

Seleção de Válvulas

Característica de Vazão

Seleção de Válvulas

Característica de Vazão

Relação existente entre percentual da vazão e o percentual do curso

Seleção de Válvulas

Característica de Vazão

Inerente: característica levantada com diferencial de pressão constante na válvula.

Instalada: obtida em condições normais de operação com diferenciais de pressão variáveis

Seleção de Válvulas

Característica de Vazão

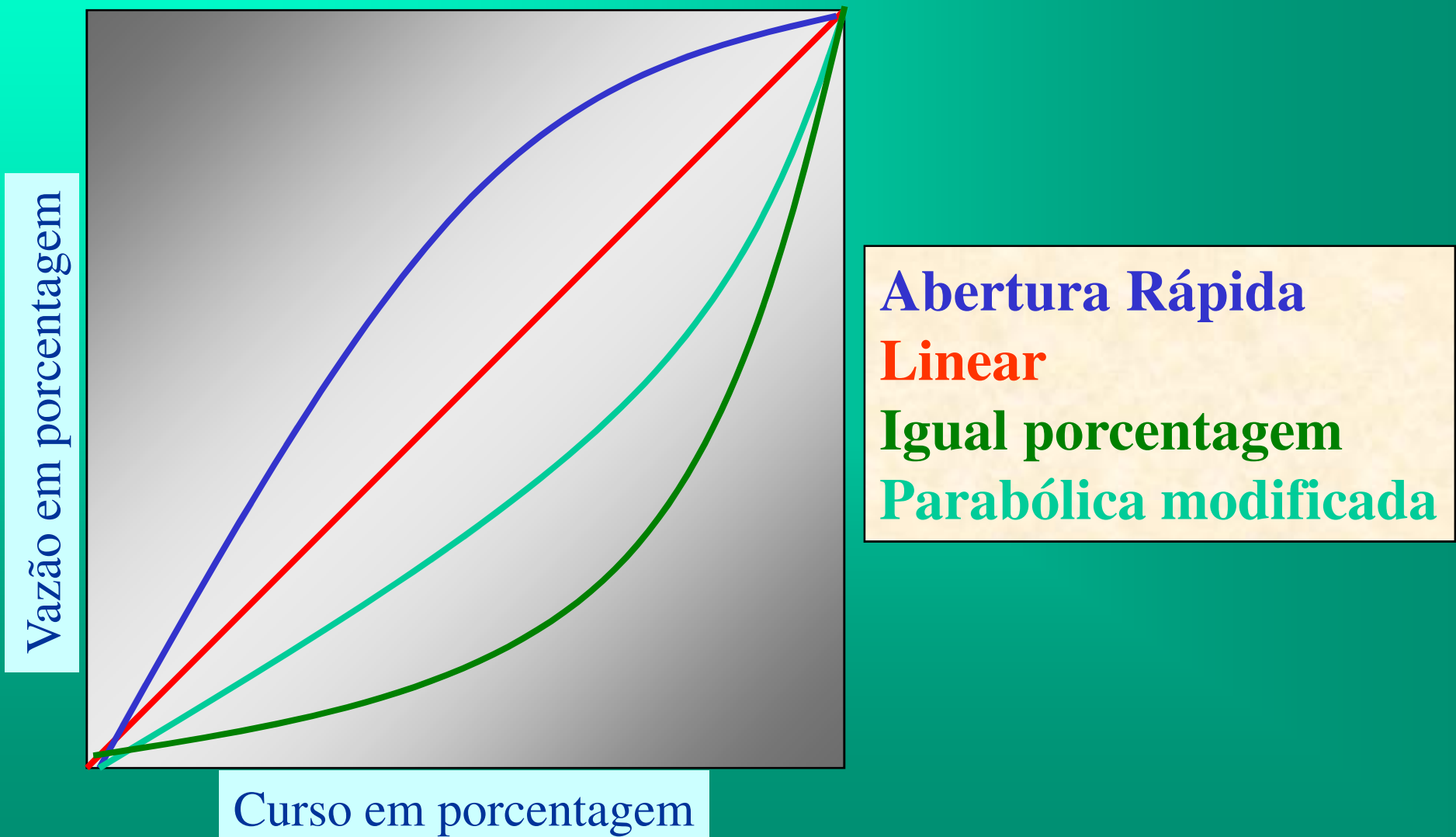
Ganho: relação entre a variação de vazão e a variação de curso.

