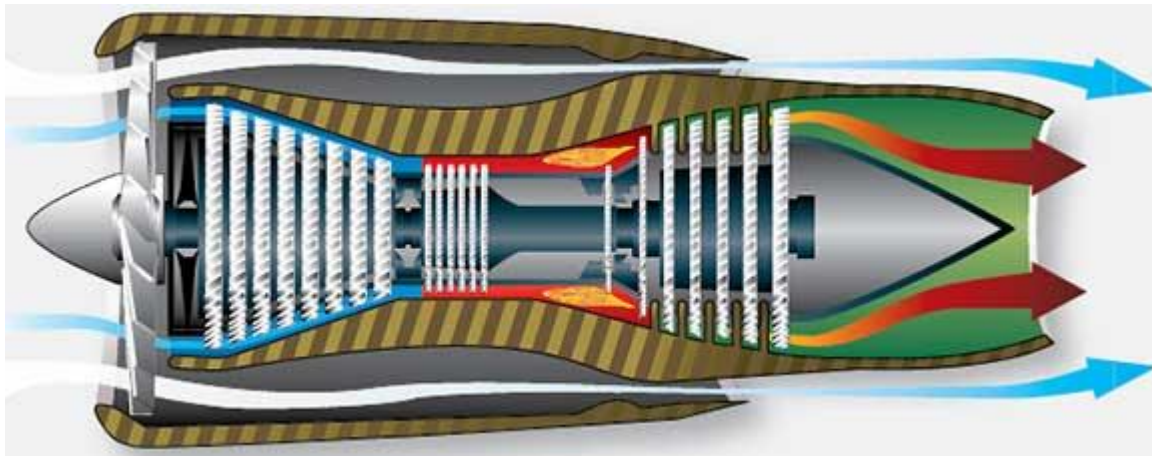
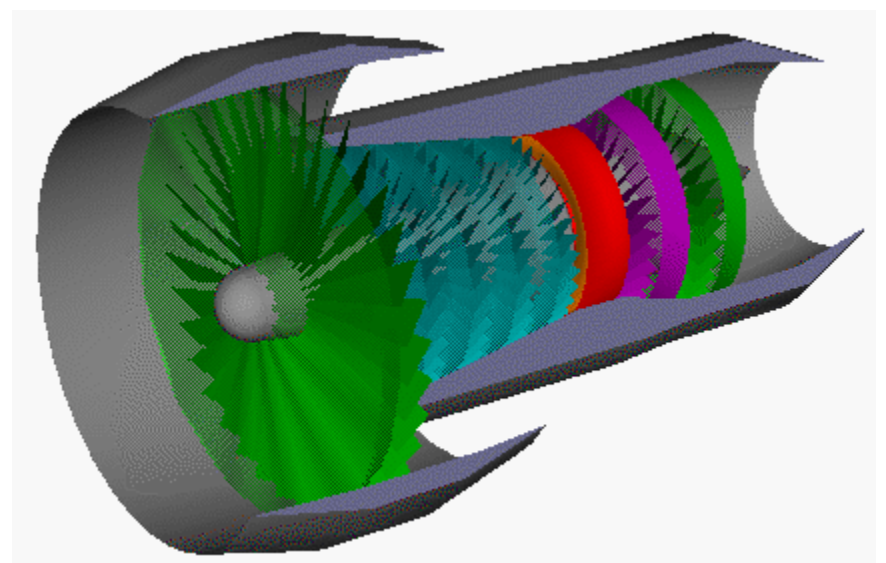
- ▶ Fan
- ▶ Compressores de Baixa Pressão
- ▶ Compressores de Alta Pressão
- ▶ Turbinas de Alta Pressão
- ▶ Turbinas de Baixa Pressão

Os compressores e turbinas de baixa e alta pressão, são normalmente, dois módulos: Módulo de Baixa Pressão (compressores e turbinas de baixa pressão + fan) LP Module, e o Módulo de Alta pressão (compressores e turbinas de alta pressão) HP Module.

