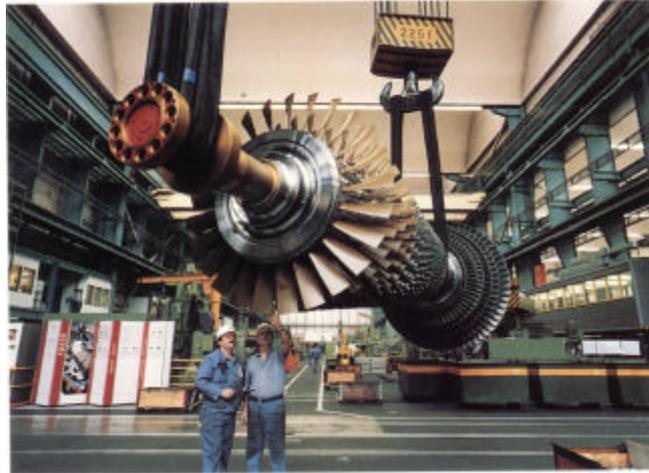


TURBINAS A VAPOR



Sumário

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	87
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS	87
EXPANSORES CONVERGENTES E CONVERGENTES-DIVERGENTES	88
PRINCÍPIO DA AÇÃO E PRINCÍPIO DA REAÇÃO	89
TURBINA DE AÇÃO E TURBINA DE REAÇÃO	90
ESTÁGIOS MÚLTIPLOS	91
ESTÁGIOS DE AÇÃO E ESTÁGIOS DE REAÇÃO	92
<i>Estágios de Ação</i>	92
<i>Estágios de Reação</i>	93
CAPÍTULO 3. COMPONENTES BÁSICOS	95
ESTATOR (RODA FIXA).....	95
ROTOR (RODA MÓVEL)	95
EXPANSOR.....	95
PALHETAS.....	96
DIAFRAGMAS.....	97
DISCO DO ROTOR.....	98
TAMBOR ROTATIVO.....	98
COROA DE PALHETAS	98
ARO DE CONSOLIDAÇÃO.....	98
LABIRINTOS	99
CARÇAÇA	100
MANCAIS DE APOIO (RADIAIS)	100
MANCAIS DE ESCORA	100
VÁLVULAS DE CONTROLE DE ADMISSÃO	101
<i>I - Construção “Multi-Valve”</i>	102
<i>II - Construção “Single-Valve”</i>	102
VÁLVULAS DE CONTROLE DE EXTRAÇÃO.....	103
VÁLVULAS DE BLOQUEIO AUTOMÁTICO	104

Capítulo 1. Introdução

Turbina a Vapor é a Máquina Térmica que utiliza a energia do vapor sob forma de energia cinética. Deve transformar em energia mecânica a energia contida no vapor vivo sob a forma de energia térmica e de pressão.

Embora a história registre a construção de dispositivos rudimentares, que se baseavam nos mesmos princípios, de ação ou de reação, das turbinas atuais em épocas bastante remotas, o desenvolvimento da turbina a vapor, como um tipo realmente útil de acionador primário até a sua forma atual, ocorreu somente nos últimos setenta anos.

A turbina é um motor rotativo que converte em energia mecânica a energia de uma corrente de água, vapor d'água ou gás. O elemento básico da turbina é a roda ou rotor, que conta com paletas, hélices, lâminas ou cubos colocados ao redor de sua circunferência, de forma que o fluido em movimento produza uma força tangencial que impulsiona a roda, fazendo-a girar. Essa energia mecânica é transferida através de um eixo para movimentar uma máquina, um compressor, um gerador elétrico ou uma hélice. As turbinas se classificam como hidráulicas ou de água, a vapor ou de combustão. Atualmente, a maior parte da energia elétrica mundial é produzida com o uso de geradores movidos por turbinas.

A turbina a vapor é atualmente o mais usado entre os diversos tipos de acionadores primários existentes. Uma série de favorável de características concorreu para que a turbina a vapor se destacasse na competição com outros acionadores primários, como a turbina hidráulica, o motor de combustão interna, a turbina a gás.

Capítulo 2. Fundamentos

Uma máquina motora a vapor tem como objetivo transformar a energia, contida no fluxo contínuo de vapor que receber, em trabalho mecânico. Sabe-se, da 2ª Lei da Termodinâmica, que somente parte da energia contida no vapor que chega à máquina poderá ser convertida em trabalho (a chamada exergia). A parte restante da energia, que não pode ser transformada em trabalho (a anergia), permanece no vapor descarregado pela máquina.

O trabalho mecânico realizado pela máquina pode ser o acionamento de um equipamento qualquer, como, por exemplo, um gerador elétrico, um compressor, uma bomba. A anergia, que permanece no vapor descarregado pela máquina, é, em muitos casos, simplesmente rejeitada para o ambiente, em um condensador. Em outras situações, entretanto, é possível aproveitar o vapor descarregado pela máquina para fins de aquecimento, por exemplo. Aproveita-se assim sua energia residual, melhorando, em consequência, de forma significativa o rendimento global do ciclo.

Admitindo uma máquina a vapor que trabalhe em regime permanente, seja adiabática, receba vapor em um estado termodinâmico (1) e descarregue este mesmo vapor em um estado (2), têm-se:

a) a energia contida no vapor admitido:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2} + z_1$$

b) a energia contida no vapor descarregado:

$$h_2 + \frac{v_2^2}{2} + z_2$$

c) o trabalho realizado:

$$w = (h_1 - h_2) + \left(\frac{v_1^2 - v_2^2}{2} \right) + (z_1 - z_2)$$

onde: $h \equiv$ entalpia

$$\frac{v^2}{2} \equiv \text{energia cinética}$$

$z \equiv$ energia potencial

As variações de energia cinética e energia potencial são normalmente desprezadas, a não ser em pontos onde a velocidade do vapor assume valores muito altos, como na saída dos expansores. Assim, é prática corrente desprezar nas expressões anteriores, a não ser quando aplicadas a expansores, tanto a energia cinética como a energia potencial, trabalhando apenas com os valores da entalpia.

Em uma máquina alternativa a vapor, a energia do vapor é convertida diretamente em trabalho mecânico à medida que o vapor se expande no interior do cilindro, deslocando o êmbolo, que, por sua vez, aciona o sistema biela - manivela produzindo trabalho no eixo.

Em uma turbina a vapor a transformação de energia do vapor em trabalho é feita em duas etapas. Inicialmente, a energia do vapor é transformada em energia cinética. Para isso o vapor é obrigado a escoar através de pequenos orifícios, de formato especial, denominados expansores, onde, devido à pequena área de passagem, adquire alta velocidade, aumentando sua energia cinética, mas diminuindo, em consequência, sua entalpia. Em um expansor, além do aumento de velocidade e da diminuição da entalpia, ocorrem também queda na pressão, queda na temperatura e aumento no volume específico do vapor.

Na Segunda etapa da transformação, a energia cinética obtida no expansor é transformada em trabalho mecânico. Esta transformação de energia pode ser obtida de duas maneiras diferentes: Segundo o princípio da Ação ou segundo o princípio da Reação.

EXPANSORES CONVERGENTES E CONVERGENTES-DIVERGENTES

Os expansores são, como já vimos, restrições ao fluxo de vapor e tem como objetivo converter a energia do vapor em energia cinética. O expansor ideal seria um expansor adiabático reversível, portanto isoentrópico. Este expansor ideal seria capaz de converter em velocidade todo o salto de entalpia disponível. A evolução em um expansor real, entretanto, se dará sempre com aumento de entropia devido às irreversibilidades internas, inevitáveis em qualquer escoamento. Assim, haverá sempre um certo afastamento entre a performance teórica, prevista para um expansor ideal, e a performance que se obtém em um expansor real. A velocidade que se obtém em um expansor real será sempre menor do que a teoricamente prevista para um expansor ideal.

O projeto de um expansor terá, portanto, como objetivo básico aproximá-lo do modelo ideal, isoentrópico, no sentido de maximizar a energia cinética obtida para um determinado salto de pressão.

A Figura 2.1 mostra os dois tipos básicos de expansores: os expansores convergentes e os expansores convergente - divergentes. Os convergentes são usados sempre que a pressão de descarga for maior ou igual a 53% da pressão de admissão (pequenos saltos de entalpia). Os convergente-divergentes são usados sempre que a pressão de descarga for menor que 53% da pressão de admissão (grandes saltos de entalpia).

