



Máquinas Térmicas: Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Turbinas a Vapor

- Entre os chamados “prime-movers” (motores), a turbina a vapor é um dos equipamentos mais versáteis, sendo amplamente utilizado em termelétricas, propulsão marítima e indústrias de processos em geral, principalmente onde se requer energia elétrica e energia térmica para aquecimento.
- Exemplos de uso de turbinas a vapor na indústria:
 - Usina de Açúcar e Alcool
 - Indústria de Papel e Celulose;
 - Indústria Petroquímica
 - Indústria Alimentícia
 - Usinas de Processamento de Lixo



Vantagens e Desvantagens da Turbina a Vapor

- Vantagens da Turbina a Vapor
 - Utilização de vapor a alta pressão e alta temperatura.
 - Alta eficiência.
 - Alta velocidade de rotação.
 - Alta relação potência/tamanho.
 - Operação suave, quase sem vibração.
 - Não há necessidade de lubrificação interna.
 - Vapor na saída sem óleo.
 - Pode ser construído com diferentes potências: unidades pequenas (1 MW) ou muito grandes (até 1200 MW).
- Desvantagens da Turbina a Vapor
 - É necessário um sistema de engrenagens para baixas rotações.
 - A turbina a vapor não pode ser feita reversível.
 - A eficiência de turbinas a vapor simples e pequenas é baixa.

Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Instalação de Turbina a Vapor