Alcance de faixa (rangeability): relação entre a vazão máxima e a vazão mínima controláveis.

Também pode ser inerente e instalada.

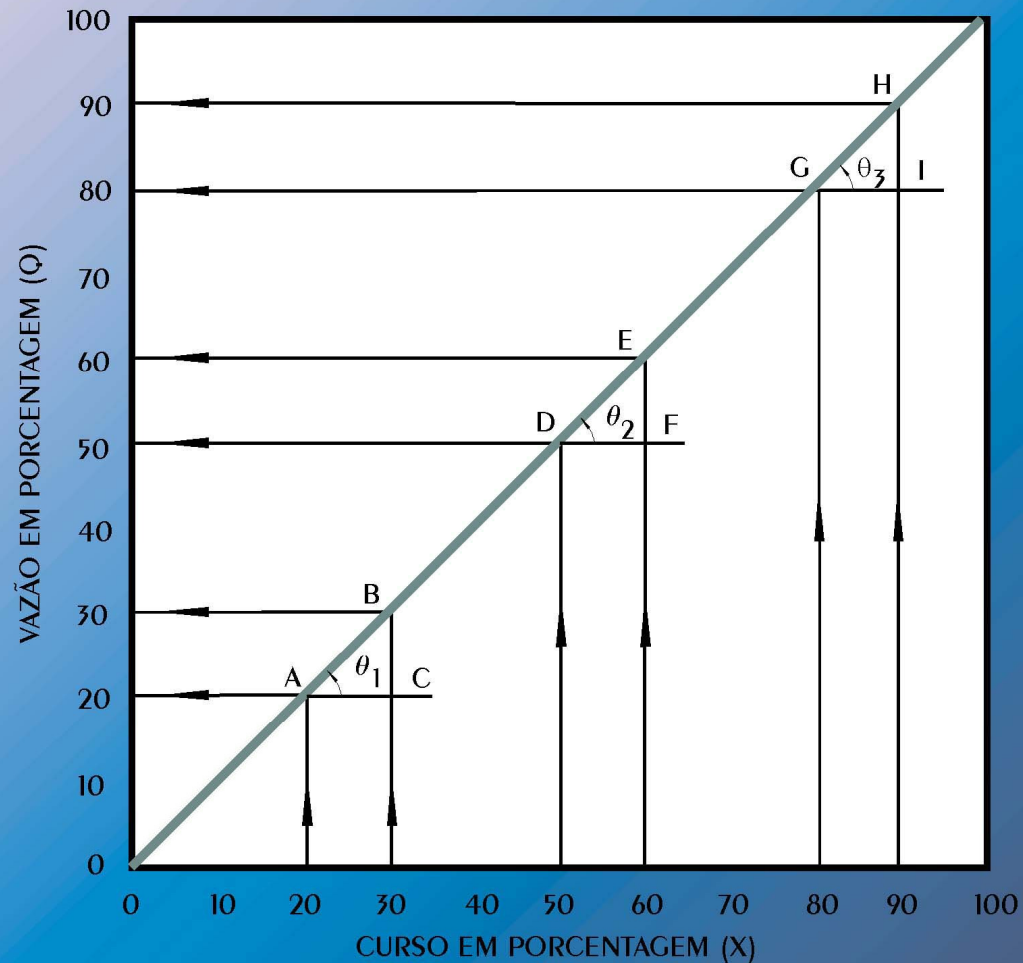
Seleção de Válvulas

Característica de vazão inerente



Seleção de Válvulas

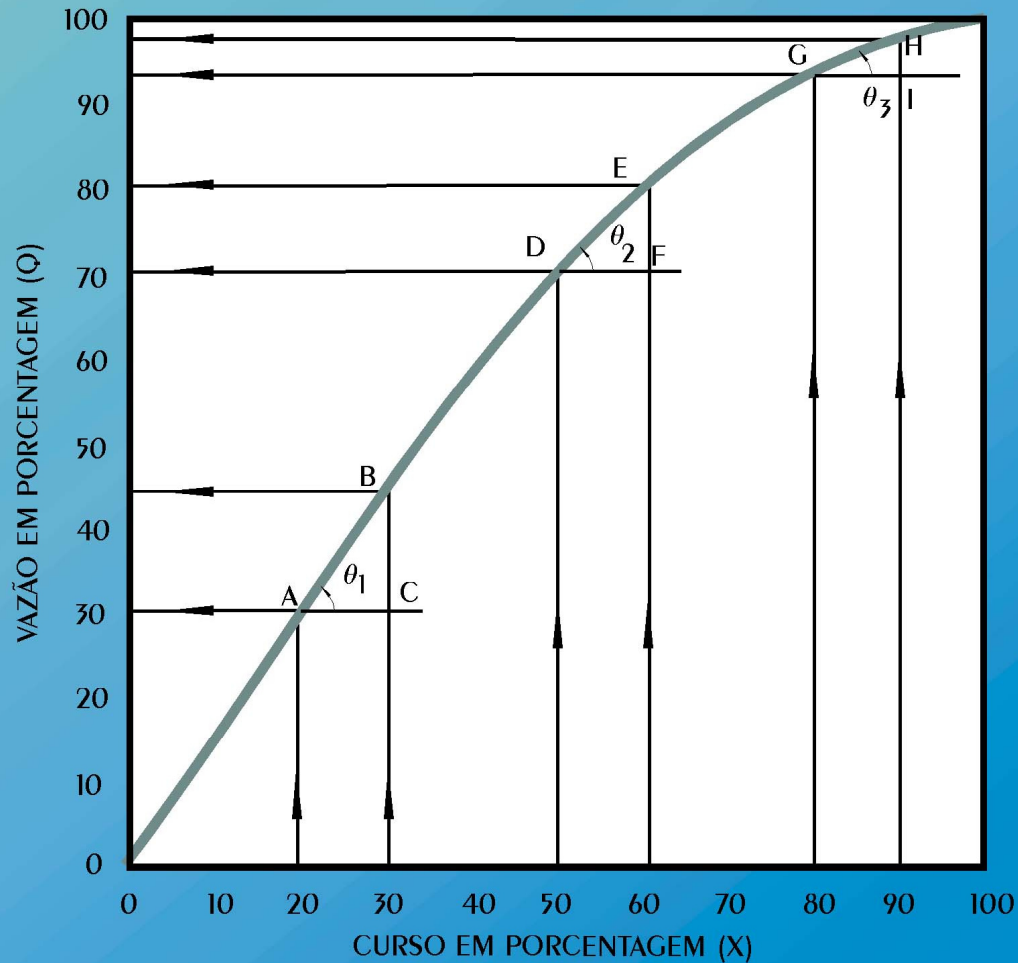
Análise de ganhos



