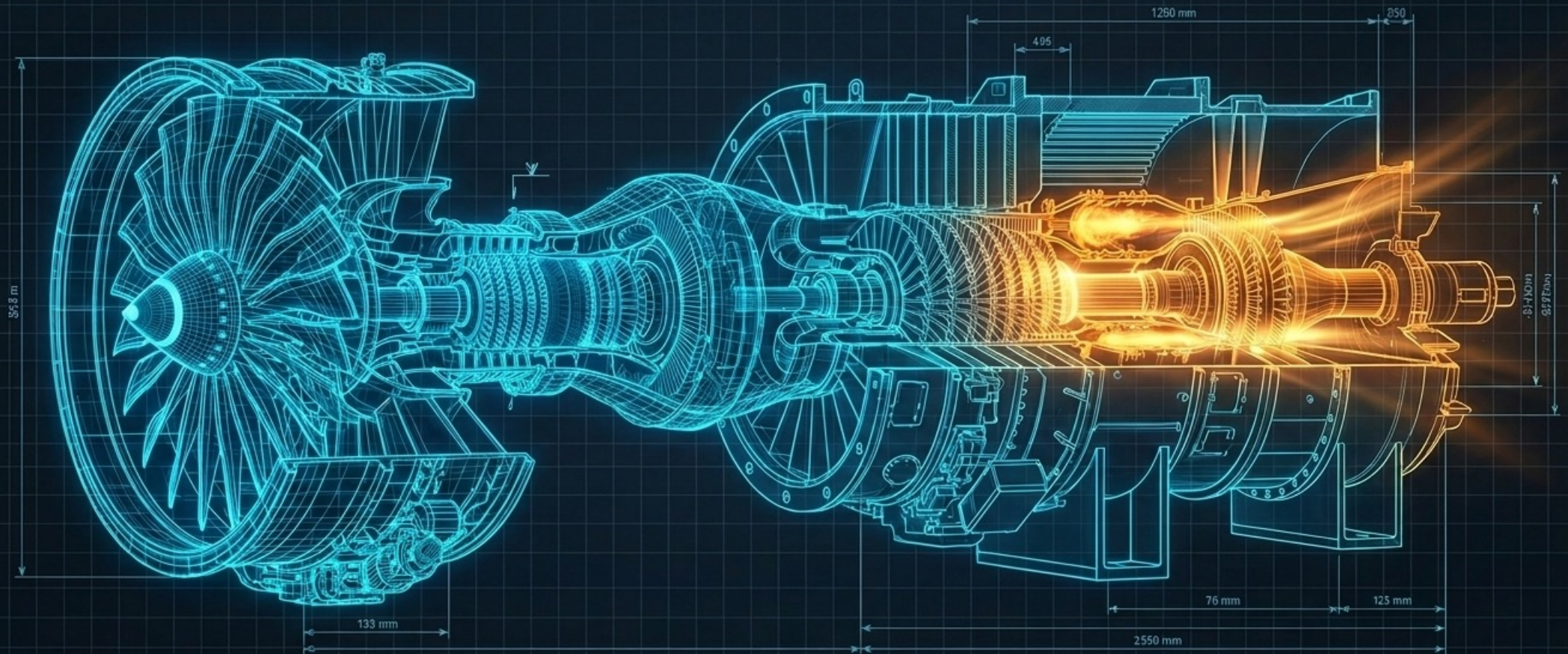


A ENGENHARIA DE CONVERSÃO DE TURBINAS AERODERIVADAS

Metamorfose termodinâmica e acoplamento aerodinâmico de núcleos aeronáuticos.





Missão Aeronáutica (Voo)

Produto Útil: Empuxo
(momentum propulsivo).



Regime de Rotação:
Altamente variável (depende
da altitude, clima e
comando de empuxo).



Fluxo de Ar: Foco em
acelerar grandes massas de
ar frio (Bypass).