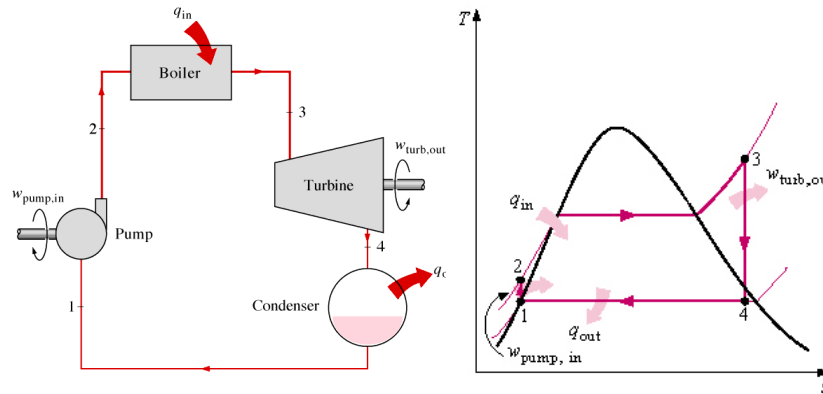


Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Ciclo de Rankine

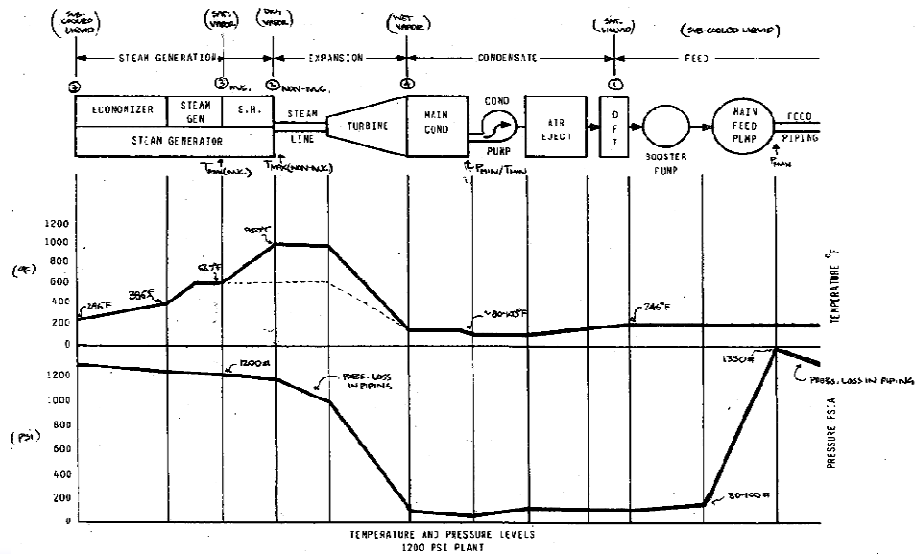


Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Ciclo da Turbina a Vapor



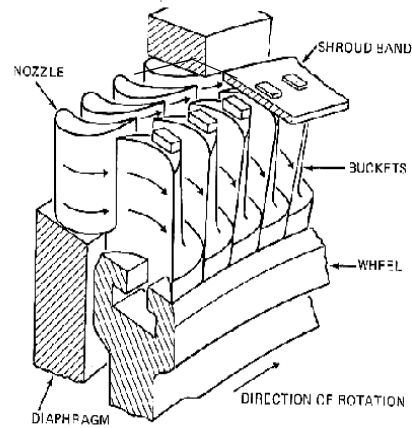
Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Funcionamento Geral

- Vapor a alta pressão entra nos bocais, que são as passagens formadas pelas pás estacionárias.
- As pás estacionárias redirecionam o vapor ao encontro das pás móveis.
- O escoamento de vapor muda de direção à medida que escoam nos canais entre as pás estacionárias.
- A mudança de direção gera uma força sobre as pás móveis.
- Esta força move o eixo da turbina, rotacionando-a e produzindo potência de eixo.



Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Turbina a Vapor

Pás móveis - presas ao eixo.

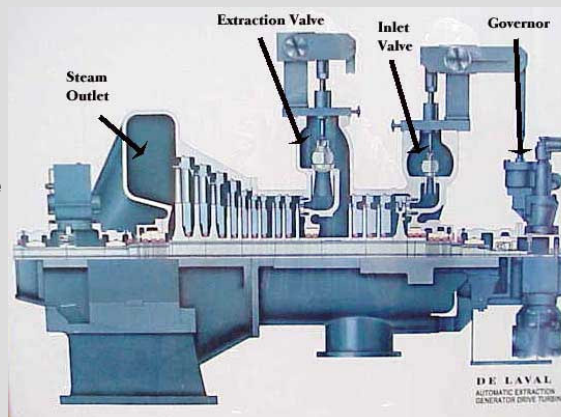
Pás estacionárias - presas à carcaça.

Válvula de controle - regula o fluxo de vapor.

Turbina - tem vários estágios de pressão: alta, média e baixa pressão (direita para esquerda)

Vapor a alta pressão - move a turbina (3600 rpm).

Gerador elétrico - conectado diretamente ao eixo da turbina.

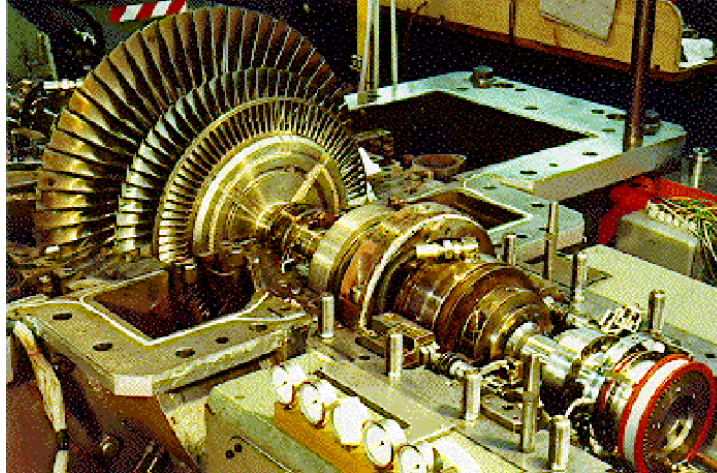


Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Turbina a Vapor



Turbina de Condensação (8,5 MW e 18.000 rpm), vapor $T = 100\text{ °C}$ a 250 °C e $p = 0.3\text{ bar}$ a 6 bar , com vazão de 6 t/h a 64 t/h .