LINEAR

Seleção de Válvulas

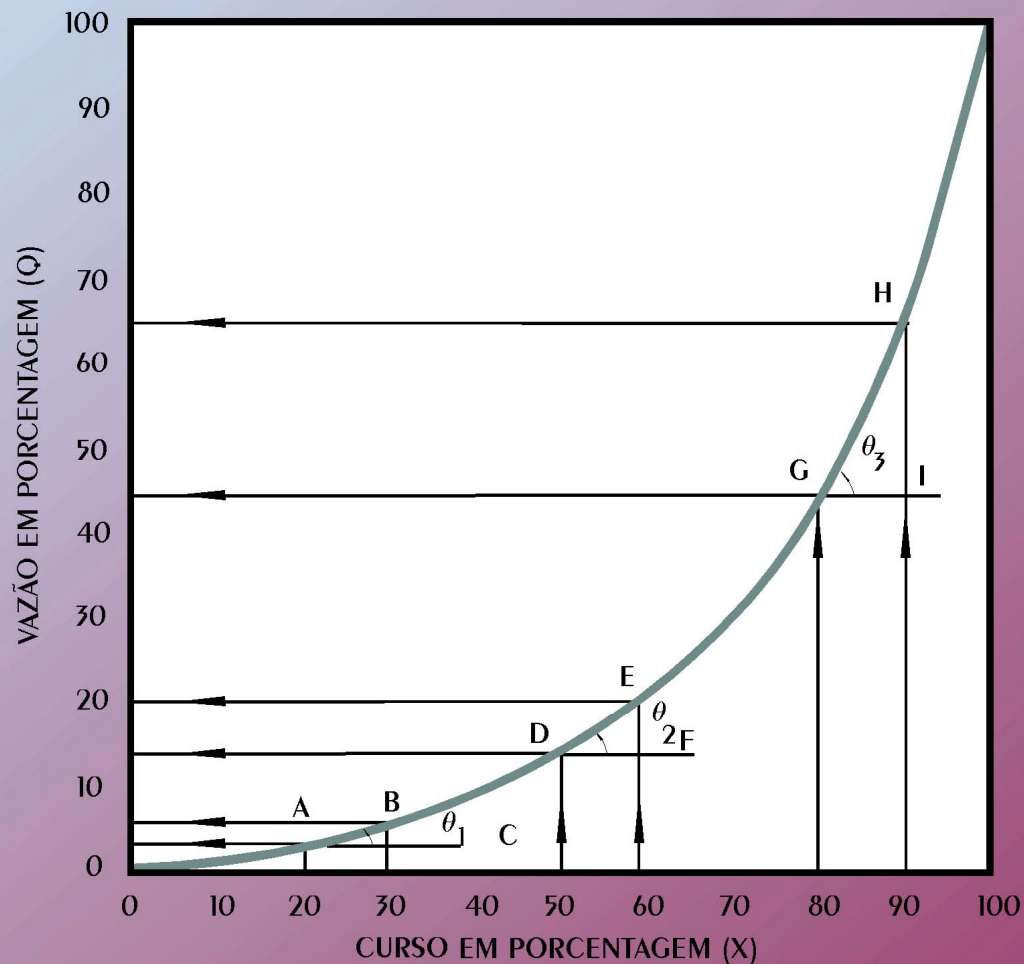
Análise de ganhos



ABERTURA RÁPIDA

Seleção de Válvulas