Missão Industrial (Solo)

Produto Útil: Trabalho mecânico
(Torque no eixo).



Regime de Rotação: Fixo e
rigoroso (sincronizado com
a rede de geração, ex: 50 ou
60 Hz).



Fluxo de Ar: Foco exclusivo
na extração de energia do
fluxo de gás quente.

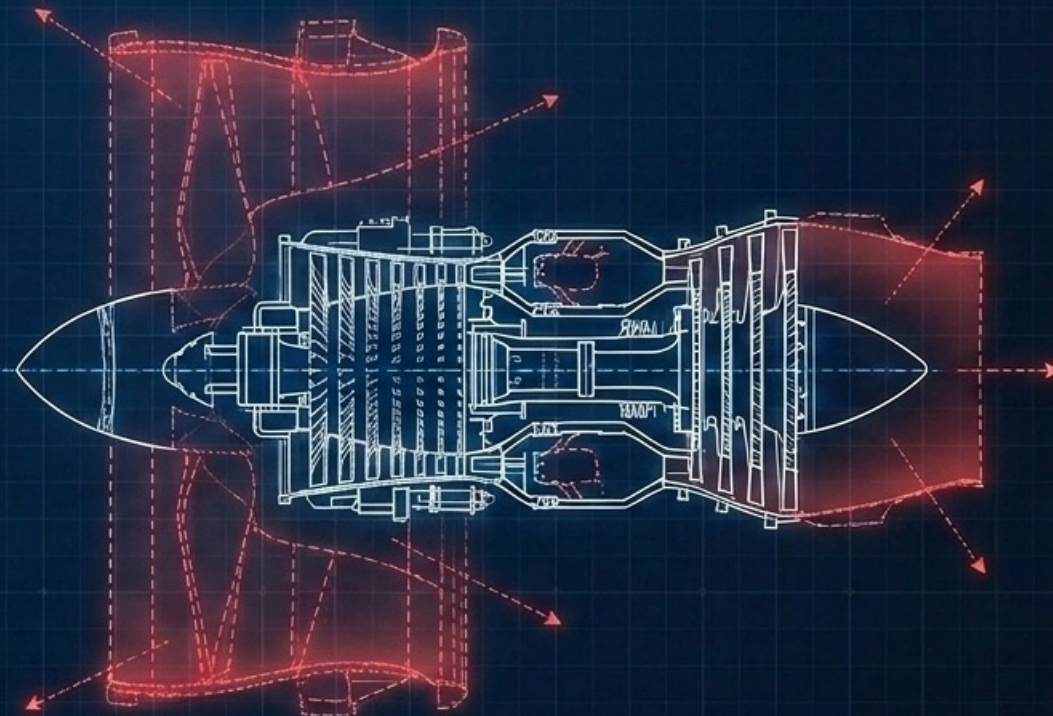


**“Preservar o núcleo de aviação
comprovado; reprojetar
rigorosamente todas as interfaces
cuja função muda no solo.”**

A conversão de uma turbina aeronáutica não é uma improvisação de fundo de quintal. É o desenvolvimento de um novo sistema termodinâmico projetado para aproveitar a capacidade do motor original, altamente eficiente.

