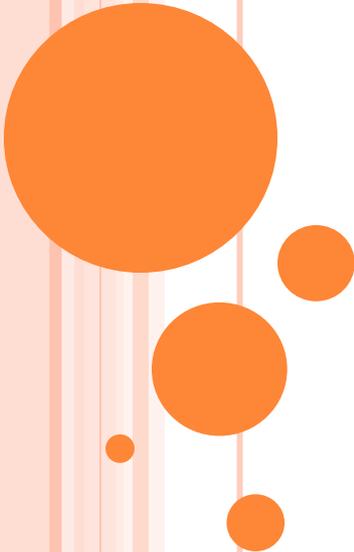


SISTEMAS TÉRMICOS DE POTÊNCIA

PROF. RAMÓN SILVA



Engenharia de Energia

Dourados MS - 2013

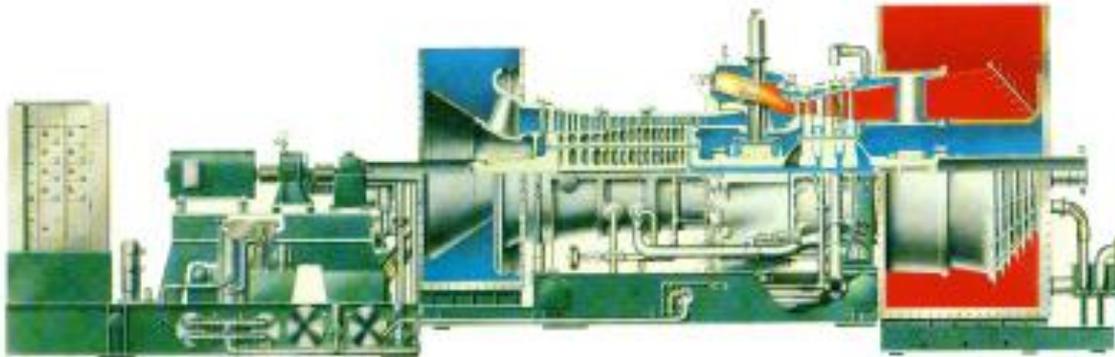


TURBINAS A GÁS



TURBINAS A GÁS

- Turbogeneradores são sistemas de geração de energia onde o acionador primário é uma turbina a gás.





TURBINAS A GÁS

- A primeira demonstração de uma turbina a gás aconteceu na Exibição Nacional Suíça em 1939, sendo que o modelo foi patenteado por John Barber em 1791





TURBINAS A GÁS

- De uma maneira básica, uma turbina a gás pode ser representada através de um ciclo Brayton
- Neste ciclo termodinâmico, um compressor é ligado mecanicamente a uma turbina por um eixo solidário, e as trocas de calor acontecem através de uma fonte quente (Q_H) e uma fonte fria (Q_L).





TURBINAS A GÁS

- Idealmente, no **ciclo fechado**:
 - o compressor provoca uma compressão adiabática reversível (isoentrópica),
 - na fonte quente há adição de calor a pressão constante,
 - na turbina ocorre uma expansão adiabática reversível (isoentrópica), e
 - na fonte fria há perda de calor a pressão constante.