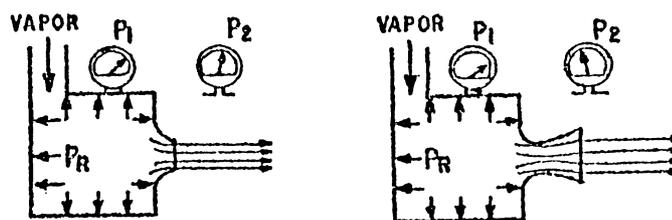


Figura 2.1 – Expansor Convergente e Convergente-Divergente

PRINCÍPIO DA AÇÃO E PRINCÍPIO DA REAÇÃO

As duas maneiras básicas, pelas quais é possível aproveitar a energia cinética obtida no expansor, para realização de trabalho mecânico: o princípio da ação e o princípio da reação estão ilustrados na Figura 2.2, a seguir.

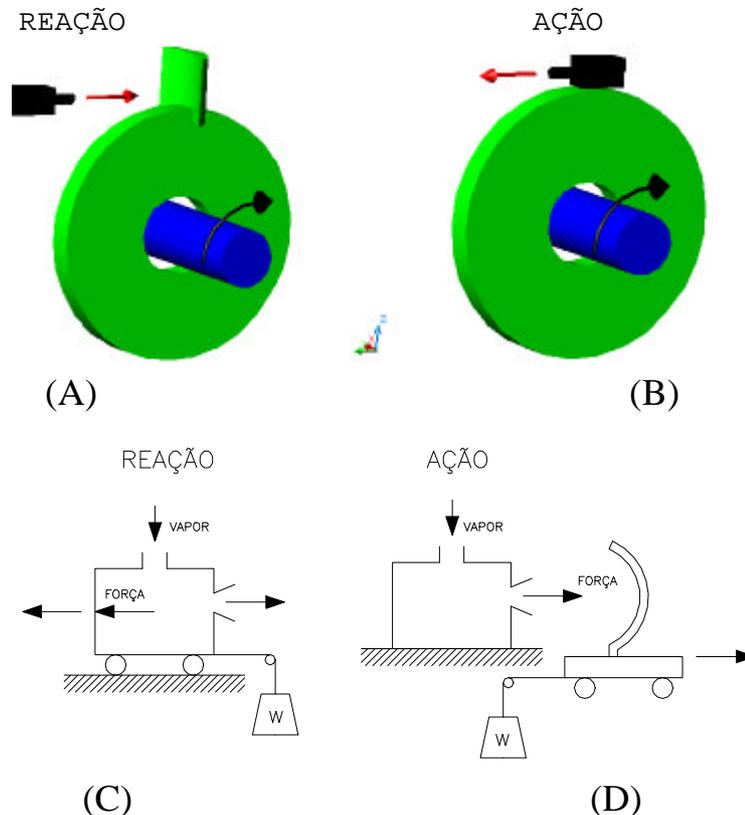


Figura 2.2 – (A e B) Turbina de ação e reação (C e D) Princípio de ação e reação

Se o expansor for fixo e o jato de vapor dirigido contra um anteparo móvel, a força de ação do jato de vapor irá deslocar o anteparo, na direção do jato, levantando o peso W . Se, entretanto o expansor puder mover-se, a força de reação, que atua sobre ele, fará com que se desloque, em direção oposta do jato de vapor, levantando o peso W . Em ambos os casos a energia do vapor foi transformada em energia cinética no expansor e esta energia cinética, então, convertida em trabalho.

Embora nada conhecesse a respeito de turbo - máquinas térmicas, Newton, no século XVII, estabeleceu as leis que explicam exatamente os dois princípios apresentados acima. Newton afirmou que é necessário exercer uma força para mudar a velocidade (tanto em módulo como em direção) de um corpo em movimento. Este princípio é ilustrado na parte direita da figura 2.2. O jato de vapor (um corpo em movimento) tem sua velocidade modificada pelo anteparo circular, colocado em seu caminho. A força resultante move o anteparo, na direção do jato, e levanta o peso W . Este é, em essência, o princípio da ação.

Newton estabeleceu também que a cada ação corresponde uma reação igual e contrária. Esta lei é a base teórica que explica o funcionamento tanto de um foguete espacial ou de um avião a jato puro, como também de um esguicho rotativo de jardim.

Inicialmente devemos notar que a ação do jato sobre o ar atmosférico nada tem a ver com o princípio da reação, já que este é perfeitamente válido também em um ambiente sob vácuo. Um foguete espacial, cuja movimentação é baseada exclusivamente no princípio da reação, opera perfeitamente fora da atmosfera. A força impulsora está no interior do expansor. Imagine que a caixa da Figura 2.2 não tenha abertura alguma e esteja cheia de vapor sob pressão. A pressão agindo em qualquer parede equilibra exatamente a pressão agindo na parede oposta e, havendo balanceamento de forças, a caixa permanecerá em repouso. Entretanto, se fizermos um furo em um dos lados da caixa e colocarmos neste furo um expansor, haverá, através do expansor, um jato de vapor e a pressão no expansor será menor do que a pressão no ponto correspondente da

parede oposta. O desbalanceamento de forças, então produzido, fará a caixa mover-se na direção oposta a do jato de vapor. Em essência, este é o princípio da reação.

TURBINA DE AÇÃO E TURBINA DE REAÇÃO

Destes dois dispositivos de laboratório, apresentados na Figura 2.2, cuja única utilidade prática é apresentar os princípios da ação e da reação, é possível derivar uma turbina de ação e uma turbina de reação rudimentar.

Se tivermos um expansor, montado em uma câmara de vapor estacionária, dirigindo um jato de vapor para uma palheta, montada na periferia de uma roda, teremos uma turbina de ação rudimentar.

Se, por outro lado, montarmos a própria câmara de vapor com o expansor, na periferia da roda e conseguirmos levar vapor, de forma contínua, a esta câmara, através de um eixo oco, teremos construído uma turbina de reação elementar. A construção de uma turbina de reação pura, como esta, apresenta dificuldades de ordem prática, pois a condução do vapor através do eixo não é uma solução construtiva satisfatória. Por esta razão não se fabricam turbinas de reação pura.

Embora estas duas turbinas rudimentares apresentadas ilustrem os princípios básicos envolvidos, algumas modificações são necessárias para convertê-las em unidades práticas.

Em uma turbina de ação real teremos, a não ser em máquinas de potência muito pequena, não apenas um, mas vários expansores, em paralelo, constituindo um arco ou um anel de expansores, conforme ocupem apenas parte ou toda a circunferência. Os anéis de expansores são também conhecidos como rodas de palhetas fixas. Os expansores dirigem seu jato de vapor na direção não de uma palheta, mas de uma roda de palhetas móveis, conforme ilustra a Figura 2.3. Em um estágio de ação toda a transformação de energia do vapor (entalpia) em energia cinética ocorrerá nos expansores. Em consequência no arco ou no anel de expansores (roda de palhetas fixas) de um estágio de ação haverá uma queda na pressão do vapor (diminuem também a entalpia e a temperatura, enquanto aumenta o volume específico) e um aumento da velocidade. Na roda de palhetas móveis não haverá expansão (queda de pressão), pois as palhetas móveis têm seção simétrica e que resulta em áreas de passagens constantes para o vapor. Não havendo expansão, a velocidade do vapor em ação às palhetas móveis ficará constante. Não obstante, haverá uma queda de velocidade absoluta do vapor nas palhetas móveis, transformando, assim, a energia cinética, obtida nos expansores, em trabalho mecânico.