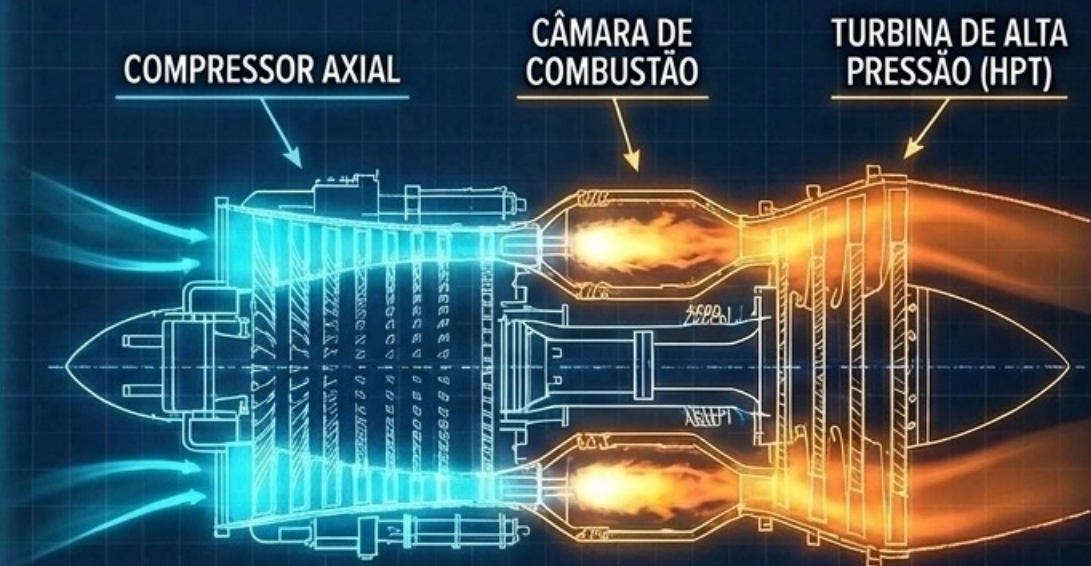
Modificação Anatômica: Remoção de Subsistemas

- ✗ O fan frontal e o bocal propulsor aeronáutico são completamente eliminados.
- ✗ O duto de bypass (responsável pela maior parte do empuxo em voo) é descartado.
- ✗ A cinemática de projeto deixa de focar na aceleração de ar frio para a atmosfera.



O Gerador de Gás (Gas Generator)

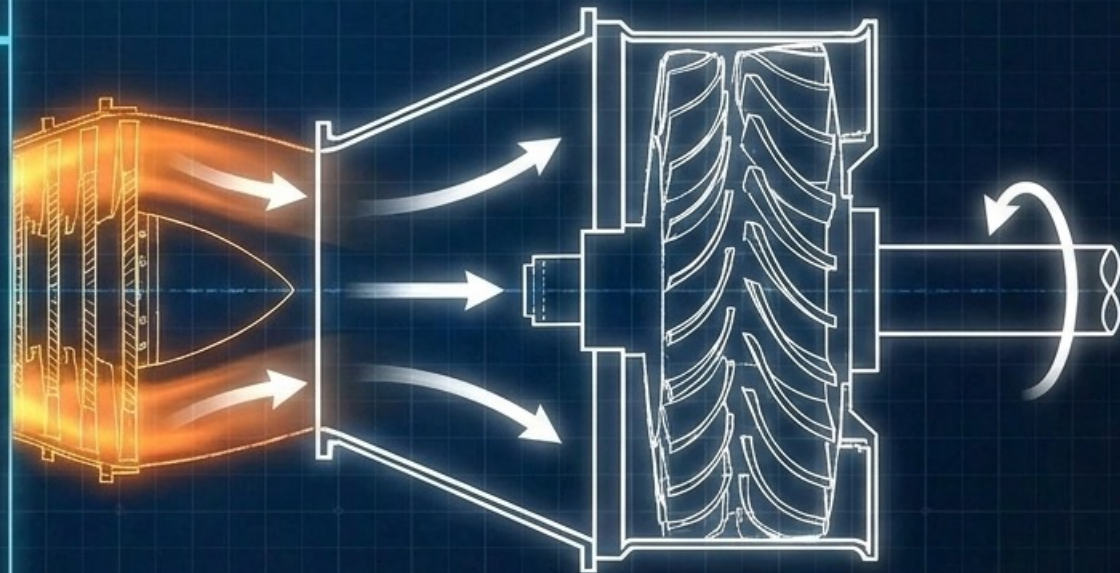
- Compressor Axial: Eleva drasticamente a pressão do ar de admissão.
- Câmara de Combustão: Adiciona energia térmica à mistura.
- Turbina de Alta Pressão (HPT): Extrai apenas o trabalho necessário para manter o compressor girando.