28.3 Motor TurboFan

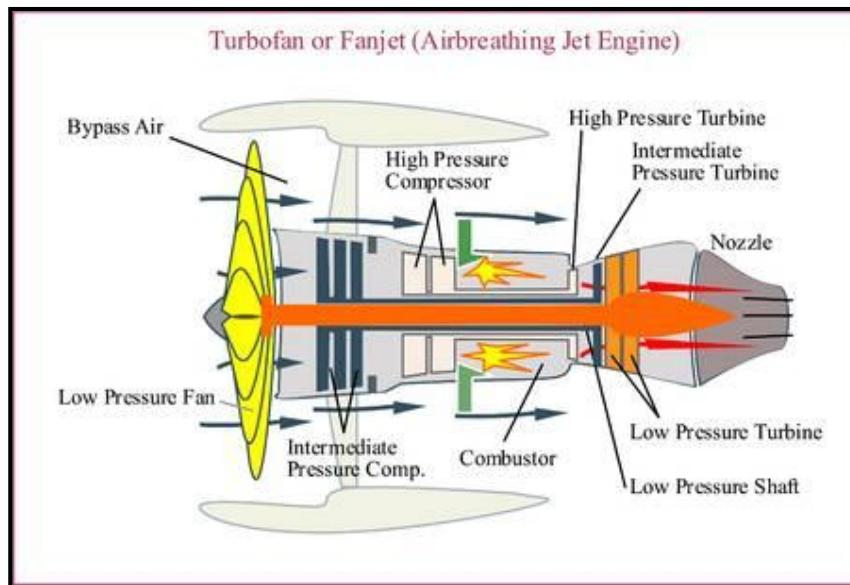
A razão entre a vazão mássica do ar que passa pela câmara de combustão e a do ar que passa por fora dela é chamada de relação de ar secundário. Os primeiros motores comerciais com alta relação de ar secundário apresentavam um valor de 5. Aumentar a relação de ar secundário de um motor turbo-fan aumenta o empuxo. Portanto, não faz sentido remover o capot do ventilador.

28.3 Motor TurboFan

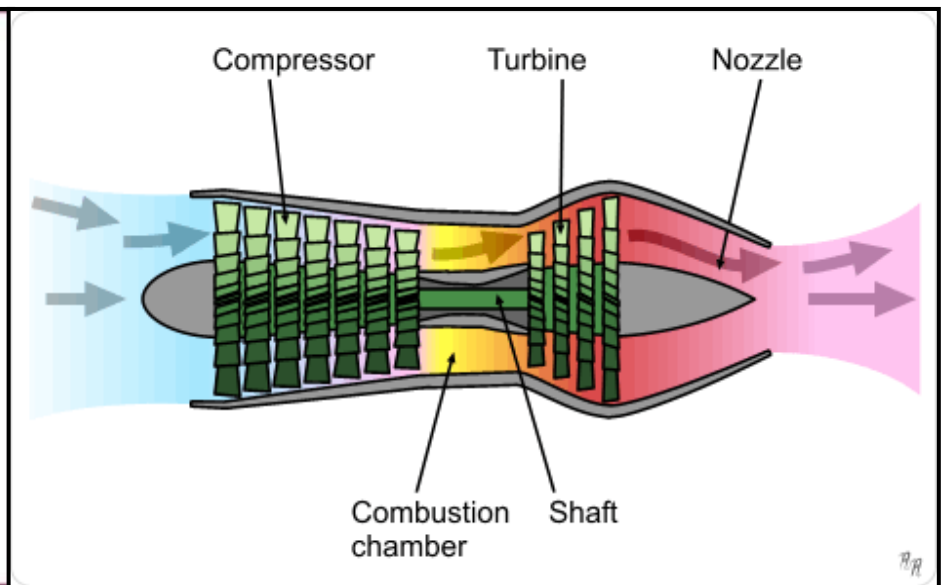


28.3 Motor TurboFan

Turbofan



Turbojacto



28.4 Motor Pulso Jacto

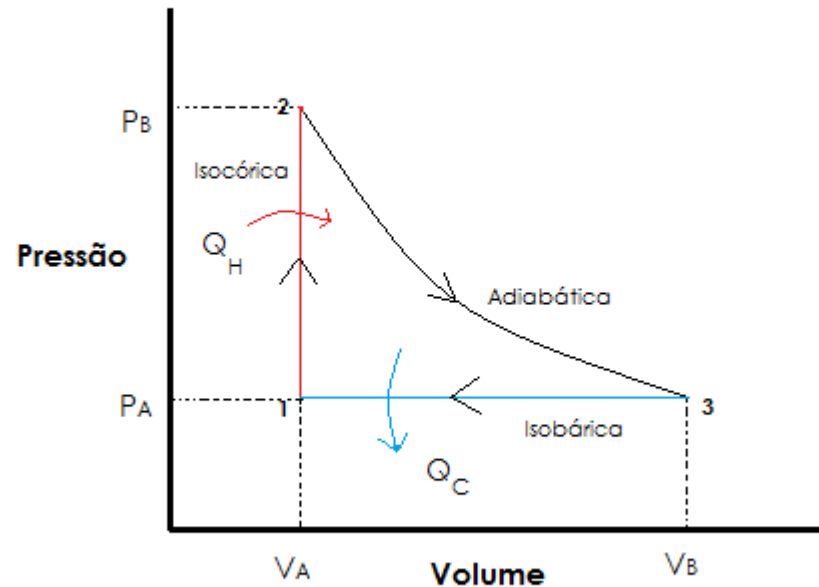
O motor pulso jacto foi inventado por Karavodine, em 1908, e aperfeiçoado e patenteado pelo engenheiro alemão Paul Schmidt, em 1931. Após inúmeros testes e ajustes, em 1942 o motor, baptizado de Schmidt-Argus, foi utilizado nos mísseis V-1, sendo o precursor dos actuais mísseis de cruzeiro.