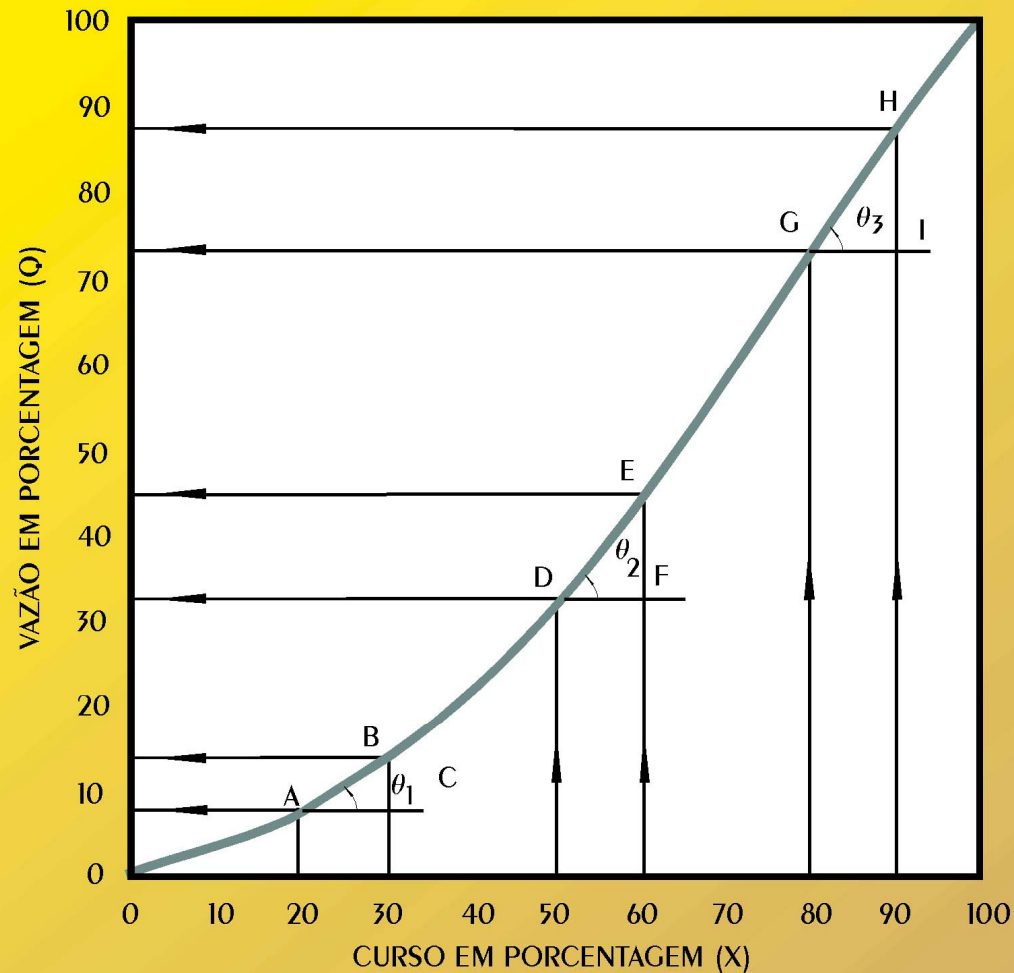
Análise de ganhos



IGUAL PORCENTAGEM

Seleção de Válvulas

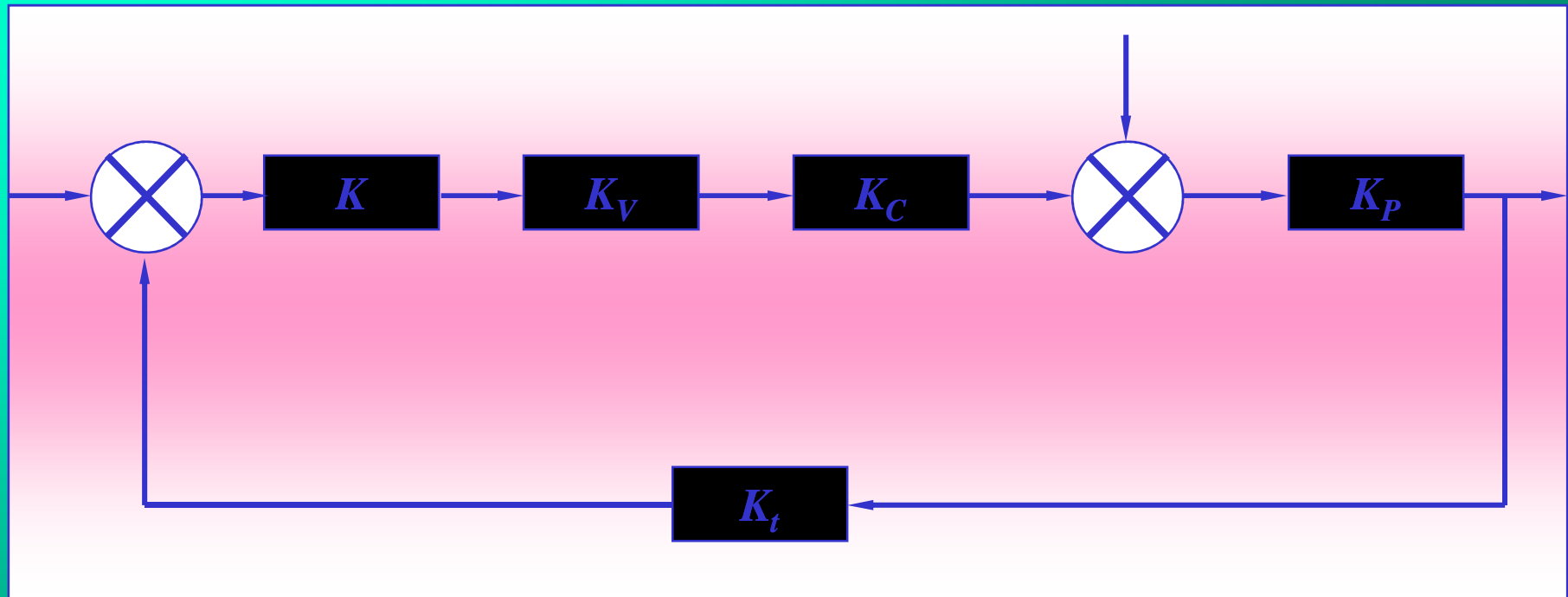
Análise de ganhos