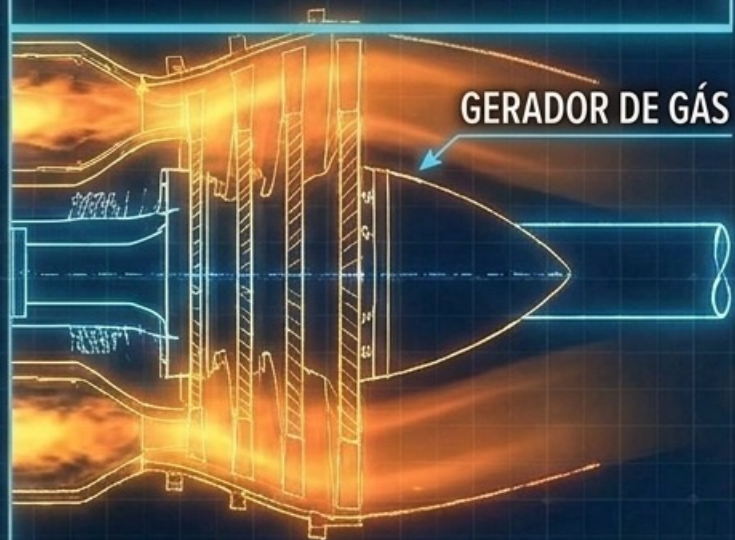
O produto final deste módulo não é empuxo, mas sim um fluxo contínuo de gás pressurizado, de alta temperatura e alta energia.

Integração Industrial: A Turbina de Potência Livre

1. **Duto de Transição:** O fluxo de gás de alta energia do gerador é canalizado e uniformizado através de um novo duto estacionário.
2. **Extração de Torque:** O gás penetra na Turbina de Potência Livre (PT), uma unidade com pás redesenhadas especificamente para maximizar a conversão de energia fluida em torque
3. **Eixo de Saída:** Conecta-se diretamente (ou via caixa de engrenagens) à carga elétrica industrial.

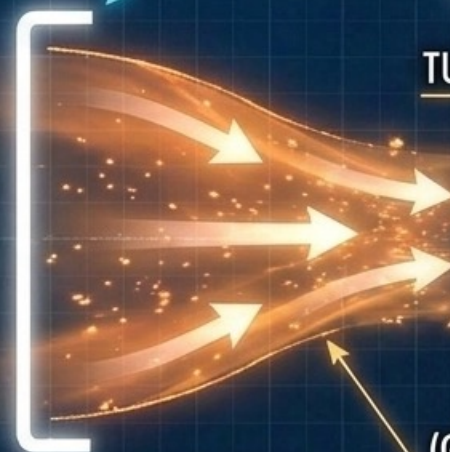


O Conceito de Acoplamento Aerodinâmico



Separação Mecânica Absoluta: Não existe um eixo metálico rígido ligando o gerador de gás à turbina de saída.