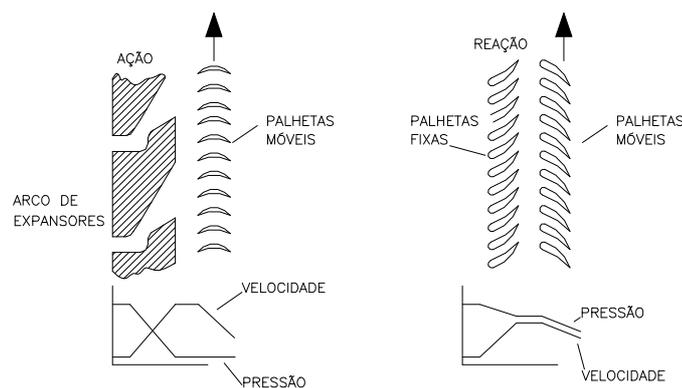


Figura 2.3 – Estágio de ação e de reação

Em uma turbina de reação comercial teremos sempre vários estágios, colocados em serie, sendo cada estágio constituído de um anel de expansores (também chamado de roda de palhetas fixas), seguido de uma roda de palhetas móveis, como está apresentado esquematicamente na Figura 2.3. Tanto as palhetas fixas, como as palhetas móveis têm seção assimétrica, o que resulta em áreas de passagens convergentes, para o vapor, em ambas. Por esta razão, em uma turbina de reação comercial, parte da expansão do vapor ocorrerá nas palhetas fixas e parte ocorrerá nas palhetas móveis. Isto representa um desvio do princípio de reação puro, segundo o qual toda a expansão deveria ocorrer nas palhetas móveis. Na realidade o que chamamos

comercialmente de turbina de reação é uma combinação com grandes saltos de entalpia e onde a preocupação com a eficiência é essencial, seríamos levados a velocidades excessivas nas palhetas, incompatíveis com sua resistência mecânica. A solução para o problema é dividir o aproveitamento do salto de entalpia em vários saltos menores subsequentes, que chamamos de estágios. Máquinas de grande potência tem, portanto, usualmente, vários estágios, colocados em serie, podendo ser tanto de ação como de reação.

Nas palhetas fixas temos, portanto, uma expansão parcial do vapor, resultando em uma queda de pressão e em um aumento da velocidade. Nas palhetas móveis ocorrerá o restante da expansão, resultando em uma segunda queda de pressão e em um aumento da velocidade do vapor em relação à palheta. Entretanto, mesmo havendo um aumento da velocidade do vapor em relação à palheta móvel, causada pela expansão, a velocidade absoluta do vapor nas palhetas móveis cairá, pois estas atuam, não só como expansores, mas também pelo princípio da ação, transformando a velocidade gerada em trabalho mecânico.

Define-se como grau de reação, de um estágio de reação, a proporção entre a parte do salto de entalpia que ocorre nas palhetas móveis e o salto de entalpia total do estágio. É bastante usual a construção de estágios com grau de reação igual a 50%, embora outras proporções possam também ser admitidas.

ESTÁGIOS MÚLTIPLOS

A potência desenvolvida em turbina a vapor pode ser calculada por:

$$\dot{W} = \dot{m}(h_1 - h_2) \text{ onde } \dot{m} = \text{vazão em massa de vapor}$$

h_1 = entalpia do vapor admitido

h_2 = entalpia do vapor descarregado

Por isto, máquinas de grande potência são colocadas entre condições de vapor de admissão (vapor de alta pressão) e de descarga (condensador), capazes de fornecer um grande salto de entalpia. Com isto conseguimos desenvolver a potência necessária, com uma vazão de vapor razoável. Máquinas de menor potência, entretanto, recebem usualmente vapor em condições menos severas (vapor de média pressão) e descarregam em pressão positiva (vapor de baixa pressão). Embora o salto de entalpia disponível, entre estas condições de vapor seja menor, as vazões de vapor necessárias não são grandes, devido à pequena potência desenvolvida.

Sabemos também que a velocidade na saída de um expansor considerada desprezível a energia cinética na entrada, pode ser medida por:

$$V_1 = \sqrt{2(h_1 - h_2)} \text{ onde}$$

h_1 = entalpia na entrada

h_2 = entalpia na saída do expansor.

Vemos, portanto, que a velocidade do vapor descarregado por um expansor cresce com o aumento do salto de entalpia desenvolvido no expansor.

Por outro lado, como veremos mais adiante, há uma relação definida entre a velocidade da palheta e a velocidade absoluta do vapor que chega a ela (0,5 para um estágio de ação e 1 para um estágio de reação, com grau de reação igual a 50%), para que o estágio apresente eficiência máxima.

A velocidade da palheta, por sua vez, é limitada a um valor máximo, compatível com sua resistência mecânica, uma vez que a força centrífuga, que age sobre elas, aumenta com o aumento de sua velocidade.

Em máquinas de menor potência, entretanto, o salto de entalpia a aproveitar é usualmente menor. Além disso decresce a preocupação com a eficiência da máquina e cresce a importância do custo inicial. Por isto máquinas de pequena potência são, usualmente, máquinas compactas, constituídas de um só estágio, sempre de ação, embora isto traga algum prejuízo à sua eficiência.

ESTÁGIOS DE AÇÃO E ESTÁGIOS DE REAÇÃO

Estágios de Ação

Os estágios de ação podem ser de dois tipos: estágios de pressão, também conhecidos como estágios Rateau, e estágios de velocidade, conhecidos como estágios Curtis.

Os estágios de pressão, mostrados na Figura 2.4, são os estágios de ação exatamente iguais aos que temos considerado até agora. Ele será composto por um arco de expansores e uma roda de palhetas móveis, se for o primeiro estágio da máquina, ou por um anel de expansores (roda de palhetas fixas) e uma roda de palhetas móveis, se for um estágio intermediário.

O estágio de velocidade é composto de um arco de expansores, seguido por duas rodas de palhetas móveis, entre as quais há um arco de palhetas guias. Toda a queda de pressão do estágio ocorre nos expansores. A velocidade do vapor, porém, é absorvida apenas parcialmente na primeira roda de palhetas móveis. O vapor deixa, então, esta roda com uma energia cinética ainda elevada que será aproveitada em uma segunda roda de palhetas móveis. Apenas com a finalidade de reorientar o jato de vapor, para que o esforço sobre a segunda roda de palhetas móveis seja de sentido igual ao do esforço sobre a primeira roda, é colocado entre ambas um arco de palhetas guias. É importante notar que não há expansão nas palhetas guias, permanecendo constantes, ao longo delas, tanto a pressão como a velocidade. Por isso estas palhetas têm formato simétrico e seções de passagem de vapor constantes, à semelhança das palhetas móveis de estágios de ação. O estágio de velocidade, que acabamos de descrever, é mostrado à direita da Figura 2.4.

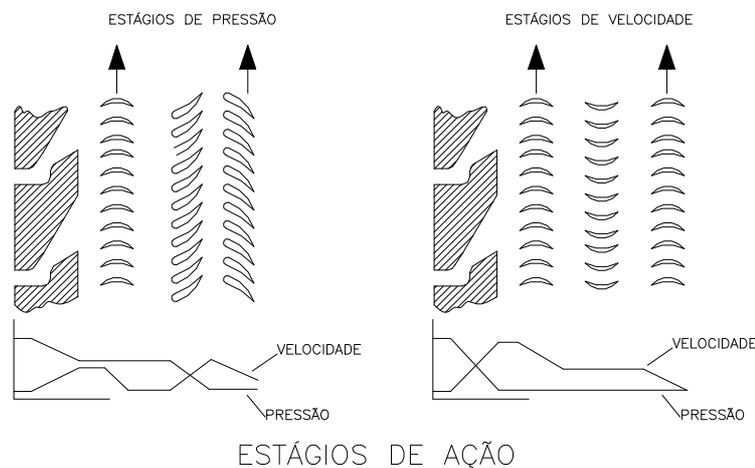


Figura 2.4 – Estágio de ação

Em um estágio de velocidade, como apenas metade da velocidade do vapor é absorvida por roda, admite-se que a velocidade do vapor na entrada da primeira roda seja igual a quatro vezes a velocidade periférica da palheta. Por esta razão em um estágio de velocidade conseguimos aproveitar um grande salto de entalpia, embora com algum prejuízo da eficiência.

O estágio Curtis tem duas aplicações características: como estágio único de máquinas de pequena potência e como primeiro estágio de máquinas de grande potência. No primeiro caso visamos obter uma máquina compacta, de baixo custo inicial, embora com algum prejuízo de sua eficiência, pelo

aproveitamento do salto de entalpia disponível, que não é usualmente muito grande, em um único estágio de velocidade. No caso das máquinas de grande potência, que recebem usualmente vapor a alta pressão e a alta temperatura, é vantajoso, para o projeto mecânico da máquina, que o vapor logo no primeiro estágio sofra uma grande queda de entalpia, significa dizer de pressão e de temperatura. Isto é possível com um estágio de velocidade.