Turbinas a Vapor

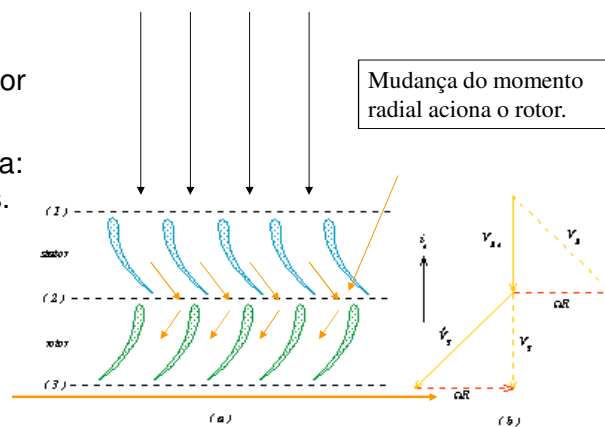
Jurandir Itizo Yanagihara



Funcionamento Geral

Escoam. axial do vapor

- Turbina : converte energia térmica do vapor em trabalho mecânico.
- Conversão de energia: ocorre em duas etapas.
- Passo 1 - Bocal : Entalpia => Energia Cinética
- Passo 2 – Pás : Energia Cinética => Trabalho Mecânico



Mov. do rotor.

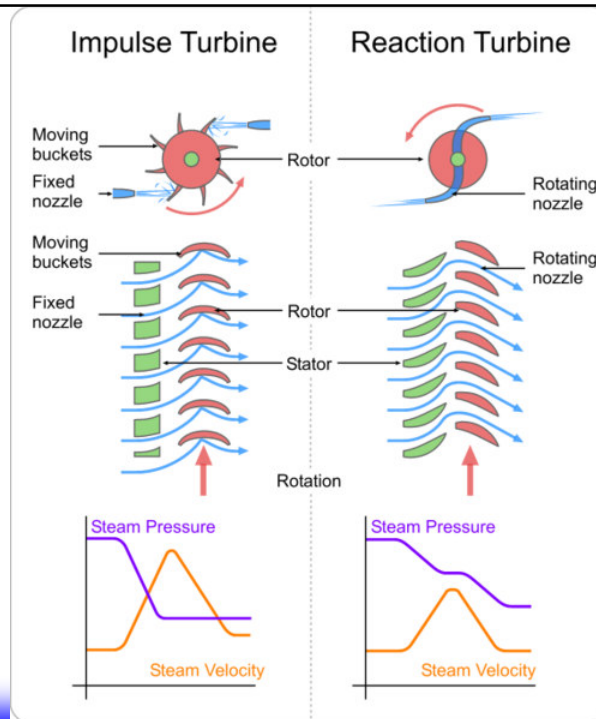
Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



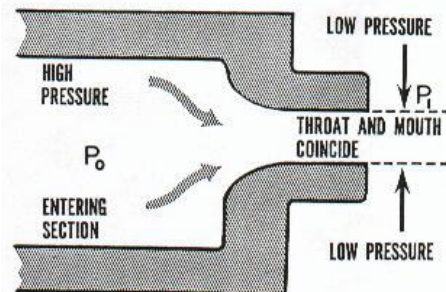
Diferença entre Turbinas de Ação e Reação

Turbinas a Vapor



Conversão de Energia no Bocal

- Bocal convergente = > usado para quedas de pressão menores (pressão de saída maior do que 0,577 x pressão de entrada).



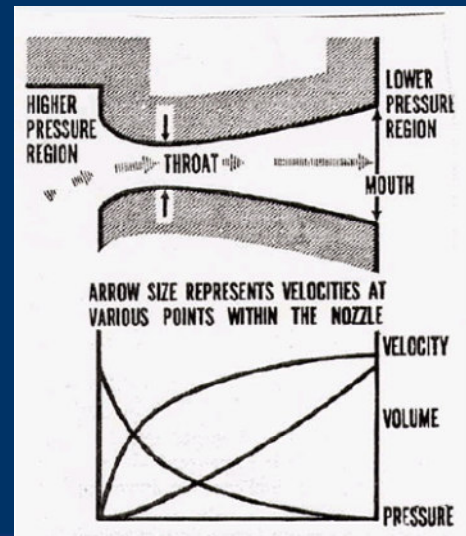
Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Bocal Convergente - Divergente

- Bocal convergente-divergente
=> utilizado para grandes quedas de pressão.