LACUNA FÍSICA ABSOLUTA



TURBINA DE POTÊNCIA LIVRE

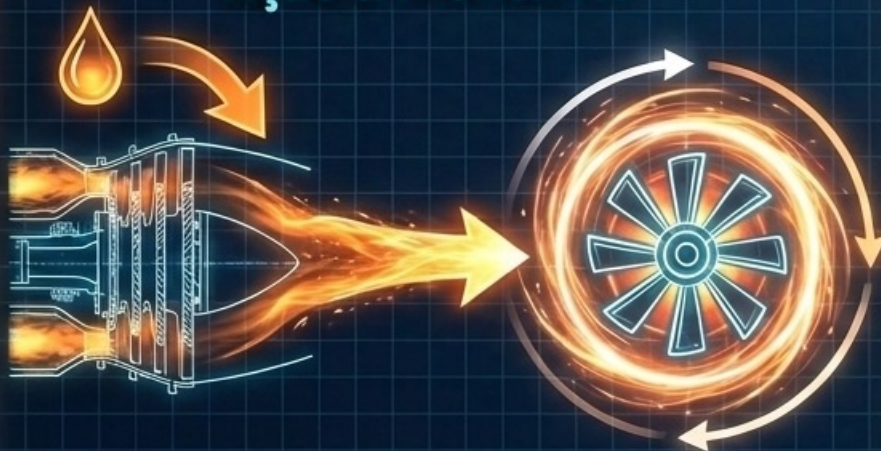
ELO FLUIDO
(GÁS DE ALTA ENERGIA)

O Elo Fluido: Os dois sistemas rotativos compartilham apenas o caminho do gás. O acoplamento da máquina é puramente termodinâmico e aerodinâmico.

Acomplamento Termo-aerodinâmico

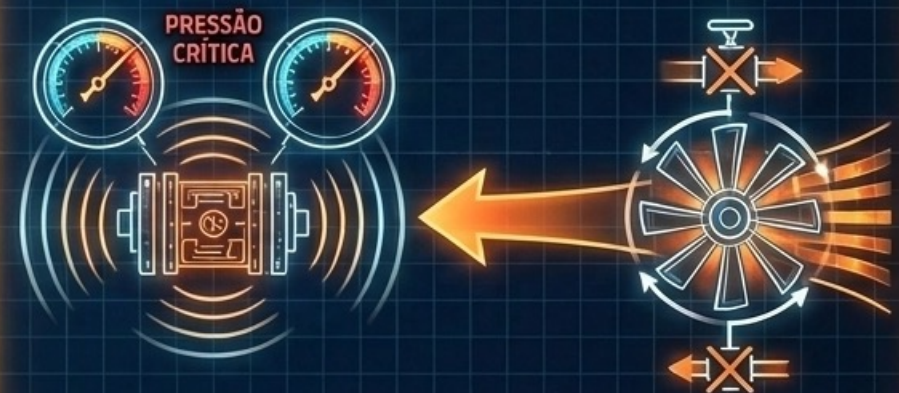
! Mecanicamente livre, mas termodinamicamente inseparável.

Ação a Montante



O fluxo dita a potência: Adicionar combustível ao núcleo altera instantaneamente a potência entregue a jusante.

Ação a Jusante

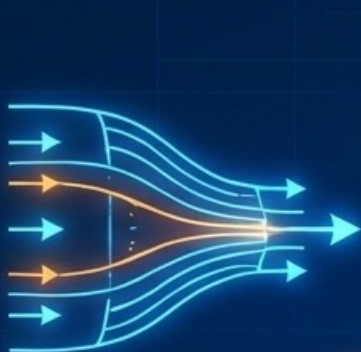


A contrapressão dita a estabilidade: Alterações na capacidade de fluxo da turbina de potência alteram imediatamente a contrapressão vista a montante, afetando todo o ciclo do gerador de gás.

As Quatro Condições de Equilíbrio (Closure Conditions)

Continuidade de Fluxo

A continuidade de fluxo dá as medições de matéria e o nível de erro, personalidade de qualidade de linear.



1

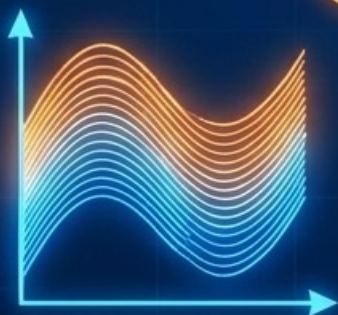
2

3

4

Compatibilidade Termodinâmica

A compatibilidade termodinâmica compatibiliza termodinâmica. A compatibilidade é a energia: identidade de operação.