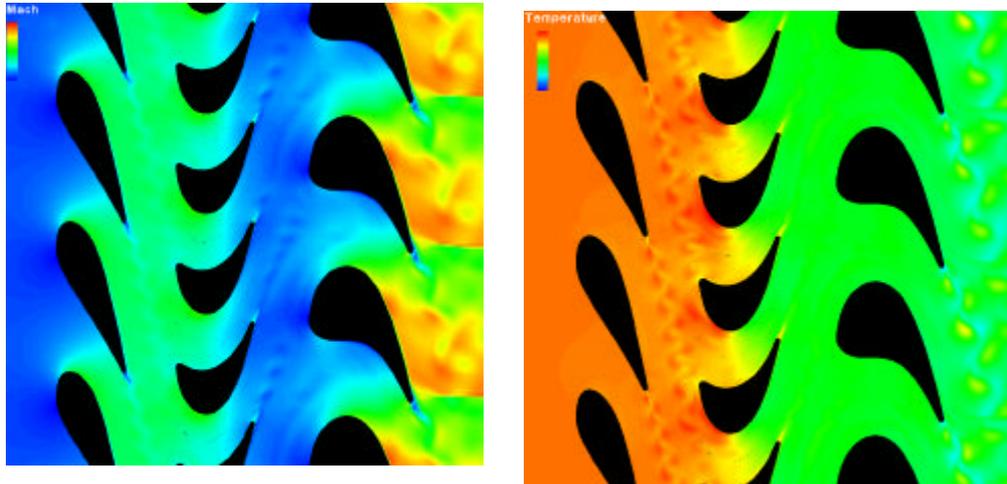


Figura 2.5 – Estágio de Ação em função (a) da velocidade e (b) da temperatura

Estágios de Reação

Os estágios de reação, chamados também de estágios Parsons, são sempre constituídos de uma roda de palhetas fixas, seguidas de uma roda de palhetas móveis, conforme mostra a Figura 2.6. Como as turbinas de estágio único são sempre turbinas de ação, o uso dos estágios de reação restringe-se aos estágios intermediários e finais das turbinas de reação de estágios múltiplos, pois mesmo nestas o primeiro estágio é usualmente um estágio de ação.

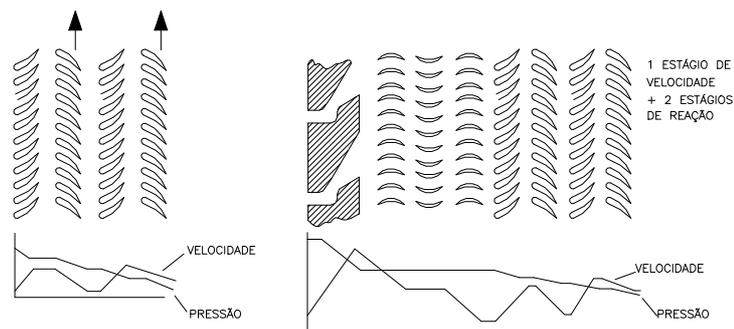


Figura 2.6 – Estágio de reação (esquerda) Turbina de reação, de estágios múltiplos (direita)

Vantagens

a) **Do ponto de vista termodinâmico:**

O ciclo térmico a vapor, do qual a turbina é parte integrante, apresenta rendimentos bastante satisfatórios, quando comparados com os ciclos térmicos de outras máquinas (Turbinas à Gás e Motores de Combustão Interna)

Obs. 1: O rendimento do ciclo térmico a vapor melhora à medida que aumentam a potência das máquinas, as pressões e as temperaturas de geração de vapor.

Obs. 2: O aproveitamento da energia liberada pelo combustível torna-se satisfatório se o calor residual contido no vapor descarregado pela turbina puder ser aproveitado em processos industriais ou para aquecimento geral.

b) Do ponto de vista mecânico:

As TV são puramente rotativas, i.e., a força acionadora é aplicada diretamente no elemento rotativo da máquina. Têm balanceamento bastante fácil, resultando em um funcionamento extremamente suave da máquina.

Obs. 3: Os impulsos aplicados pelo vapor nas palhetas da turbina são regulares e constantes. Se a carga acionada é mantida constante, o torque aplicado no acoplamento da turbina será bastante uniforme.

Obs. 4: É uma máquina de alta rotação (3.500 a 6.000 rpm) sendo ideal para acionar bombas e compressores centrífugos.

Obs. 5: Não há lubrificação interna. Devido a isso o vapor exausto da turbina é isento de óleo, dispensando-se procedimentos de filtragem e separação do vapor. O óleo circula somente através dos mancais e do sistema de controle, sendo continuamente filtrado e resfriado. Não há problemas de contaminação e a conseqüente oxidação do lubrificante, podendo o mesmo ter uma vida útil longa.

Obs. 6: A facilidade de controle e a possibilidade de variação de velocidade feita pelo o governador, é bastante simples, precisa e confiável.

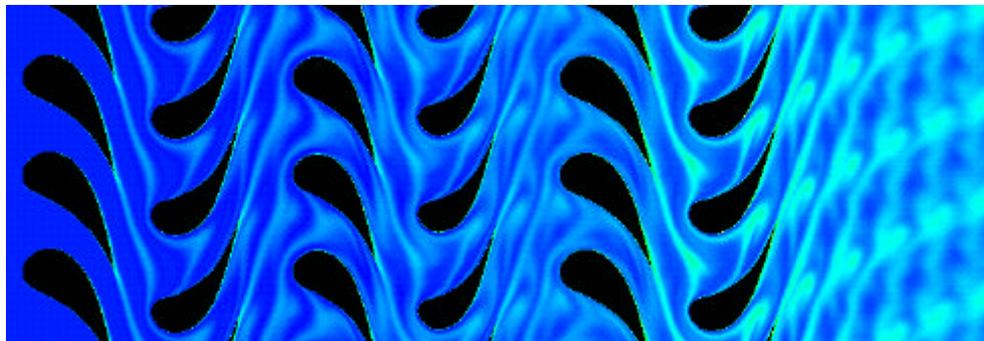


Figura 2.7 – Estágios de reação de uma Turbina de Reação

Capítulo 3. Componentes Básicos

Uma turbina a vapor é composta, basicamente de:

ESTATOR (RODA FIXA)

É o elemento fixo da turbina (que envolve o rotor) cuja função é transformar a energia potencial (térmica) do vapor em energia cinética através dos distribuidores;

ROTOR (RODA MÓVEL)

É o elemento móvel da turbina (envolvido pelo estator) cuja função é transformar a energia cinética do vapor em trabalho mecânico através dos receptores fixos.

EXPANSOR

Conforme visto no Capítulo 2, é o órgão cuja função é orientar o jato de vapor sobre as palhetas móveis. No expansor o vapor perde pressão e ganha velocidade. Podem ser convergentes ou convergentes-divergentes, conforme sua pressão de descarga seja maior ou menor que 55% da pressão de admissão. São montados em blocos com 1, 10, 19, 24 ou mais expansores de acordo com o tamanho e a potência da turbina, e conseqüentemente terão formas construtivas específicas, de acordo com sua aplicação.



Figura 3.1 – Estator, Eixo do Rotor e Palhetas Móveis

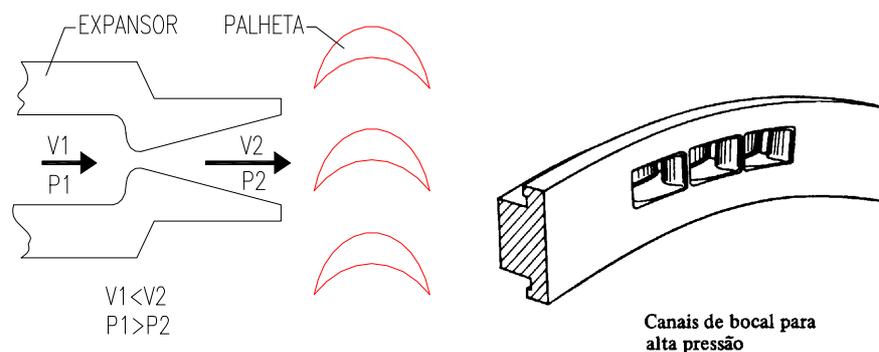


Figura 3.2 – Expansor

PALHETAS

São chamadas palhetas móveis, as fixadas ao rotor; e fixas, as fixadas no estator.