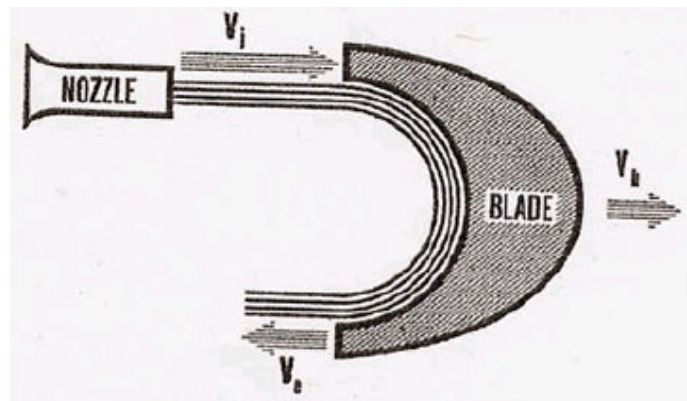
Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Pá móvel ideal = máx. eficiência da turbina

- Velocidade absoluta do vapor próximo de zero na saída
- Velocidade da pá igual à metade da velocidade do vapor.



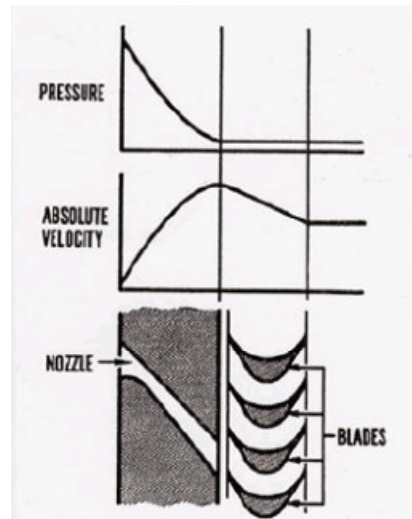
Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Estágio de ação (Rateau)

- A queda de pressão e de entalpia (e aumento da velocidade) ocorre nos bocais. Após passar pelos bocais, o Vapor atinge a pá da turbina a alta velocidade, transfere quantidade de movimento e sai com velocidade menor.

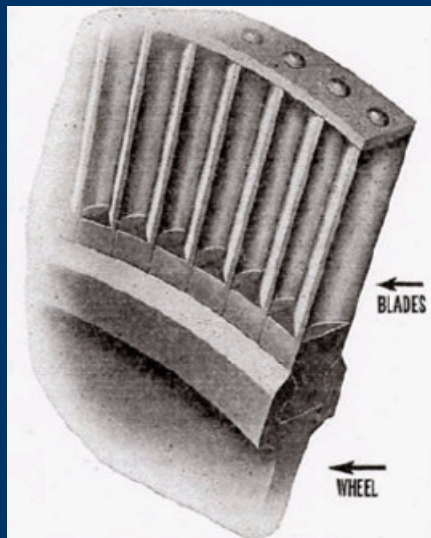


Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Pás Móveis – Estágio de Ação

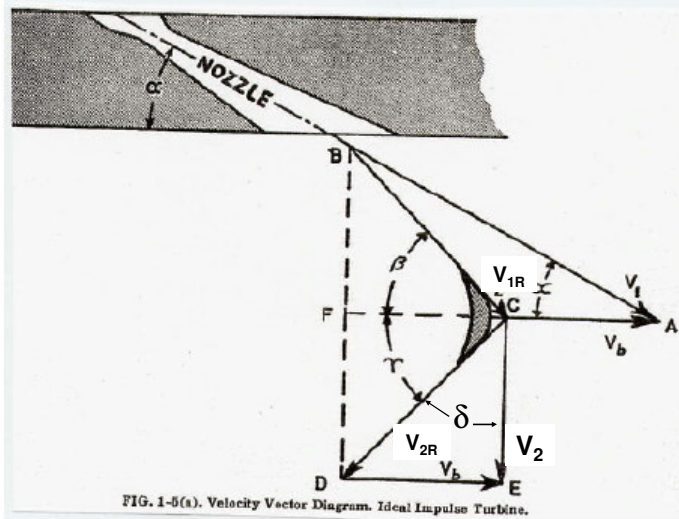


Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Triângulo de Velocidades – Estágio de Ação



Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Turbina de Ação Simples

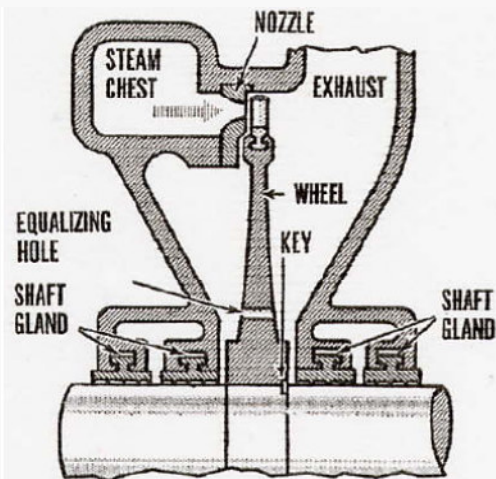


FIG. 2-3 (a). Schematic Arrangement of a Simple Impulse Turbine.

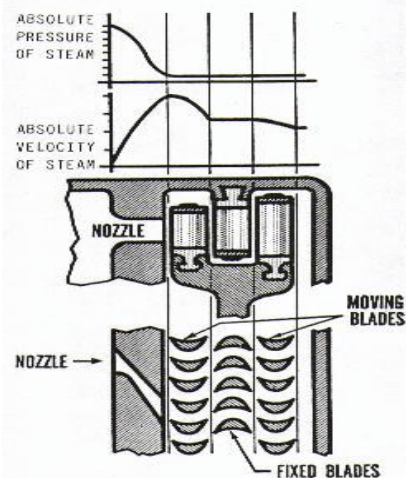
Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Turbina de Ação

- Composição de velocidade (para diminuir a velocidade do rotor).
- Turbina (Método) Curtis
- Um bocal (queda total de pressão), uma fileira de pás móveis, uma fileira de pás fixas, uma fileira de pás móveis (estágio Curtis)
- Recomendado para altas pressões iniciais.



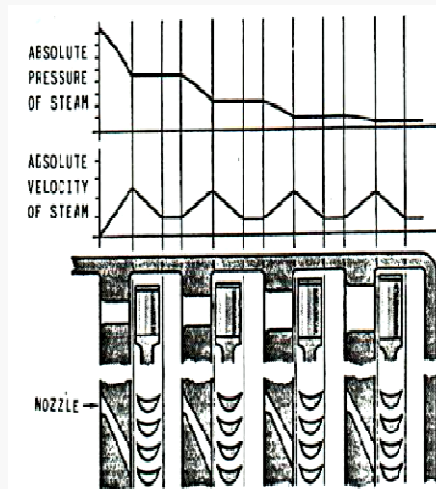
Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Turbina de Ação

- Composição de pressão (para diminuir a vel. do rotor).
- Turbina (Método) Rateau
- Dois ou mais estágios de ação (estágio Rateau).
- Cada estágio tem uma fileira de bocais e uma fileira de pás móveis.
- Cada estágio é separado da outra por partições ou diafragmas.
- Aumenta a eficiência ao utilizar pressões menores, permitindo que a turbina tralhe com velocidades razoáveis.



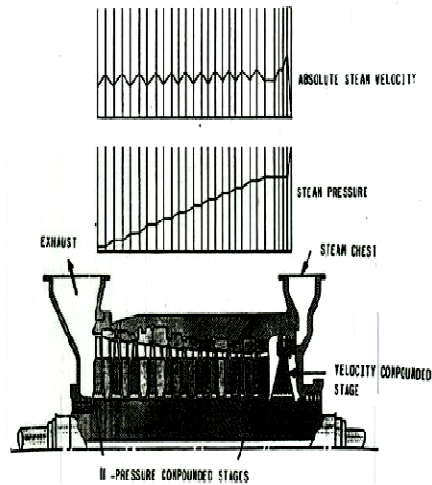
Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Turbina de Ação

- Composição de velocidade e pressão (para diminuir a velocidade do rotor).
- Um estágio Curtis seguido de vários estágios Rateau.
- Muito utilizado em turbogeradores pois permite trabalhar com velocidade de pás menores.