O pulso jacto funciona utilizando um processo de combustão em pulsos, ou combustão ressonante. O ciclo termodinâmico que mais se aproxima deste funcionamento é o chamado ciclo Lenoir: a combustão inicia com a admissão de ar através do difusor frontal, onde o ar se mistura com o combustível, que é injectado ou aspirado a partir do bico injector.

28.4 Motor Pulso Jacto

O ciclo Lenoir é composto por uma linha isocórica, uma adiabática e uma isobárica.

O calor é admitido à volume constante e liberto à pressão constante.



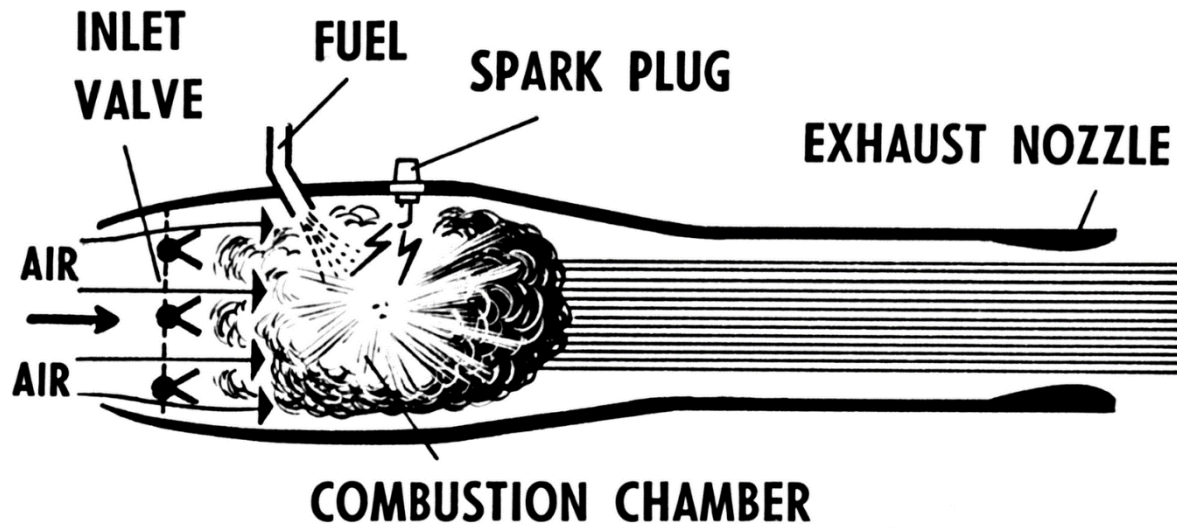
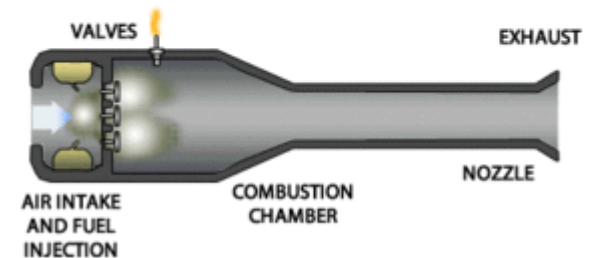
28.4 Motor Pulso Jacto

A mistura ar-combustível é admitida pela válvula e introduzida na câmara de combustão e, em contacto com a faísca eléctrica da vela (ou com as paredes já aquecidas), a mistura entra em combustão.

Devido à combustão ocorre o aumento de pressão na câmara. Com isso, a válvula “margarida” fecha-se, impedindo a entrada de ar. Os gases de combustão são então expelidos pelo tubo de escape, fazendo surgir a força propulsora.

28.4 Motor Pulso Jacto

ANIMATION OF A
PULSE JET ENGINE



28.5 Motor Ramjet (Estatu jactu)

Este motor consiste de um difusor, uma câmara de combustão e bocal para exaustão dos gases.

Por não possuir partes móveis tais como compressor e turbina, este motor é de manufactura mais simples em comparação aos demais motores de propulsão. Devido sua simplicidade e bom desempenho em altas velocidades, o motor Ramjet é de interesse em aplicações militares sendo muito utilizado em mísseis. Mísseis Ramjet precisam de um foguete para que a velocidade supersónica adequada de operação seja atingida de modo a se iniciar a operação do motor. A figura abaixo esquematiza alguns dos componentes principais do motor.

28.5 Motor Ramjet (Estatu jacto)

Os Ramjets tentam explorar a elevada pressão da corrente de ar que se forma à frente da entrada, devido à alta velocidade de voo. Numa entrada de ar bem projectada poderá aproveitar-se a pressão de entrada para permitir a combustão do combustível e a expulsão dos gases resultantes.

A maioria dos Ramjets operam a velocidades de voo supersónicas. Como precisam de alta velocidade de voo para poderem iniciar o seu funcionamento, é necessária a utilização de um motor secundário para levar a aeronave até uma velocidade crítica, na qual inicia o seu funcionamento.

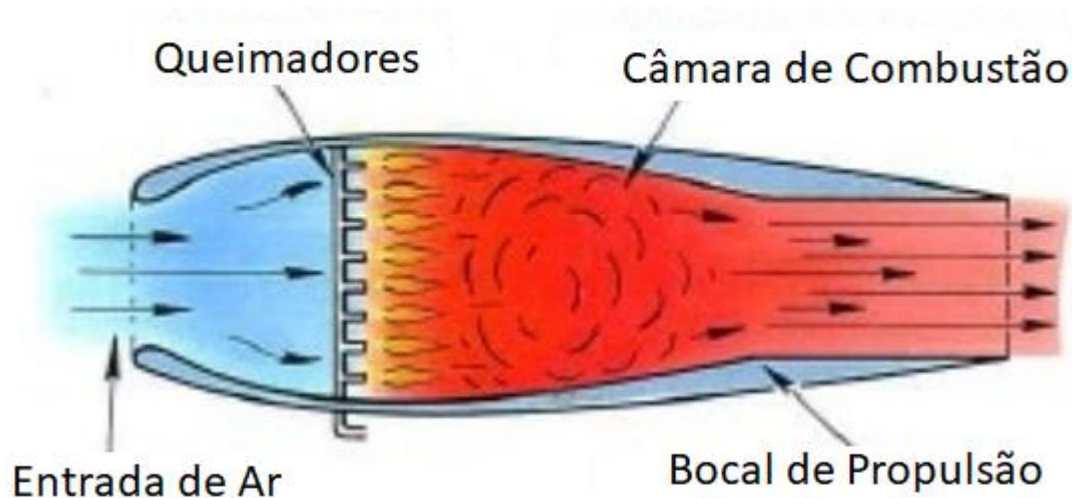
28.5 Motor Ramjet (Estatu jactu)

Um motor ramjet é um ducto de formato adequado, sem compressor ou turbina e às vezes é usado para propulsão de mísseis e aeronaves em alta velocidade. O aumento de pressão no motor é causado pelo efeito de atrito do ar à alta velocidade contra uma barreira. Portanto, um motor ramjet precisa ser levado a uma velocidade suficientemente alta por uma fonte externa, antes de poder ser accionado.

O ramjet tem melhor desempenho em aeronaves que voam acima de Mach 2 ou 3 (duas ou três vezes a velocidade do som).

28.5 Motor Ramjet (Estatu jacto)

Motor Ram Jet

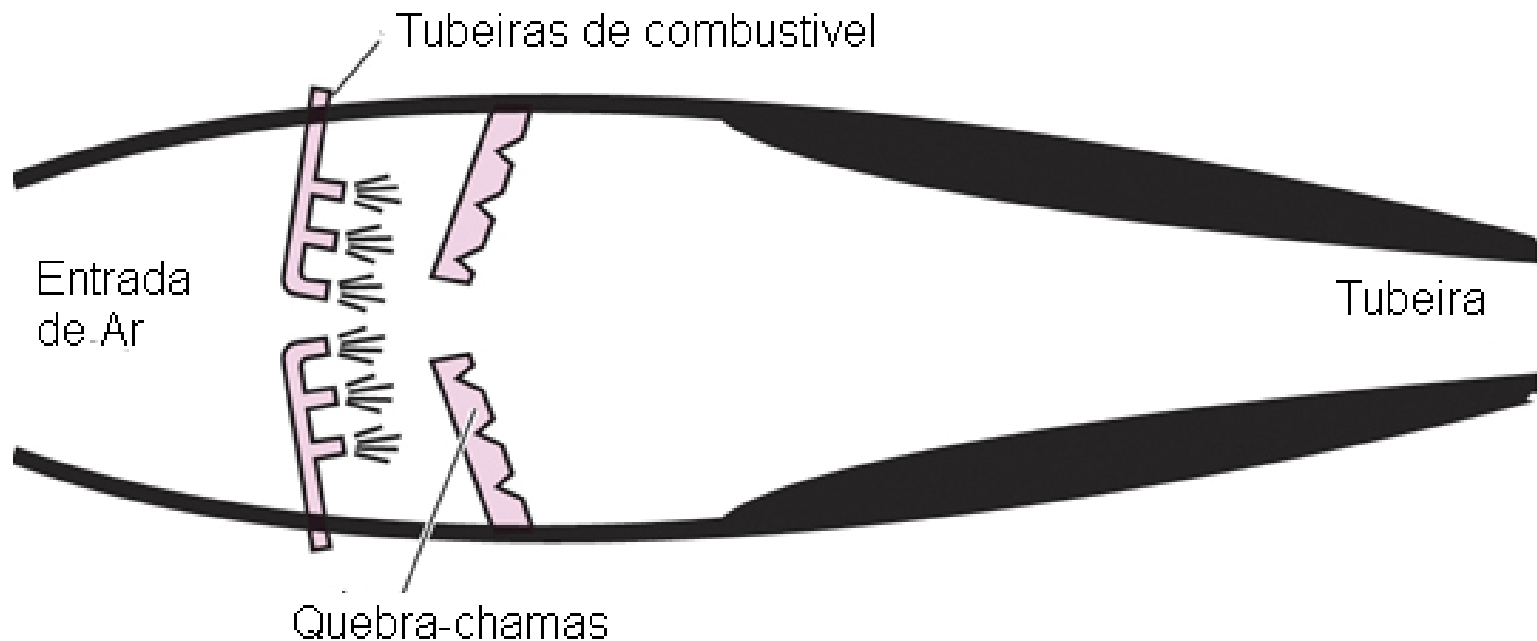


28.5 Motor Ramjet (Estatu jactu)

Os Ramjets geralmente não são capazes de gerar impulso útil com pressões geradas a velocidades aproximadamente da metade de velocidade de som, e são ineficientes até que a velocidade aerodinâmica exceda 1000 km/h (mil km/h).

Mesmo acima da velocidade mínima necessária, vários factores podem determinar a eficiência do Ramjet como, por exemplo, a altitude do voo.