As palhetas fixas (guias, diretrizes) orientam o vapor para a coroa de palhetas móveis seguinte. As palhetas fixas podem ser encaixadas diretamente no estator (carcaça), ou em rebaiços usinados em peças chamadas de anéis suportes das palhetas fixas, que são, por sua vez, presos à carcaça.

As palhetas móveis, são peças com a finalidade de receber o impacto do vapor proveniente dos expansores (palhetas fixas) para movimentação do rotor. São fixadas ao aro de consolidação pela espiga e ao disco do rotor pelo malhete e, ao contrário das fixas, são removíveis, conforme podemos ver da Figura 3.3 a Figura 3.4.

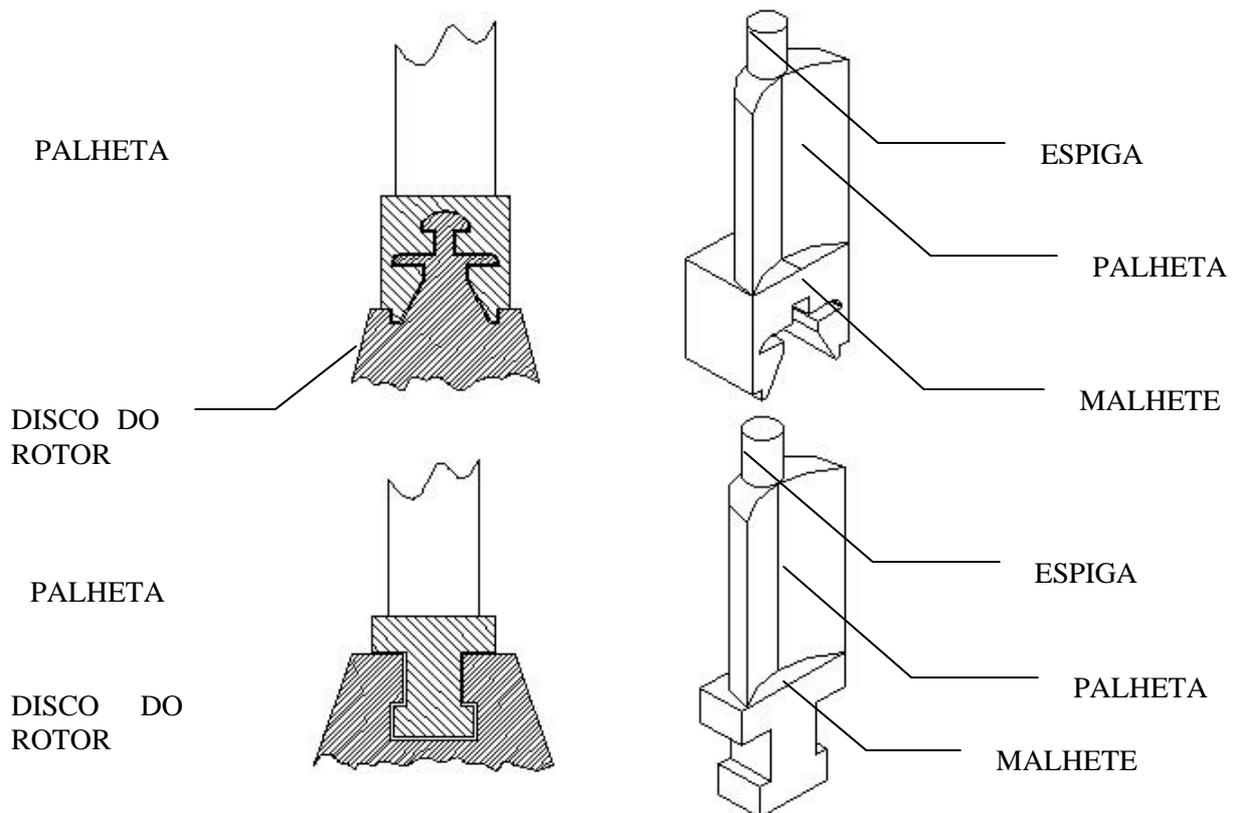


Figura 3.3 – Fixação da palheta móvel ao disco do rotor

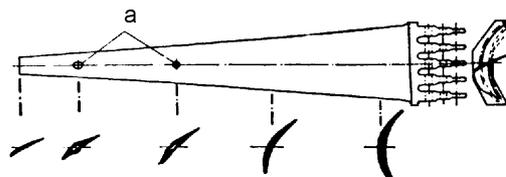


Figura 3.4 – Palheta móvel de um estágio final (MAN)



Figura 3.5 – Fixação das Palhetas móveis

DIAFRAGMAS

São constituídos por dois semicírculos, que separam os diversos estágios de uma turbina de ação multi-estágio. São fixados no estator, suportam os expansores e abraçam o eixo sem tocá-lo. Entre o eixo e o diafragma existe um conjunto de anéis de vedação que reduz a fuga de vapor de um para outro estágio através da folga existente entre diafragma-base do rotor, de forma que o vapor só passa pelos expansores. Estes anéis podem ser fixos no próprio diafragma ou no eixo. Este tipo de vedação é chamado de selagem interna.

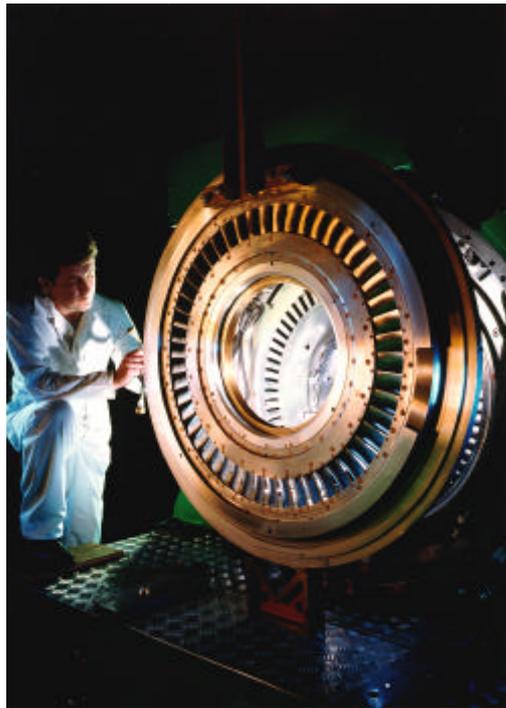


Figura 3.6 – Diafragma com anel de palhetas

DISCO DO ROTOR

É a peça da turbina de ação destinada a receber o empalhetamento móvel.

TAMBOR ROTATIVO

É basicamente o rotor da turbina de reação, que possui o formato de um tambor cônico onde é montado o empalhetamento móvel.

COROA DE PALHETAS

É o empalhetamento móvel montado na periferia do disco do rotor e dependendo do tipo e da potência da turbina pode existir de uma a cinco coroas em cada disco do rotor.

ARO DE CONSOLIDAÇÃO

É uma tira metálica, seccionada, presa às espigas das palhetas móveis com dupla finalidade: aumentar a rigidez do conjunto, diminuindo a tendência à vibração das palhetas e reduzindo também a fuga do vapor pela sua periferia. São utilizadas nos estágios de alta e média pressão envolvendo de 6 a 8 palhetas cada seção. Nos estágios de baixa pressão, é substituído por um arame amortecedor, que liga as palhetas, não por suas extremidades, mas em uma posição intermediária mais próxima da extremidade que da base da palheta (Figura 3.7).