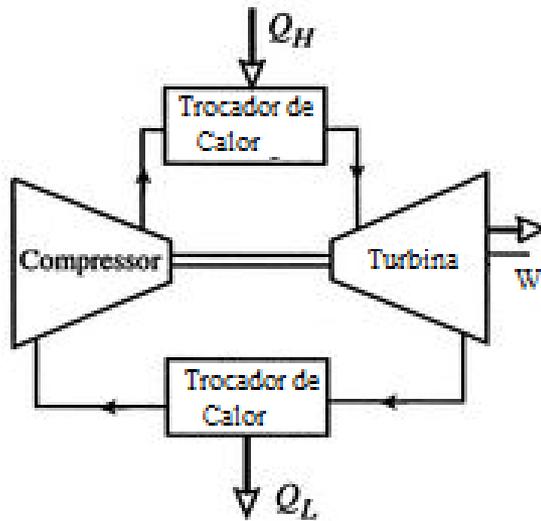


TURBINAS A GÁS

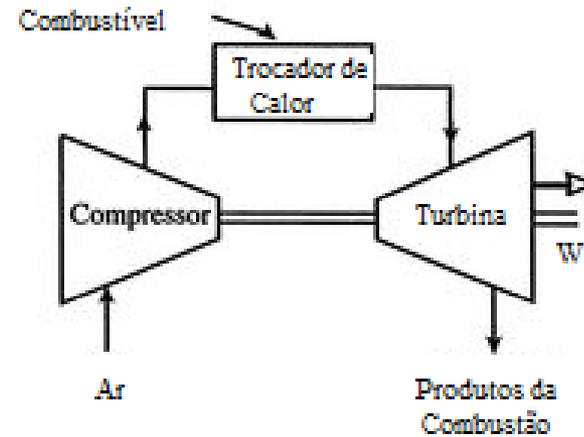
- No **ciclo aberto** a fonte fria é substituída pelo ambiente no qual se encontra o sistema, e os gases eliminados pela turbina não são reaproveitados no compressor



TURBINAS A GÁS



Ciclo Fechado

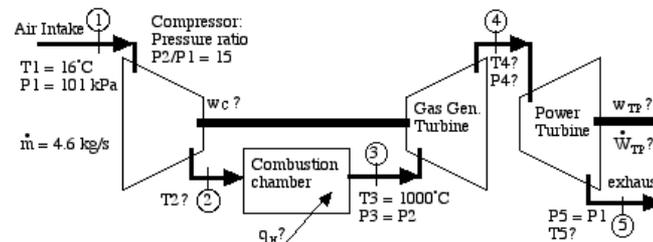
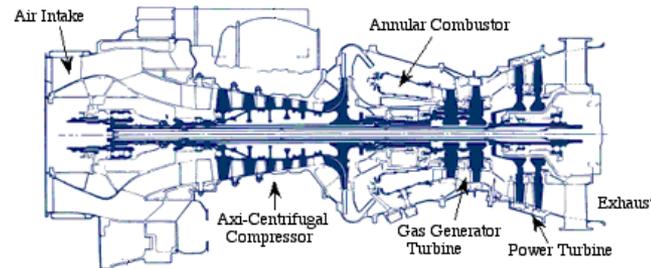


Ciclo Aberto



TURBINAS A GÁS

- Modelando a turbina pelo princípio do ciclo Brayton aberto, o ar entra no compressor, onde a pressão é aumentada, dirige-se ao combustor, onde é misturado com o combustível e ignitado e, finalmente, é expandido e realiza trabalho na turbina, sendo os gases retornados ao meio.