28.5 Motor Ramjet (Estado jacto)



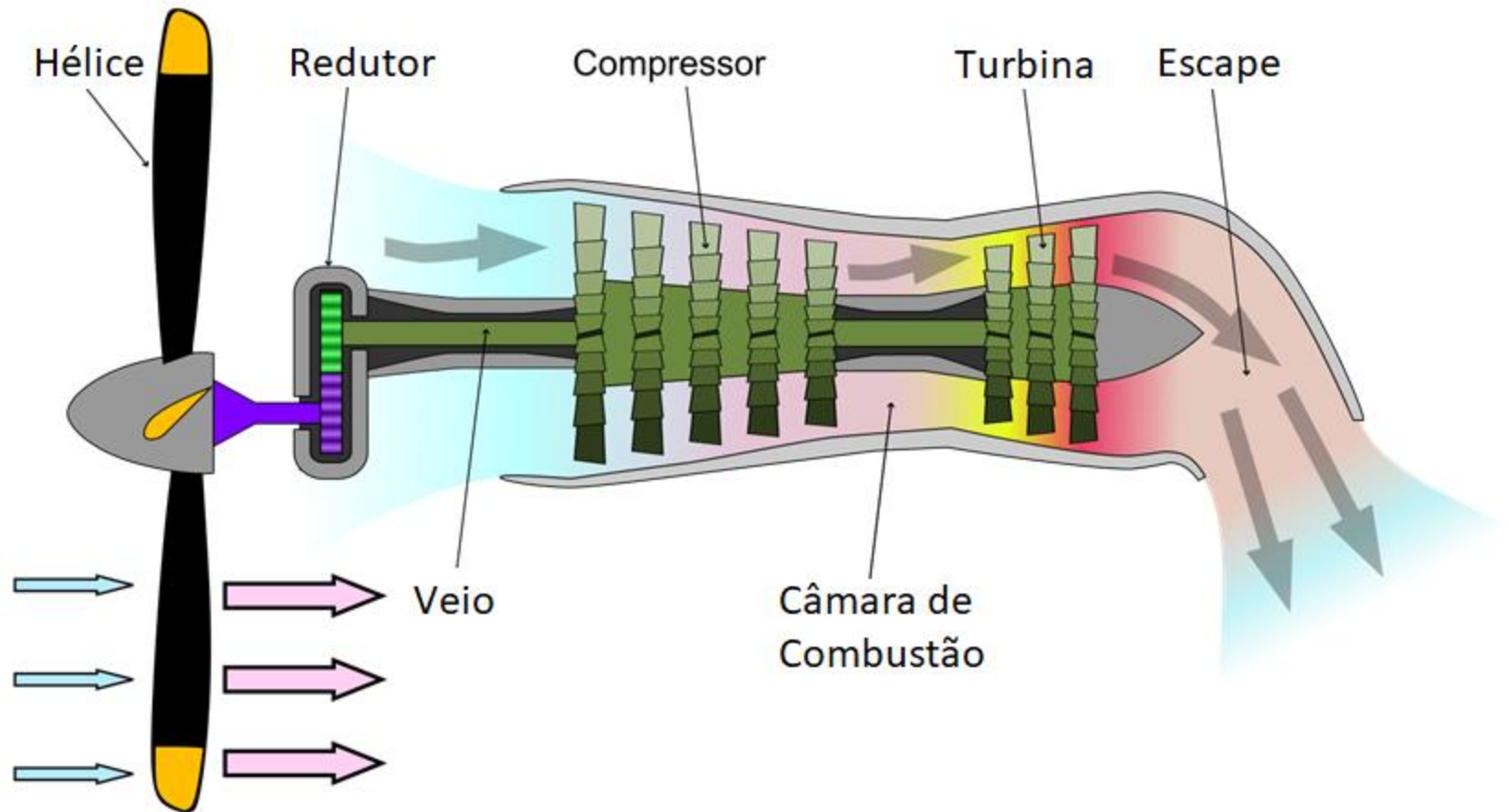
28.6 Motor propjet

Os motores turbo-fan e propjet diferem principalmente nas suas taxas de desvio: 5 ou 6 para turbo-fans e até 100 para propjets. Como regra geral, as hélices são mais eficientes do que os motores a jacto, mas estão limitadas à operação em baixas velocidades e baixa altitude, pois sua eficiência diminui em altas velocidades e altitudes.

Os antigos motores propjet (turboélices) eram limitados a velocidades de cerca de Mach 0,62 e a altitudes de cerca de 9100 m.

Espera-se que os novos motores propjet (propfans) atinjam velocidades de cerca de Mach 0,82 e altitudes de cerca de 12 200 m.