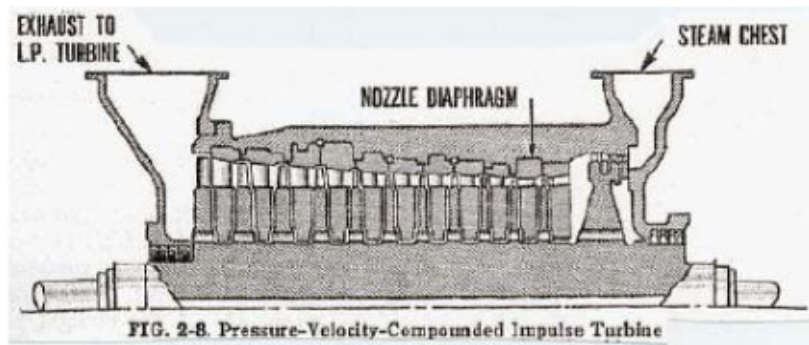


Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Composição Pressão Velocidade



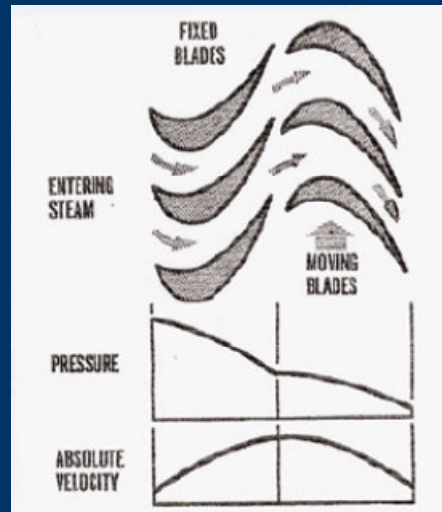
Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Estágio de reação (Parsons)

- As pás, tanto fixas quanto móveis, atuam como bocais, de tal forma que ocorre queda da pressão e da entalpia em ambas as passagens.

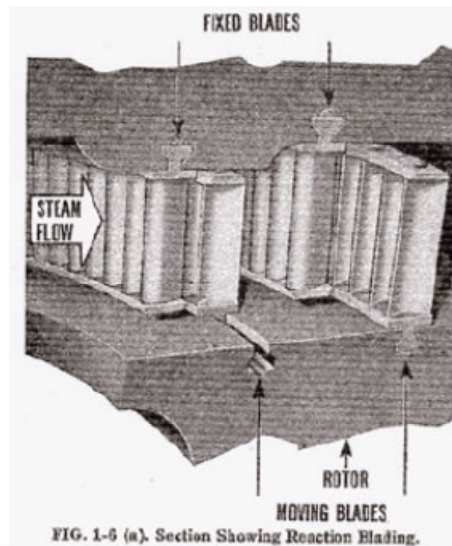


Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Estágio de Reação



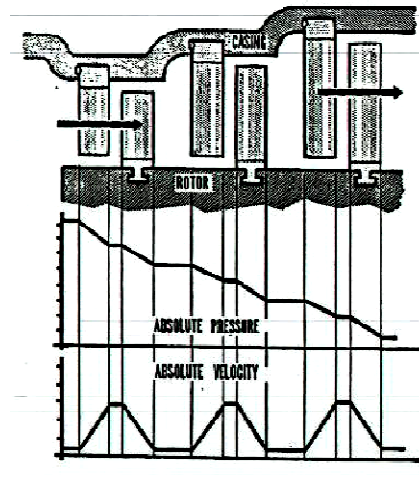
Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Turbina de Reação

- Os estágio de reação é chamado estágio Parsons.
- Turbina (vários estágios de reação, com queda de pressão distribuído) => turbina longa.
- Este tipo de turbina é eficiente para baixas pressões e velocidades.
- Existe uma diferença de pressão nas pás (necessário que a folga seja mínima).
- Diferença de pressão nas pás => gera uma força axial, que precisa ser contraposta.



Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Triângulo de Velocidades – Estágio de Reação

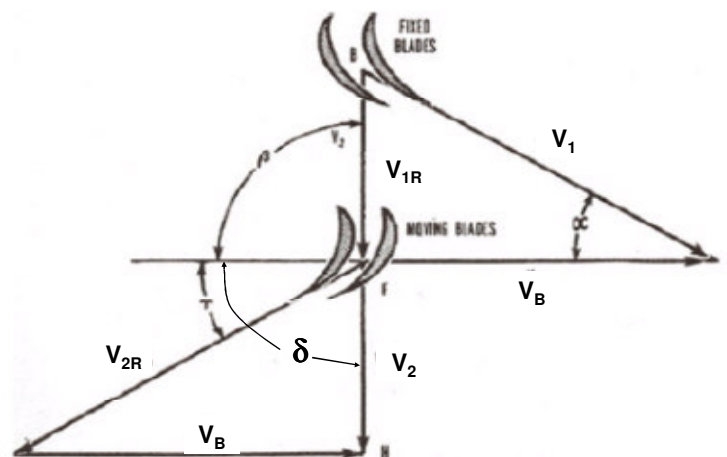


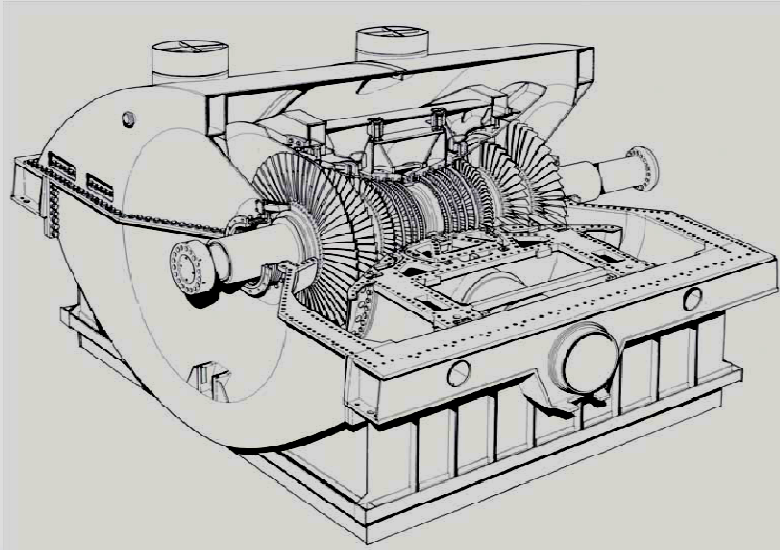
FIG. 1-71a). Velocity Vector Diagram, Ideal Reaction Turbine.

Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Divisão da Vazão de Entrada



Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Turbina de Contra-Pressão e Condensação

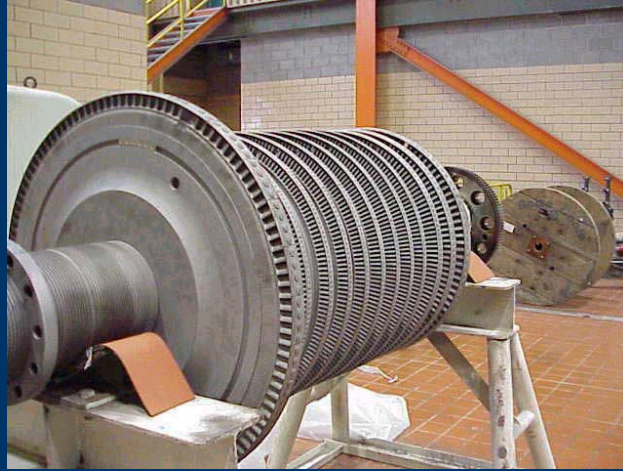


Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Turbina a Vapor (Ação)



Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Detalhe das Pás Móveis



Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



Rotor de Turbina a Vapor



Turbinas a Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara