

# EJETORES

Um ejetor a vapor de simples estágio é composto por três partes básicas: **bico motriz, câmara de sucção e difusor**.

Na construção dos ejetores poderão ser usadas peças fundidas, usinadas ou feitas de chapas soldadas. O projeto do bico motriz segue a normas de conhecimento geral, entretanto, o projeto do difusor e o posicionamento do bico ou bicos motrizes em relação ao difusor é baseado exclusivamente em procedimentos empíricos.



Os valores apresentados a seguir são normalmente encontrados no projeto dos difusores, porém variam de fabricante para fabricante e também para um determinado fabricante estes valores poderão ser diferentes para diferentes famílias de ejetores.

Os cones de entrada do difusor possuem uma inclinação de  $2^\circ$  a  $20^\circ$  e o ângulo de divergência do cone de descarga normalmente fica entre  $3^\circ$  a  $10^\circ$ . A garganta do difusor é dimensionada para velocidade sônica ou para fluxo crítico, caso a relação da pressão de descarga e pressão de aspiração exceder 2:1.

O comprimento da garganta do difusor varia de ejetor para ejetor, porém, dados empíricos sugerem que este comprimento seja igual a 2 a 4 vezes o diâmetro da garganta. O projeto de um estágio de ejetor representa o que se convencionou chamar de “ponto único de operação”, que em outras palavras é a melhor eficiência para um conjunto único de condições. A condição crítica de projeto significa que a velocidade do fluido na garganta do ejetor é sônica e a condição sub-crítica, que a velocidade do fluido é inferior à sônica. O ejetor é projetado e construído para condições bem definidas de vapor motriz, pressão de sucção e descarga. A vazão de aspiração de um ejetor não poderá ser alterada a menos que se alterem suas dimensões físicas.

Os ejetores que operam em regime sub-crítico, não são ejetores de um único ponto de operação e portanto podem ser controlados através do vapor motriz (reduzindo-se o vapor motriz se reduz a capacidade do ejetor). A condição sub-crítica está limitada a taxas de compressão menores que 2:1 e suas aplicações são restritas. Os ejetores de simples estágio operam normalmente na faixa de pressão de 75 torr até 760 torr.

O consumo de vapor motriz a uma dada pressão, aumenta com o aumento da taxa de compressão do ejetor. Uma vez que a taxa de compressão de um ejetor de simples estágio é muito limitada, para se atingir pressões de sucção mais baixas, vários ejetores devem ser conectados em série.

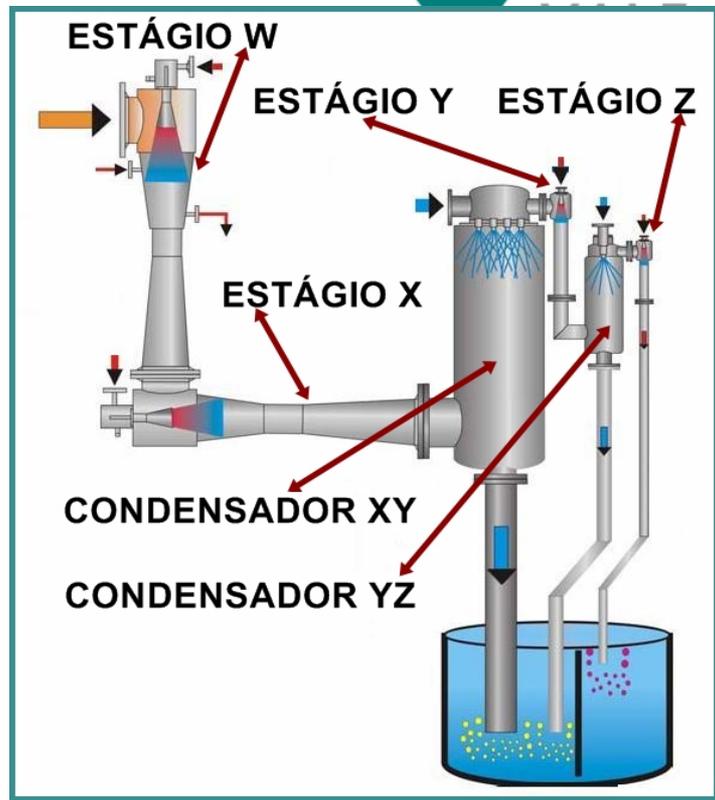
### **Faixas Usuais de Utilização dos Ejetores**

Simple estágio	75 a 760 torr
Duplo estágio	10 a 150 torr
Três estágios	1,5 a 25 torr
Quatro estágios	0,25 a 3 torr
Cinco estágios	0,05 a 0,5 torr
Seis estágios	0,001 a 0,09 torr



Os ejetores assim construídos podem atingir pressões de até 0,001 torr. Uma vez que os ejetores utilizam vapor como fluido motriz, é aconselhável a utilização de condensadores entre dois estágios de compressão, com a finalidade de se reduzir a carga na sucção do próximo ejetor.