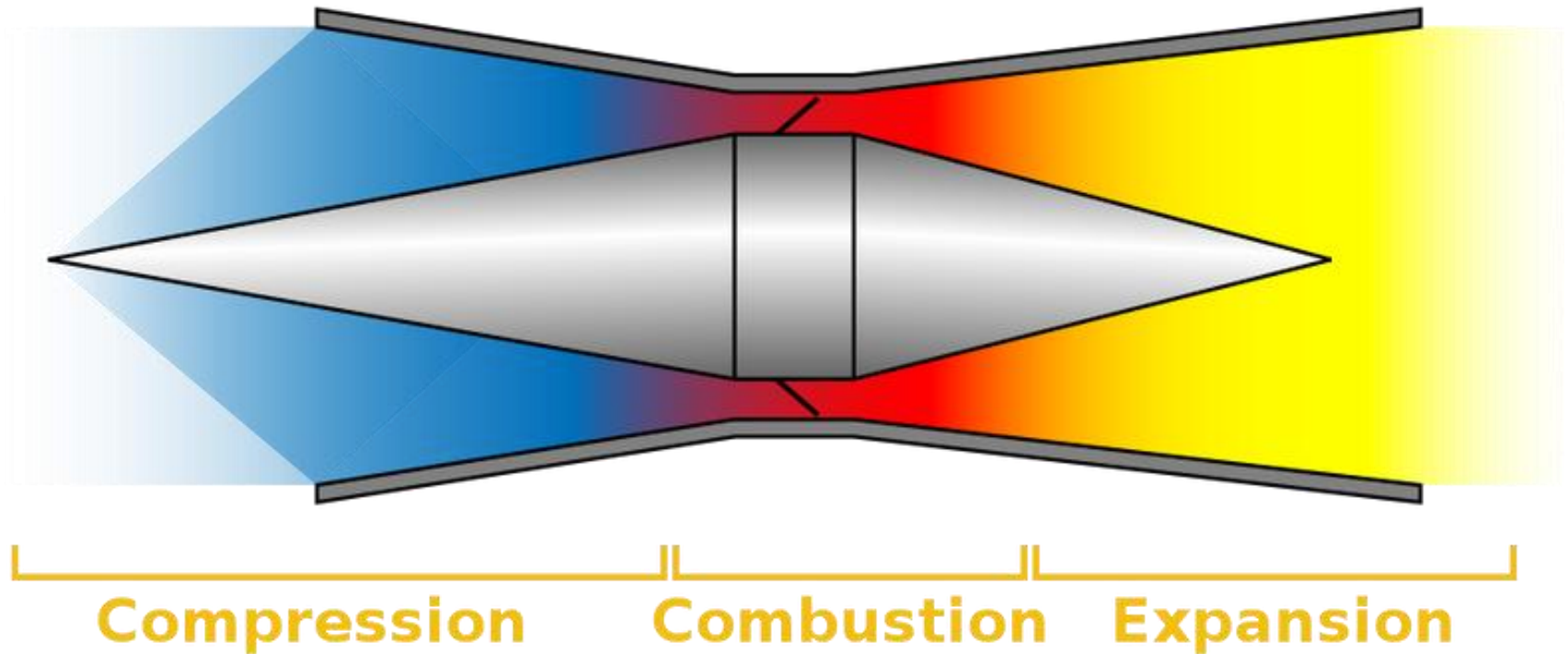
28.6 Motor Propjet



28.7 Motor Scramjet

Em um scramjet, o ar é desacelerado para cerca de Mach 0,2, o combustível é adicionado ao ar e queimado a essa baixa velocidade, e os gases de combustão são gastos e acelerados numa tubeira. Um mecanismo scramjet é essencialmente um ramjet no qual o ar flui a velocidades supersônicas (acima da velocidade do som). Ramjets que se convertem em configurações de scramjet em velocidades acima de Mach 6 estão a ser testados com sucesso a velocidades de cerca de Mach 8.