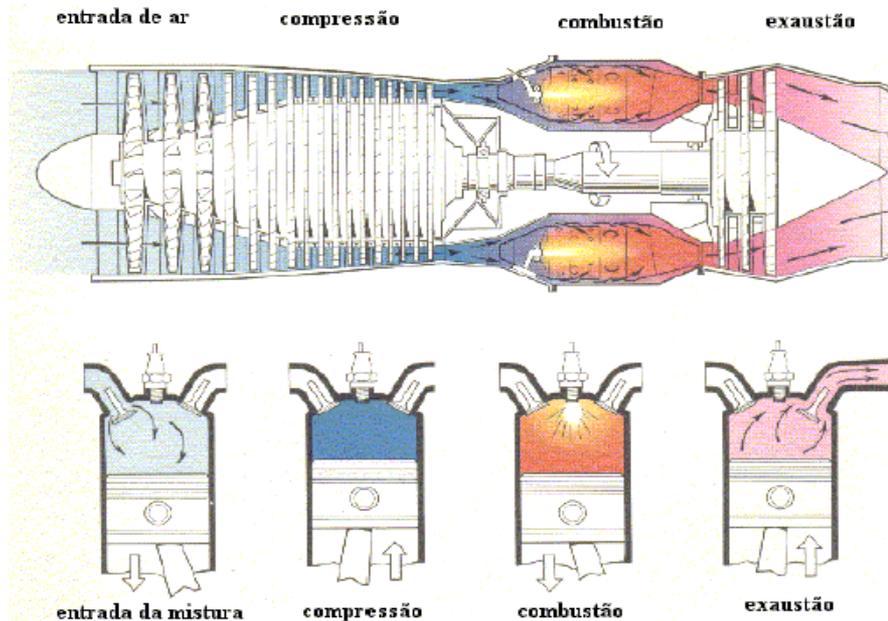
TURBINAS A GÁS

- O excesso de energia, ou seja a energia térmica do processo de combustão menos a energia consumida pelo compressor, pode ser transformado tanto em empuxo quanto em potência de eixo.



TURBINAS A GÁS

- Uma analogia entre o motor alternativo e a turbina a gás é mostrada na Figura





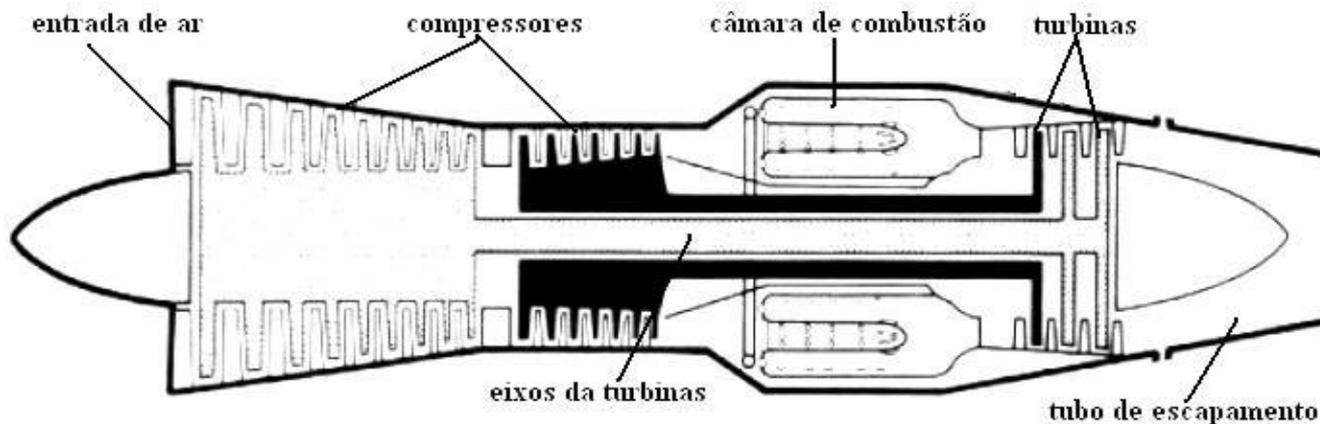
TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- Quanto ao fluxo as turbinas podem ser classificadas como:
 - **fluxo direto,**
 - **fluxo reverso.**



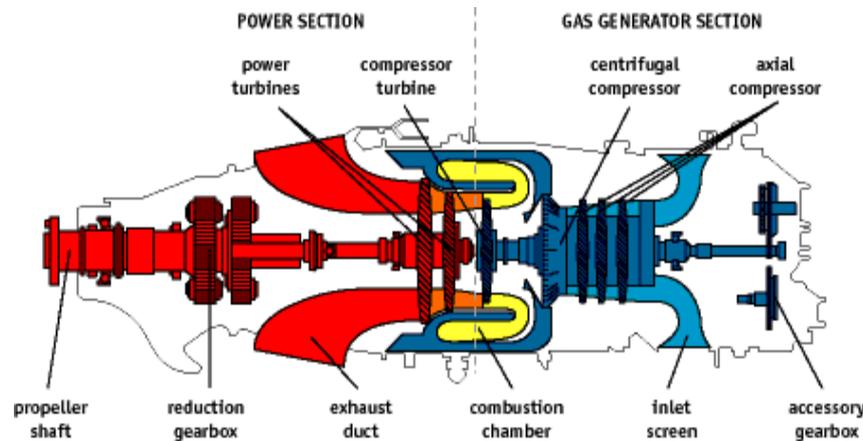
TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- Nas turbinas de fluxo direto o fluxo segue do compressor até a turbina sem alteração na sua direção.



TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- Nas turbinas de fluxo reverso o fluxo sofre alteração de direção na câmara de combustão

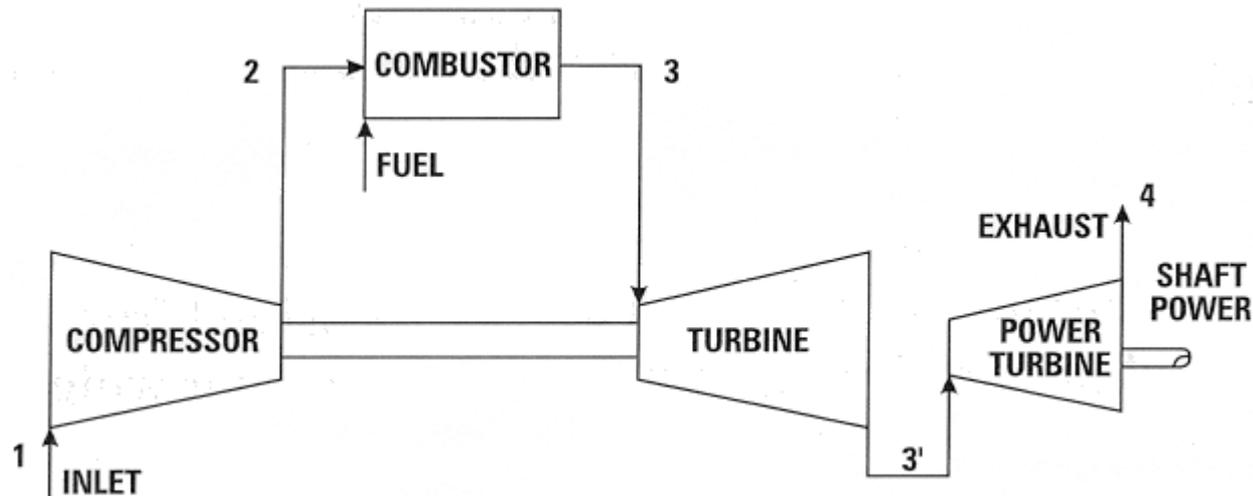


- A principal vantagem deste tipo de câmara é a possibilidade de reduzir o comprimento do eixo entre o compressor e a turbina.
- Normalmente o combustor é deslocado permanecendo concêntrico à turbina ou ao compressor.



TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- A turbina pode ser projetada para trabalhar com e sem **turbina livre**.





TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- No sistema **sem turbina livre** podem ser utilizadas configurações de um, dois e até três eixos do ciclo simples.
 - Esse modelo é o mais utilizado na maioria das aplicações industriais.
 - No caso da configuração de um eixo parte da potência é transferida para o compressor e o restante destina-se a potência útil de eixo.
 - Esse tipo de configuração é utilizada em operações que exigem velocidade e carregamento constante, como geração de energia elétrica.