O HEI desenvolveu uma nomenclatura para designar os vários componentes de um sistema de vácuo composto por ejetores e condensadores. Cada estágio de ejetor é designado por uma letra.



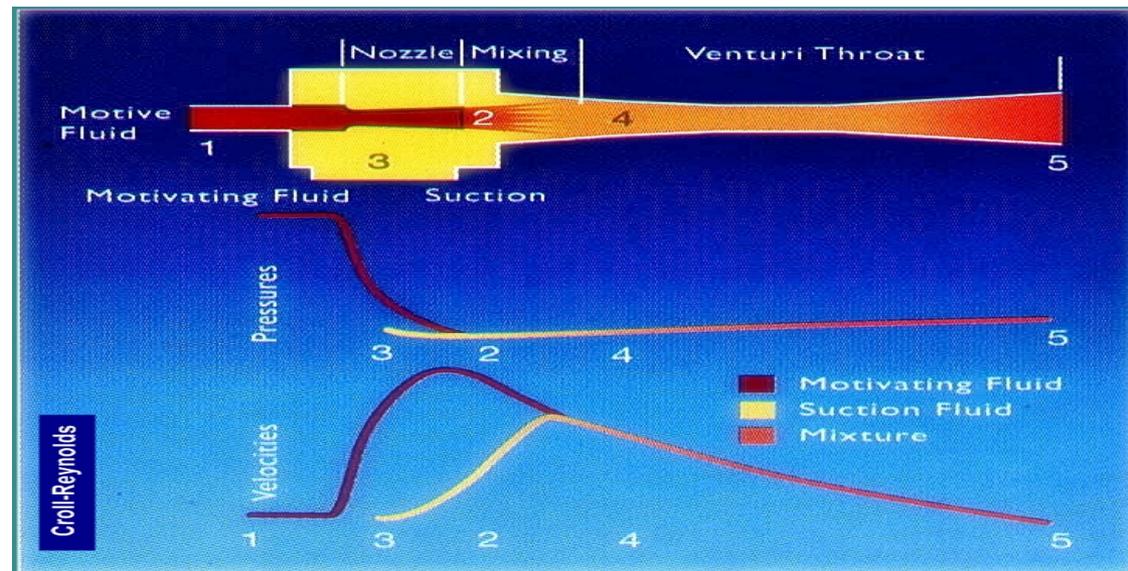
O primeiro estágio de um sistema de quatro estágios (figura ), que é aquele estágio mais próximo ao processo, é chamado de estágio “W”. O estágio “W” descarrega diretamente no estágio “X” e o ejetor “X” descarrega no intercondensador XY (os condensadores recebem a letra do ejetor imediatamente anterior e do ejetor imediatamente seguinte). O estágio “Y” evacua o intercondensador “XY” e descarrega no condensador “YZ”. O estágio “Z”, que é o estágio final, evacua o condensador “YZ” e descarrega no pós-condensador.

Um pré-condensador é indicado pela letra “P” e um pós-condensador pela letra “A”. Assim por exemplo, um pré-condensador instalado antes do ejetor “W” da figura , seria chamado de condensador “PW”.

Alguns fabricantes como Graham, Ketema e Hicks Hargreaves, adotam nomenclaturas próprias, com combinações de diferentes letras. Na Europa, a Wiegand chama os ejetores por sua posição no sistema de vácuo, sendo o mais próximo do processo e primeiro estágio e o ejetor descarregando à pressão atmosférica o último estágio.

## Princípio de Funcionamento

Todos os ejetores funcionam baseados num princípio comum. Os ejetores são bombas de mudança de momento. Um vapor de alta pressão (ponto 1) expande-se na passagem por um bocal convergente-divergente (o bico motriz - ponto 2) e acelera até atingir uma velocidade supersônica (geralmente entre 920 e 1.220 m/s).