PARABÓLICA MODIFICADA

Seleção de Válvulas

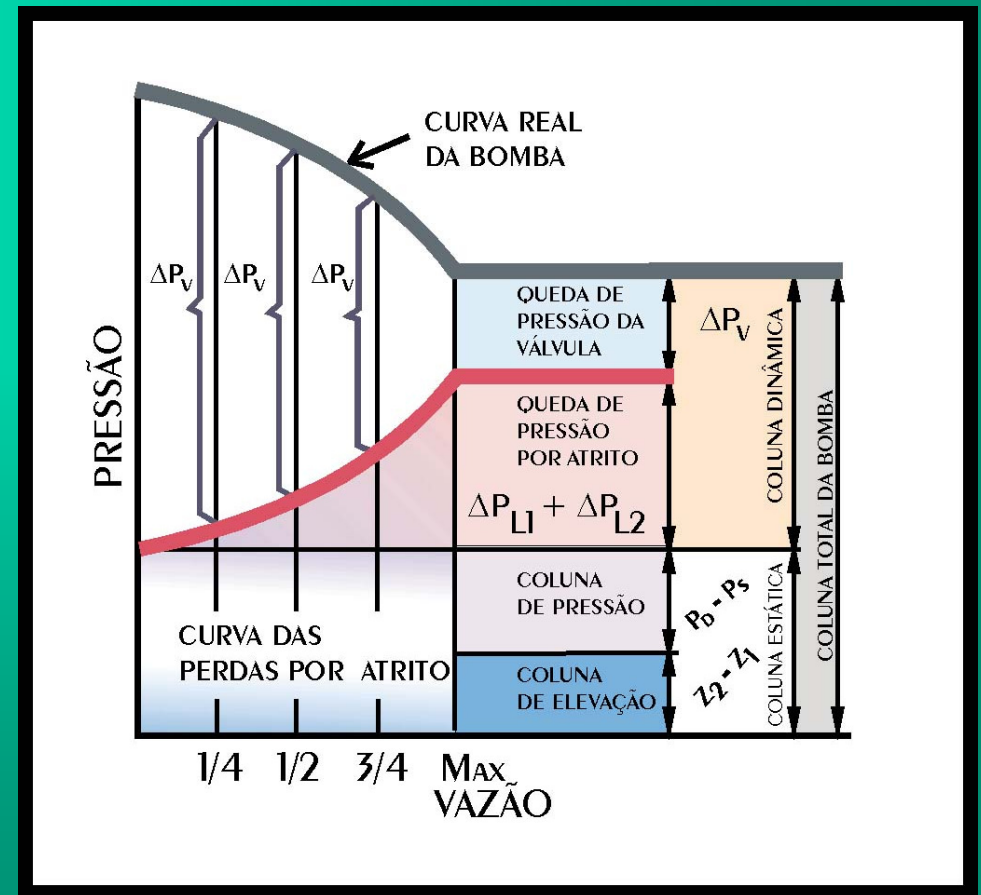
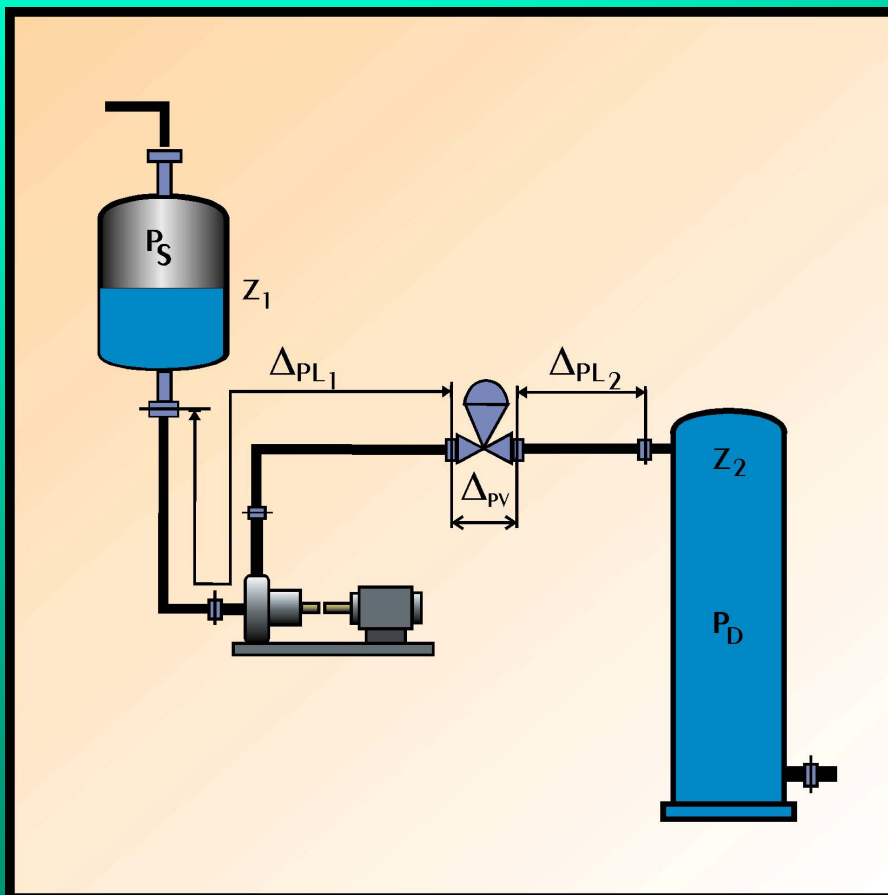
Análise de ganhos do sistema