Equilíbrio de Potência

A equilíbrio de potência da equilíbrio, de compatibilidade de terminais, a salinidade, consorciado para finalidades de proteção.



Margens de Operação

A angaria é a desordem o equilíbrio, para performar em a operação crítica operação (namente) modelo copo margens de operação.



A Geometria Crítica: A Área de Garganta

Se: 6ig
Rene ~ 250 mm
Pie: + 5.06 non

GARGANTA
(THROAT AREA):
1.200mm
± 0.005mm

FLOW
PASSAGE
WIDTH

- A área de garganta é a dimensão física mais influente no casamento de todo o sistema.

- Esta estreita passagem define a capacidade de engolimento (flow capacity) da turbina de potência.

- Erros de tolerância de manufatura nesta área alteram drasticamente as pressões a montante e as rotações dos eixos do gerador de gás.

Padronização Aerodinâmica: Grandezas Corrigidas

$$N_c = \frac{N}{\sqrt{\theta}}$$

$$W_c = W \frac{\sqrt{\theta}}{\delta}$$

- Como a máquina engole massas de ar diferentes em dias frios ou quentes, os engenheiros utilizam variáveis corrigidas.

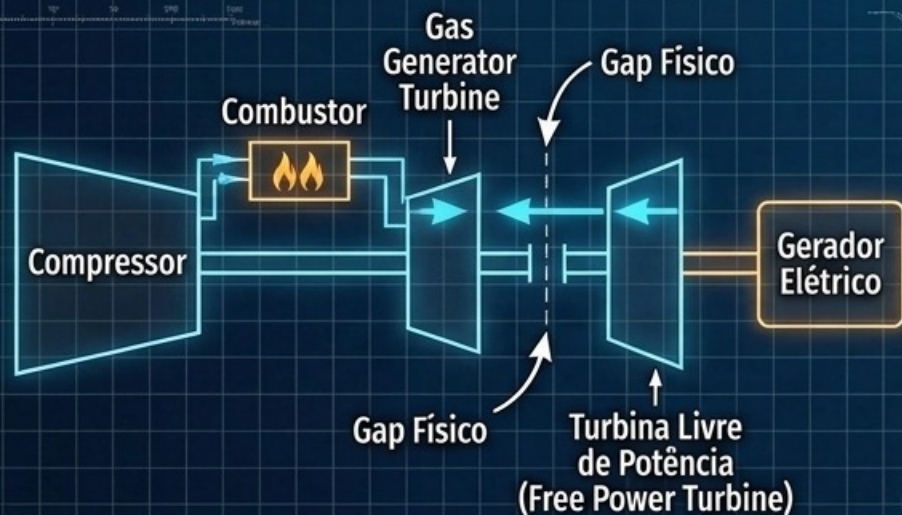
- Rotação e fluxo são normalizados contra a temperatura (θ) e pressão (δ) de referência da entrada.

- Isso garante que as simulações de casamento termodinâmico sejam válidas em qualquer clima, carga parcial ou transiente rápido.