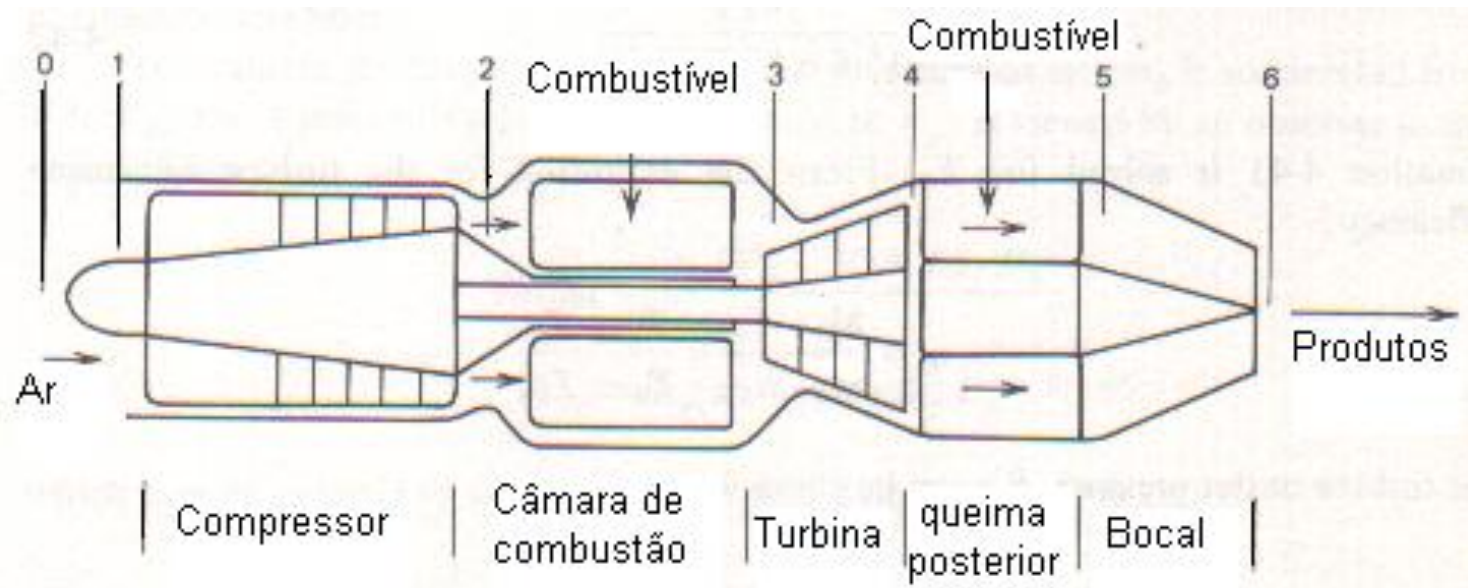
26.7 Motor Scramjet



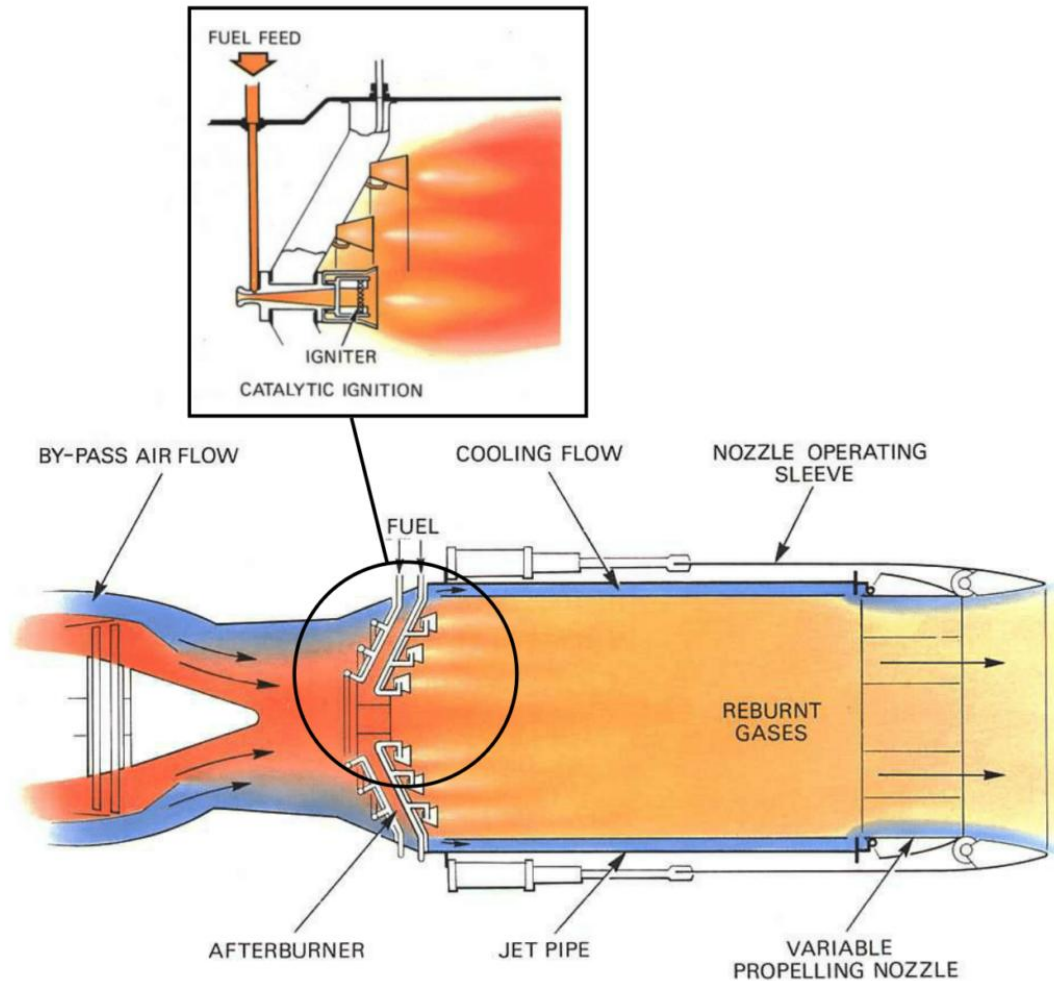
28.8 Pós Combustor (Afterburner)

Uma modificação comum em aeronaves militares é a adição de uma seção de pós-combustor (afterburner) entre a turbina e a tubeira. Sempre que surgir uma necessidade de impulso extra, como descolagens curtas ou condições de combate, um combustível adicional é injectado nos gases de combustão ricos em oxigénio que saem da turbina. Como resultado dessa energia adicional, os gases de escape saem a uma velocidade mais alta, proporcionando um impulso maior.

28.8 Pós Combustor (Afterburner)



28.8 Pós Combustor (Afterburner)



28.8 Pós Combustor (Afterburner)