K = ganho controlador
 K_V = ganho atuador
 K_C = característica de vazão
 K_P = ganho do processo
 K_t = ganho do transmissor

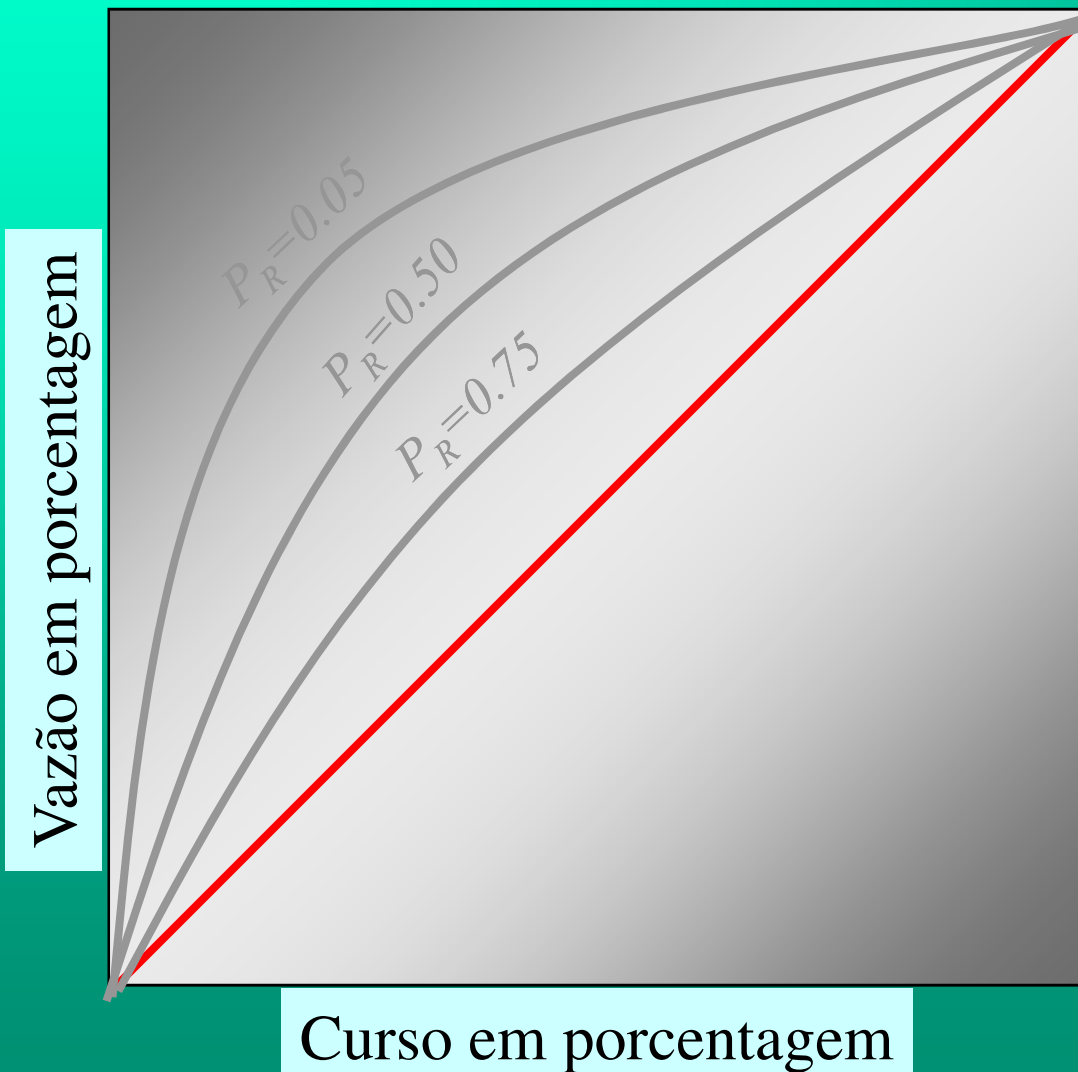
Seleção de Válvulas