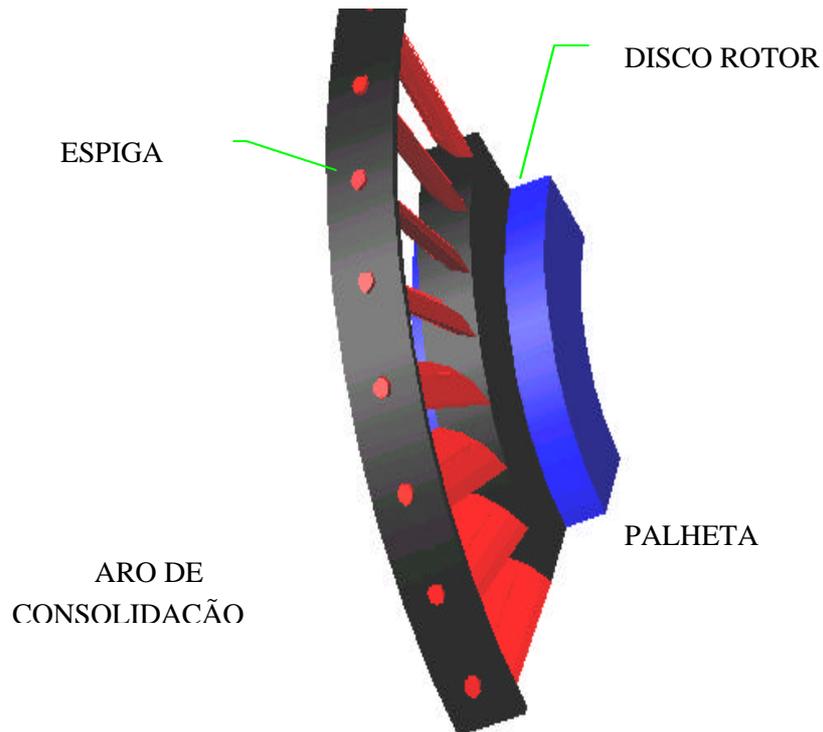


Figura 3.7 – Aro de consolidação, Disco rotor, e Coroa de palhetas



Figura 3.8 – Foto de uma seção de palhetas

LABIRINTOS

São peças metálicas circulares com ranhuras existentes nos locais onde o eixo sai do interior da máquina atravessando a carcaça cuja finalidade é evitar o escapamento de vapor para o exterior nas turbinas não condensantes e não permitir a entrada de ar para o interior nas turbinas condensantes. Esta vedação é chamada de selagem externa.

Nas turbinas de baixa pressão utiliza-se vapor de fonte externa ou o próprio vapor de vazamento da selagem de alta pressão para auxiliar a selagem, evitando-se assim não sobrecarregar os ejetores e não prejudicar o vácuo que se obtém no condensador, como vemos na Figura 3.9.

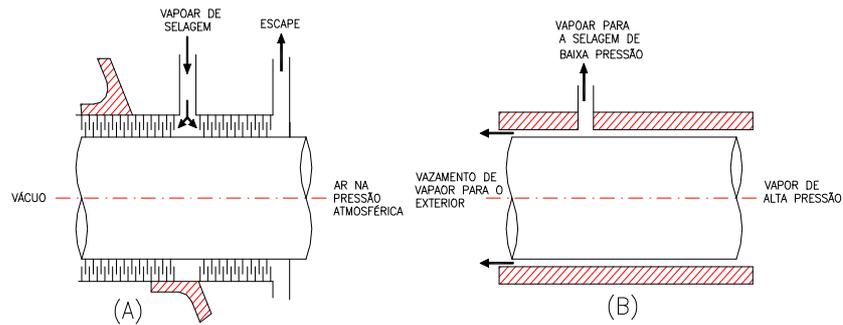


Figura 3.9 – (A) Selagem de baixa pressão; (B) Selagem de alta pressão

CARCAÇA

É o suporte das partes estacionárias tais como diafragmas, palhetas fixas, mancais, válvulas, etc. Na grande maioria das turbinas são de partição horizontal, na altura do eixo, o que facilita sobremaneira a manutenção.

MANCAIS DE APOIO (RADIAIS)

São distribuídos, normalmente, um em cada extremo do eixo da turbina com a finalidade de manter o rotor numa posição radial exata. Os mancais de apoio suportam o peso do rotor e também qualquer outro esforço que atue sobre o conjunto rotativo, permitindo que o mesmo gire livremente com um mínimo de atrito.

São na grande maioria mancais de deslizamento, como mostra a Figura 3.10, constituídos por casquilhos revestidos com metal patente, com lubrificação forçada (uso especial) o que melhora sua refrigeração e ajuda a manter o filme de óleo entre eixo e casquilho. São bipartidos horizontalmente e nos casos das máquinas de alta velocidade existe um rasgo usinado no casquilho superior que cria uma cunha de óleo forçando o eixo para cima mantendo-o numa posição estável, isto é, que o munhão flutue sobre uma película de óleo.

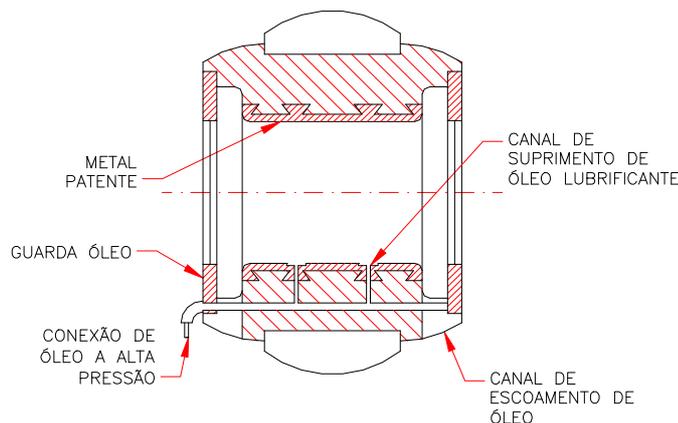


Figura 3.10 – Mancal radial de deslizamento

MANCAIS DE ESCORA

O mancal de escora é responsável pelo posicionamento axial do conjunto rotativo em relação às partes estacionárias da máquina, e, conseqüentemente, pela manutenção das folgas axiais. Deve ser capaz de verificar ao empuxo axial atuante sobre o conjunto rotativo da máquina, que é mais acentuado nas turbinas de reação.

Em turbinas de pequena potência o mancal de escora resume-se a apenas um rolamento em consequência do esforço axial ser pequeno. Para as turbinas de uso especial, usam-se mancais de deslizamento, cuja construção mais conhecida é a Kingsbury, como mostra a Figura 3.11, que consiste em dois conjuntos de pastilhas oscilantes, revestidas de metal patente, que se apoiam um em cada lado de uma peça solidária ao eixo, o colar (anel) de escora.

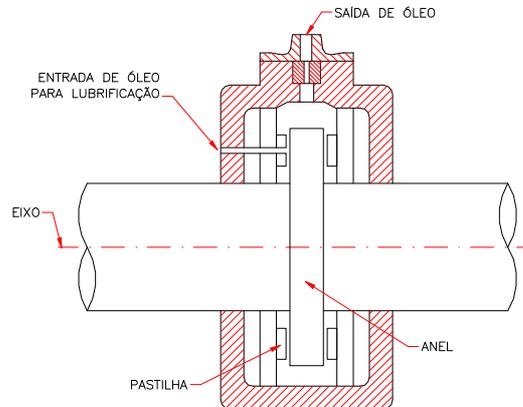


Figura 3.11 – Mancal radial de Escora



Figura 3.12 – Mancal em uma Turbina a Vapor

VÁLVULAS DE CONTROLE DE ADMISSÃO

Uma vez que a turbina opera normalmente entre condições de vapor estáveis, as variações da carga devem ser atendidas por meio do controle da vazão de vapor admitida na máquina. Esta função é executada, automaticamente, pelas válvulas de controle de admissão, sob controle de um dispositivo, o regulador (governador).

O regulador é ligado ao eixo da turbina, diretamente ou por meio de uma redução, girando, portanto, a uma rotação igual ou proporcional à rotação da turbina, e sente as flutuações da carga por intermédio de seu efeito sobre a velocidade da turbina. Assim, quando ocorre, por exemplo, um aumento de carga, se a vazão do vapor permanecer inalterada, haverá uma queda da velocidade da turbina. O regulador, entretanto, sente esta queda de velocidade incipiente e comanda uma abertura maior das válvulas de controle de admissão, permitindo a passagem de uma vazão maior de vapor, necessária ao aumento da carga e ao restabelecimento da velocidade inicial.

Existem dois tipos básicos para as válvulas de controle de admissão: a construção “multi-valve” e a construção “single-valve”.

I - Construção “Multi-Valve”

Na construção “Multi-Valve” o controle da admissão de vapor é feito através de várias válvulas, em paralelo, cada uma alimentando um grupo de expansores. A abertura destas válvulas é seqüencial, isto é, para uma carga muito baixa, a vazão de vapor necessária seria muito pequena, e estaria aberta, total ou parcialmente, apenas uma válvula, alimentando, portanto, apenas um grupo de expansores, permanecendo bloqueados os demais grupos. À medida que a carga aumenta, exigindo uma vazão maior de vapor, vão sendo abertas, em seqüência, as demais válvulas, alimentando outros grupos de expansores, até a condição de carga máxima, onde todas as válvulas estarão totalmente abertas e todos os expansores recebendo vapor. Esta abertura seqüencial permite que, à medida que a vazão total de vapor cresce, para atender ao aumento da carga, a quantidade de expansores que está recebendo vapor cresça proporcionalmente. Assim, a vazão de vapor através de cada expansor em operação, pode ser mantida constante, e igual à sua vazão de projeto, a despeito das flutuações da carga. Isto aumenta bastante a eficiência da turbina, principalmente em condições de baixa carga.

Estas válvulas de admissão de vapor, de construção múltipla e abertura seqüencial, são também conhecidas, devido à sua função, como válvulas parcializadoras.

Em turbinas de uso especial usamos quase sempre esta construção “multi-valve”, pois permite obter uma melhor eficiência para a turbina e um controle mais preciso.

A abertura seqüencial das válvulas de controle de admissão de vapor pode ser obtida, por exemplo, por meio de válvulas com hastes de comprimento variável, acionadas por uma barra horizontal, como mostra a Figura 3.13.

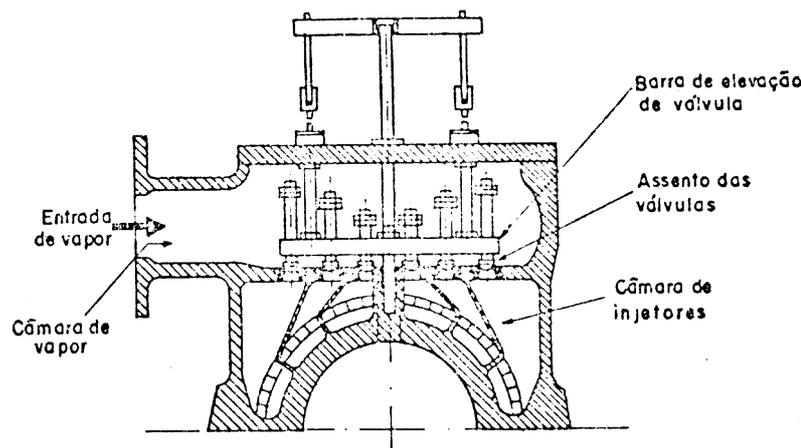


Figura 3.13 – Válvula de controle de admissão de vapor, tipo Multi-Valve, com hastes de comprimento variável levantadas por barra horizontal

II - Construção “Single-Valve”

Em turbinas de uso geral, onde a obtenção de uma solução simples e econômica é mais importante que o aumento da eficiência da turbina ou a precisão do controle, usamos a construção “single-valve” (estrangulamento).

Nesta construção, como mostra a Figura 3.14, a válvula de controle da admissão do vapor é única, admitindo vapor simultaneamente para todos os expansores. Esta construção é bastante ineficiente quando a turbina opera com carga baixa e, em conseqüência, com baixa vazão total de vapor, que será dividida igualmente por cada expansor. Isto fará com que a vazão em cada expansor seja bastante inferior à sua vazão de projeto e prejudicará a eficiência da turbina.

Para melhorar sua eficiência com baixa carga, as turbinas “single-valve” possuem válvulas parcializadoras, de acionamento manual, que podem fechar grupos de expansores. Quando a turbina estiver trabalhando com baixa carga, o operador poderá melhorar a eficiência da máquina, fechando manualmente uma ou mais válvulas parcializadoras.

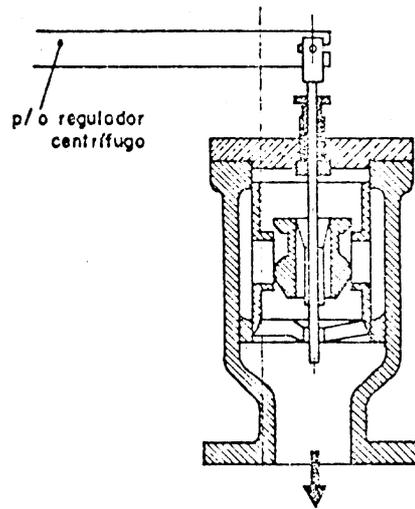


Figura 3.14 – Válvula de controle de admissão de vapor, tipo “Single-Valve” (estrangulador).

A Figura 3.15 mostra uma turbina de uso geral, com válvula de controle de admissão de vapor tipo “single-valve”, acionada diretamente pelo governador, e válvulas parcializadoras manuais.

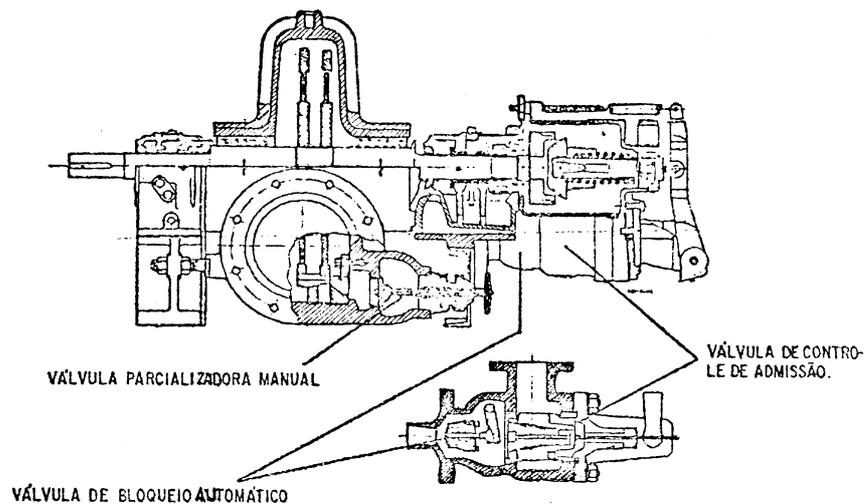


Figura 3.15 – Turbina de uso geral, com válvulas de controle de admissão tipo “Single-Valve”, acionada diretamente pelo governador, e válvulas parcializadoras manuais.

VÁLVULAS DE CONTROLE DE EXTRAÇÃO

Algumas turbinas possuem uma retirada parcial de vapor, em um estágio intermediário, e portanto a uma pressão intermediária, entre a de admissão e a de descarga, conhecida como extração. Como a pressão em um ponto qualquer ao longo da turbina varia, quando variam as condições de carga da turbina, se a extração consistir simplesmente em um flange, através do qual poderemos retirar vapor, após um determinado estágio da máquina, a pressão do vapor extraído será influenciada pelas condições de carga da turbina. Em alguns casos, como por exemplo na retirada de vapor para aquecimento regenerativo de água de alimentação de caldeira, esta flutuação na pressão do vapor extraído é perfeitamente aceitável. A este tipo de extração chamamos de extração não automática.

Em outras ocasiões, entretanto, como no caso das refinarias, desejamos uma retirada de vapor, a pressão constante, para uso no processo ou para acionamento de máquinas menores. Para manter a pressão

do vapor extraído constante, a despeito das flutuações da carga da turbina ou do consumo de vapor extraído, a turbina deverá ter um conjunto de válvulas de controle de extração.