**Motive fluid = Fluido motriz**  
(normalmente vapor de água)

**Suction = Sucção**

**Nozzle = bico motriz**

**Mixing = Câmara de mistura**

**Venturi Throat = Garganta do difusor (parte reta)**

**Mixture = Mistura ( vapor motriz + gases aspirados)**

A alta velocidade deste fluxo motor agrega os gases ou vapores do processo aspirados pelo bocal de sucção (ponto 3).

A compressão da mistura (ponto 4) acontece na passagem do difusor pela conversão da velocidade em pressão.

Com efeito, a mistura do vapor motriz com os gases ou vapores do processo forçam passagem contra a pressão de descarga do ejetor (ponto 5), mantendo o diferencial de pressão entre a aspiração e descarga.

A energia de pressão é convertida em energia de velocidade no bico motriz do ejetor, e na passagem do difusor a energia de velocidade é transformada novamente em energia de pressão.

Tanto o bico motriz como o difusor tem a forma de um venturi. Um bico convergente-divergente é usado para acelerar o fluido motriz até uma velocidade supersônica. Na secção convergente do bico motriz o fluido motriz entra com velocidade subsônica e é acelerado até uma velocidade sônica. O fluido motriz entra na secção divergente com velocidade sônica e é acelerado até uma velocidade supersônica na saída do bico motriz.

A vazão através do bico motriz é descrita pelas equações clássicas da continuidade e dos fluidos compressíveis e a velocidade do fluido motriz na garganta do bico motriz é sônica. O diâmetro da garganta do bico motriz determina a vazão do fluido motriz. A velocidade do fluido na garganta do difusor é sônica.

Na secção convergente do difusor, a velocidade da mistura de vapor motriz e gases ou vapores de processo é reduzida de supersônica para sônica e a pressão aumenta. Na secção divergente é reduzida novamente, de sônica para sub-sônica e a pressão aumenta ainda mais. Nos fluxos supersônicos uma redução da área da secção transversal faz com que a pressão aumente e a velocidade diminua.

Nos fluxos sub-sônicos o oposto ocorre; um aumento na área da secção transversal, aumenta a pressão e diminui a velocidade. As perdas de energia em um bico motriz bem projetado são insignificantes e a expansão através do bico motriz se aproxima de um processo isoentrópico. Como a elevação da velocidade do fluido através do bico também aumenta com a alteração do desenho do bico, o coeficiente do bico também aumenta (relação entre o momento final na câmara de sucção no ponto 2 e o momento inicial no ponto 1).

Entretanto, com o aumento da velocidade do fluido, a necessidade de converter a velocidade em pressão se torna cada vez mais difícil. Os fluxos supersônicos causam a formação de ondas de choque no difusor. As perdas por ondas de choque no difusor se tornam mais severas com o aumento da velocidade de entrada no mesmo (velocidade de compressão). Por sua vez, isto limita a pressão de descarga na qual a velocidade pode ser convertida. As perdas causadas pelas ondas de choque no difusor limitam a velocidade de compressão, e a velocidade de compressão limita a taxa de compressão através do ejetor.

Existe um limite mínimo que a pressão de sucção de um ejetor, aspirando de um tanque fechado e sem vazamentos, pode atingir. Uma taxa de compressão de 20:1 pode ser utilizada, porém, a eficiência do ejetor diminui rapidamente para taxas de compressão maiores que 10:1. Os custos atuais de energia irão limitar a taxa de compressão de projeto pra valores até 7 ou 8 :1.

A pressão de sucção de um ejetor que aspira vapores ou gases de processo é afetada pela transferência de energia do vapor motriz para o fluido aspirado. Se usarmos um prolongador no bico motriz para posicioná-lo dentro do difusor, reduzindo-se a distância entre os pontos 2 e 4, conseguiremos obter uma taxa de compressão maior, porém, a capacidade do ejetor diminuirá.

O resultado é uma pressão de descarga maior e uma pressão de sucção menor. A vazão necessária de vapor motriz para um ejetor pode ser calculada diretamente com a aplicação das leis básicas da termodinâmica e mecânica dos fluidos. O funcionamento de um ejetor se aproxima de um processo isoentrópico. A eficiência total de um ejetor pode ser expressa como uma função de eficiência de mistura ou aspiração e a relação entre a energia de entrada e energia de saída.

Existem vários modelos matemáticos que descrevem a operação dos ejetores. Entre eles os mais conhecidos são: o de Hogen, Watson e Ragatz, o de Dotterweich e Mooney e o modelo de Kurtz. vários tipos de equipamentos para a produção de vácuo.