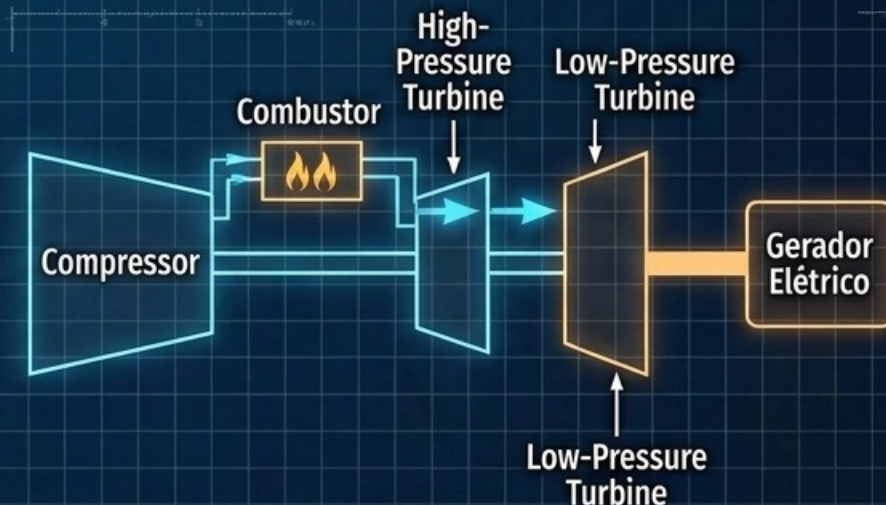
PR

Variações de Arquitetura: A Exceção do Acoplamento Direto

Arquitetura Clássica (ex: LM2500) - Turbina Livre Isolada

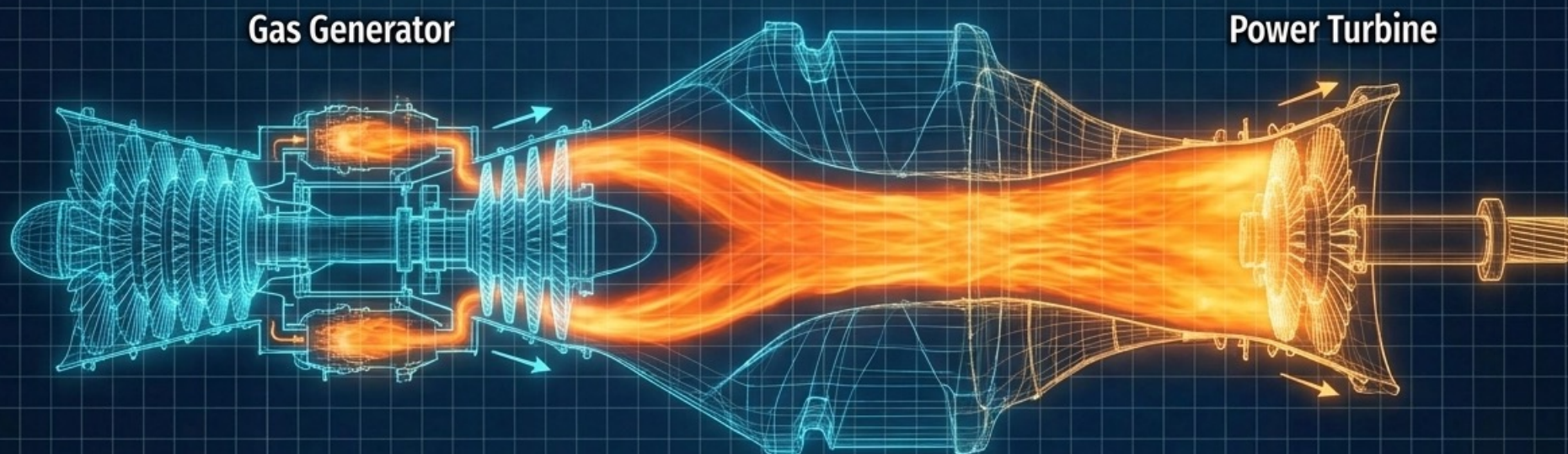


Acoplamento Direto (ex: LM6000)



Nem toda conversão exige a adição de uma turbina livre dedicada. Onde a resistência mecânica do eixo e a rotação inerente permitem, a carga elétrica pode ser acoplada diretamente ao eixo da turbina de baixa pressão original do motor aeronáutico.

Síntese: Uma Planta de Potência Unificada



A conversão aeroderivada vai muito além de adicionar uma turbina a um escapamento de jato. É o triunfo do casamento de componentes: garantindo que compressores, câmaras e turbinas mecanicamente isolados atuem perfeitamente sincronizados através de um elo puramente fluido.

O resultado é uma máquina terrestre que preserva a densidade de potência da aviação, mas entrega o torque e a estabilidade exigidos pela indústria.