As válvulas de controle de extração funcionam de maneira semelhante às válvulas de controle de admissão, só que controladas pela pressão do vapor extraído, através do controlador de pressão de extração, e não pela velocidade da turbina, através do governador. Assim, em qualquer aumento incipiente da pressão de extração, seja causado por flutuação da carga da turbina ou do consumo de vapor extraído, o controlador de pressão de extração comandará uma abertura maior da válvula de extração, permitindo um maior fluxo de vapor para a descarga da máquina, e, em conseqüência, um fluxo menor para a extração, o que restabelecerá a pressão no nível controlado. Em caso de diminuição da pressão de extração a ação do controlador de pressão de extração seria inversa, comandando o fechamento da válvula de extração. A este tipo de extração, com controle de pressão, chamamos de extração automática.

As válvulas de controle de extração, quando a extração é feita em alta ou média pressão, tem construção semelhante às válvulas de controle de admissão. Em extrações a baixa pressão, entretanto, é comum o uso de válvulas tipo grade, que proporcionam melhor área de passagem, necessária devido ao aumento do volume específico do vapor, que ocorre com a queda da pressão. A Figura 3.16 mostra uma válvula de extração, tipo grade, para baixa pressão.



Figura 3.16 – Válvula de controle de extração, tipo grade, para baixa pressão.

VÁLVULAS DE BLOQUEIO AUTOMÁTICO

A maneira usual de parar uma turbina a vapor é pelo fechamento rápido de uma válvula, chamada válvula de bloqueio automático, colocada em série com válvula de controle de admissão, o que corta totalmente a admissão de vapor para a turbina. Esta válvula é também conhecida como válvula de desarme rápido e como válvula de "trip".

Em uma turbina de uso geral a válvula de bloqueio automático é mantida, durante a operação da turbina, totalmente aberta, contra a ação de uma mola, travadas por um conjunto de alavancas externas, conhecidas como gatilho e alavancas de "trip". O gatilho de "trip" pode ser acionado pelo dispositivo de desarme por sobrevelocidade ou manualmente pelo operador, em ambos os casos liberando a alavanca de "trip", que sob a ação da mola, como mostra a Figura 3.17, fechará a válvula de bloqueio automático, cortando a admissão de vapor e parando a turbina.

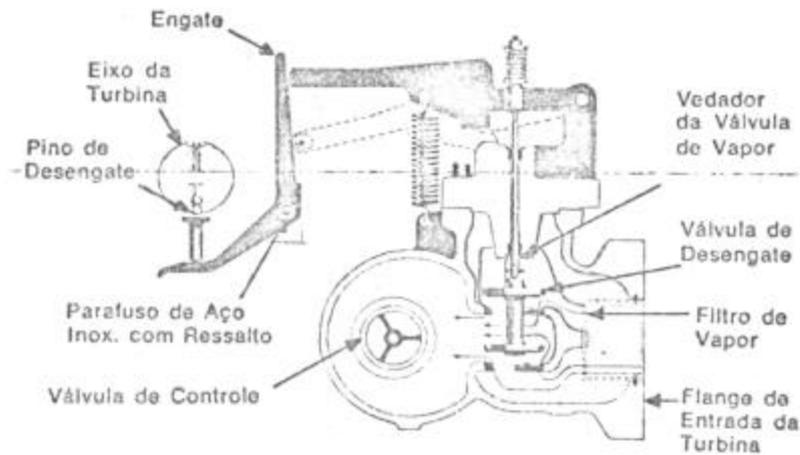


Figura 3.17 – Válvula de bloqueio automático, de uma turbina de uso geral, com acionamento mecânico

O dispositivo de desarma por sobrevelocidade consiste, como mostra a Figura 3.18, de um pino excêntrico mantido em seu alojamento, no eixo da turbina, pela força de uma mola, que contraria a força centrífuga, que tende a expulsar o pino de seu alojamento. A força centrífuga sobre o pino de “trip” aumenta à medida que aumenta a rpm da turbina. Quando é atingida uma determinada velocidade, conhecida como velocidade de “trip”, a força centrífuga sobre o pino de “trip” vence a força da mola e o pino de “trip” é expulso do seu alojamento, acionando o gatilho de “trip”. Este, por sua vez, libera a alavanca de “trip”, o que provoca o fechamento da válvula de bloqueio automático e a parada da turbina. A velocidade (rpm) em que o dispositivo de desarme por sobrevelocidade atuará pode ser regulada, pela modificação da tensão inicial da mola.

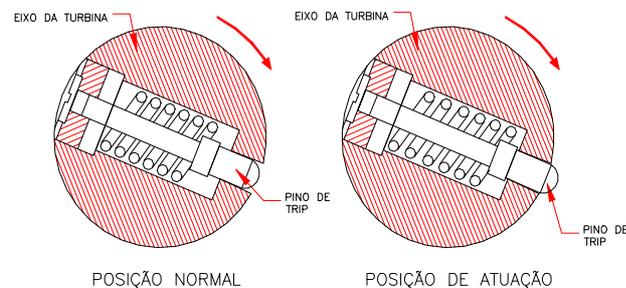


Figura 3.18 – Dispositivo de desarme por sobrevelocidade

O dispositivo de desarme por sobrevelocidade protege a turbina, impedindo que opere em velocidades superiores à velocidade de “trip”, onde as tensões resultantes da força centrífuga poderiam ser perigosas para a resistência mecânica do conjunto rotativo da turbina.

Em turbinas de uso especial, a válvula de bloqueio automático, bem como as válvulas de controle de admissão, exigem forças bastante elevadas para sua movimentação e posicionamento. Por isso não podem ser acionadas simplesmente por uma transmissão mecânica, como nas turbinas de uso geral, exigindo acionamento hidráulico, que permite a ampliação do esforço de saída, respectivamente, do mecanismo de “trip” e do governador, de maneira a torná-los suficientes ao acionamento da válvula de bloqueio automático e das válvulas de controle de admissão, como mostra a Figura 3.19.

As válvulas de bloqueio automático, de acionamento hidráulico, das turbinas de uso especial, têm além da sua função específica de bloquear o vapor, para parar a turbina, quando acionada pelo operador ou por uma condição insegura qualquer, uma segunda função: controlar a vazão reduzida de vapor necessária ao

aquecimento da turbina em baixa rotação. Por esta razão, estas válvulas devem permitir uma variação contínua de sua abertura, desde a posição de desarme, totalmente fechada, até a posição de operação, totalmente aberta.

As válvulas de bloqueio automático, sejam de acionamento mecânico, sejam de funcionamento hidráulico, uma vez acionadas é parada a turbina, exigem sempre que o operador as rearme manualmente para que a turbina possa ser recolocada em operação.

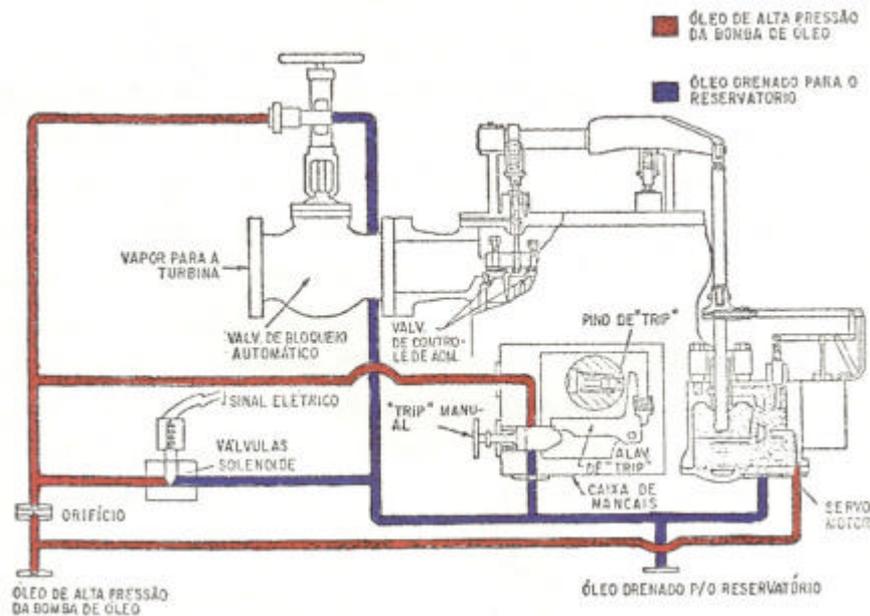


Figura 3.19 – Circuito hidráulico de acionamento da válvula de bloqueio automático e das válvulas de controle de admissão de uma turbina de uso especial..