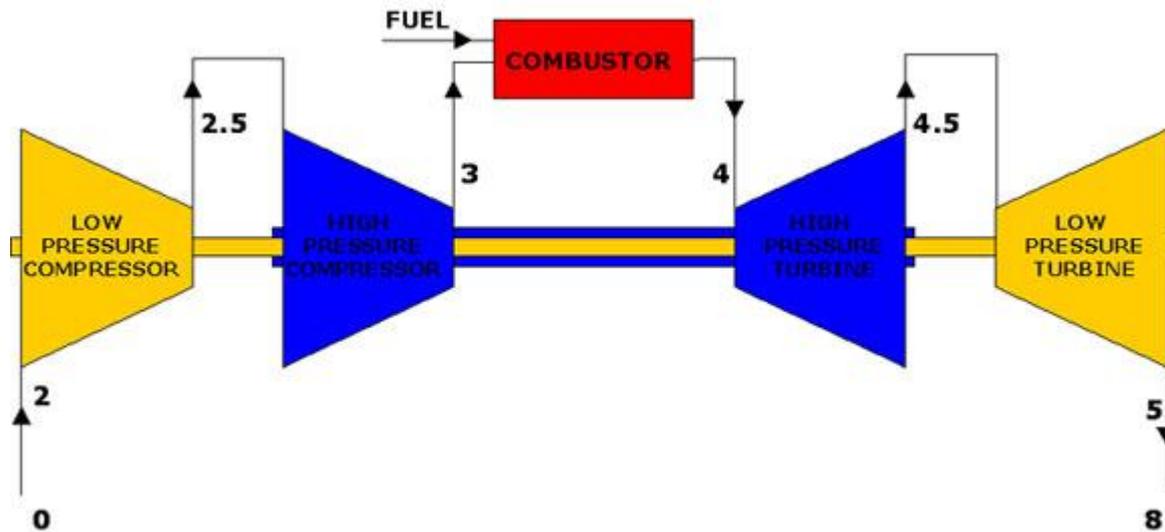
TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- Nas configurações de **turbina livre** ou **turbina de potência** e **gerador de gases**, o gerador de gases pode ser de um ou mais eixos.
 - Nos casos de mais de um eixo a finalidade é de aumentar a eficiência térmica, aumentando a razão de compressão do ciclo.
 - Para alta razão de pressão no ciclo o compressor é dividido em vários estágios. Nesse caso cada compressor tem sua própria turbinam fornecendo a potência necessária a compressão.
 - Os compressores são independentes possuindo, cada um, sua turbina e rotação



TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- Turbina de dois eixos sem turbina de potência



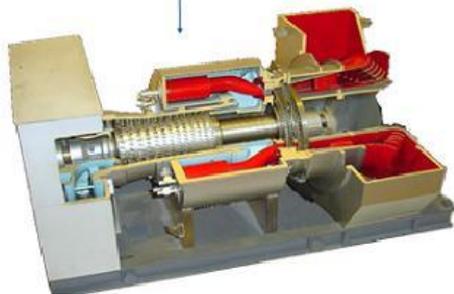
TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- A turbina pode ser projetada para trabalhar com e sem turbina livre.

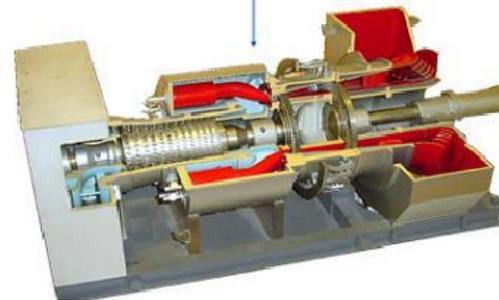
Heavy Duty Gas Turbine Families

HEAVY DUTY

SINGLE SHAFT



TWO SHAFTS





TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- Quanto ao **projeto** as turbinas utilizadas para geração de energia podem ser classificadas de duas formas:
 - Aeroderivativas
 - Industriais (heavy-duty)





TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- As turbinas a gás **aeroderivativas** foram desenvolvidas a partir das turbinas aeronáuticas, para geração termelétrica.
- Estas turbinas têm as seguintes vantagens:
 - utilizam tecnologia aeronáutica;
 - têm menor consumo específico;
 - maior confiabilidade operacional (maior número de horas de teste);
 - facilidade de manutenção;
 - menor custo de investimento (economia de escala);
 - maior facilidade e menor custo de instalação;
 - maior disponibilidade de peças no mercado.





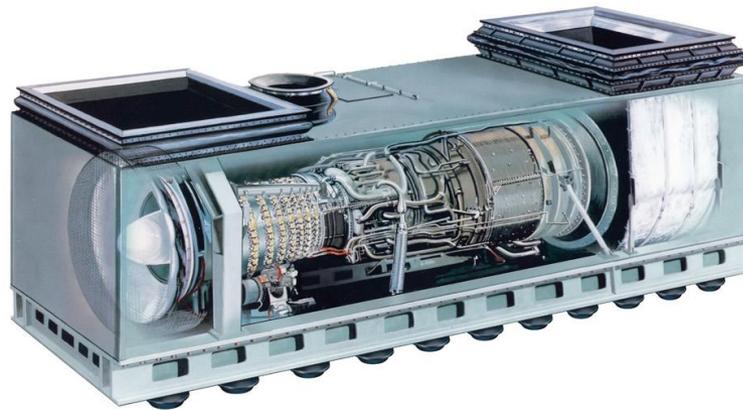
TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- Os fabricantes de turbinas a gás aeroderivativas têm produzido unidades de grande capacidade na faixa de potência de 14 MW a 42 MW, com rendimento térmico entre 35% e 42%.
- Podem operar com gás natural, óleo diesel ou querosene de aviação.
- Operando em ciclo combinado apresentam rapidez no suprimento de energia elétrica enquanto o ciclo vapor é preparado para partida e sincronização.



TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- Exemplo de turbinas a gás aeroderivativas da General Electric é a família LM que desenvolve potência de 13,2 MW a 40,7 MW. A turbina LM6000 tem 40,7 MW de potência elétrica de base com eficiência térmica de 42,3%, a RB211 da Roll-Royce fornece 24,9 MW a 35,6% de eficiência.



Turbina GE LM2500 aeroderivativa





TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- As turbinas **industriais** foram desenvolvidas para trabalho pesado (heavy-duty) em aplicação puramente industrial, seguindo uma filosofia própria de desenvolvimento que permite maior robustez, flexibilidade, baixo custo, e podem atingir em carregamento de base de cerca de 340 MW.
- Normalmente são turbinas a gás de ciclo simples com compressor axial, câmara de combustão externa ao corpo da máquina e uma turbina axial.





TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- Possuem uma grande área frontal, o que reduz a velocidade do ar na entrada. A razão de pressão total destas unidades pode variar de 5 a 15. A temperatura máxima pode chegar a 1290 °C em alguma unidades.



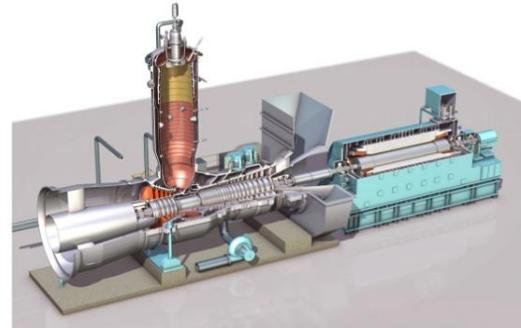
TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO



Turbina GE MS9000 - Heavy Duty

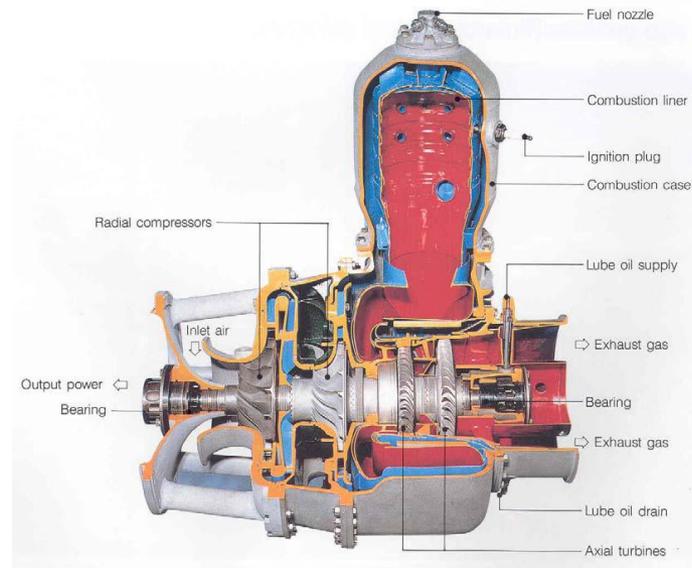
Turbogerador heavy-duty GT31E da ABB

Gas Turbine



TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- As turbinas de **pequeno porte** são aquelas com potência **abaixo de 1 MW**. Seu projeto é similar ao projeto de turbinas maiores, porém há algumas unidades que ainda utilizam compressores centrífugos ou um arranjo entre centrífugo e axial, bem como turbina de fluxo radial.





TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- As eficiências nas turbinas de pequeno porte são inferiores devido a limitação de temperatura na entrada da turbina e da baixa eficiência de seus componentes.
- Essas unidades são robustas devido a simplicidade de projeto e algumas utilizam regeneradores para aumentar a eficiência térmica.



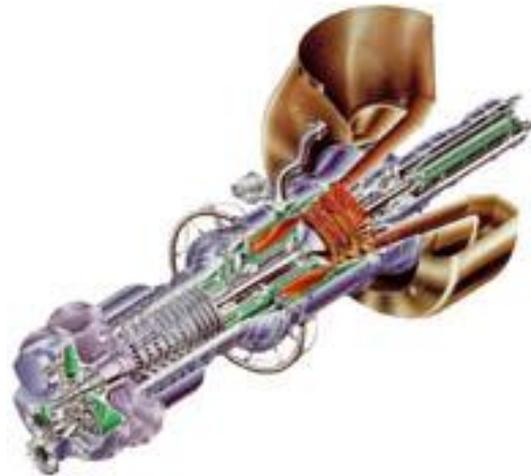
TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- Nessa classe estão inseridas as microturbinas, cuja potência máxima é de 300 kW.



TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- As turbinas de **médio porte** são aquelas com potência entre **1 MW** e **15 MW**.
- Estas unidades têm projeto similar às turbinas *heavy-duty* e aeroderivativas.



Taurus 60 - Solar Turbines





TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- Geralmente são turbinas com dois eixos, as quais são mais eficientes em cargas parciais, pois nessa configuração o gerador de gás opera com eficiência máxima, enquanto a turbina de potência opera em uma faixa de velocidade menor.
- O compressor possui geralmente entre 10 e 16 estágios de compressão axial subsônico produzindo uma razão de pressão de 5 a 11.
- A turbina do gerador de gases tem geralmente de 2 a 3 estágios axiais com resfriamento de ar nas palhetas do primeiro estágio.





TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- A turbina de potência é geralmente de fluxo axial com um ou dois estágios.
- As turbinas de médio porte são utilizadas em instalações *offshore* e plantas de processo petroquímico.
- Nas plantas de processo o gás de exaustão pode ser utilizado para cogeração.



TURBINAS A GÁS - CLASSIFICAÇÃO

- Acima de **15 MW** as turbinas são consideradas de **grande porte** e podem ser tanto aeroderivativas quanto *heavy-duty*. São predominantemente axiais e multi-estágios.



Turbinas GT26 e GT24 da Alstom





BIBLIOGRAFIA

Mazurenko, A.S., Souza, Z. e Lora, E.E.S. Máquinas térmicas de fluxo. Ed. Interciência, 1º ed 2013

Santos, N. O. Termodinâmica aplicada às termelétricas – teoria e prática. Ed. Interciência, 2º ed 2006

Lora, E.E.S. Nascimento M.A.R. Geração termelétrica: planejamento, projeto e operação. Ed. Interciência, 1º ed 2004