Característica de Vazão Instalada



Seleção de Válvulas

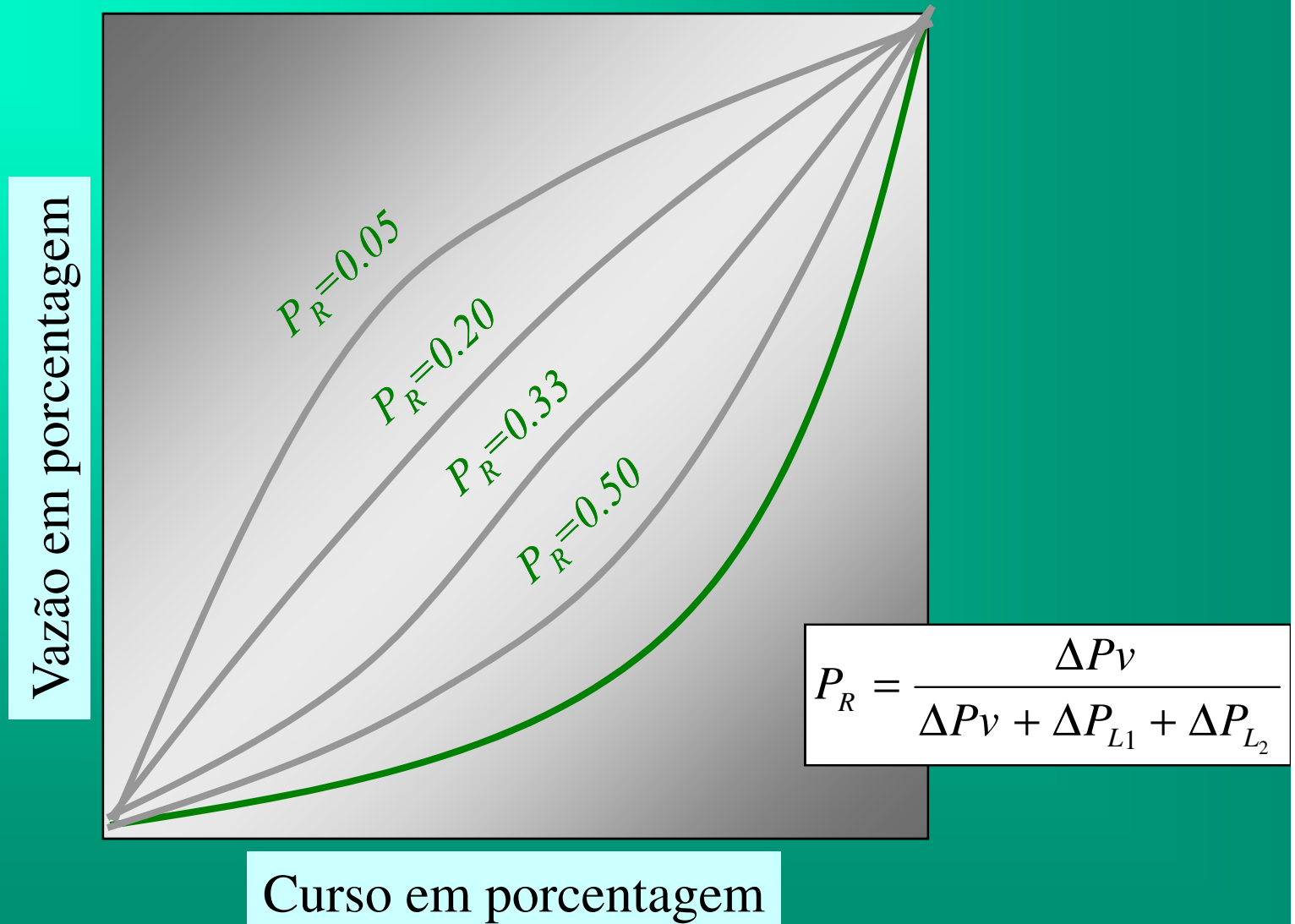
Característica de vazão linear instalada



$$P_R = \frac{\Delta P_V}{\Delta P_V + \Delta P_{L1} + \Delta P_{L2}}$$

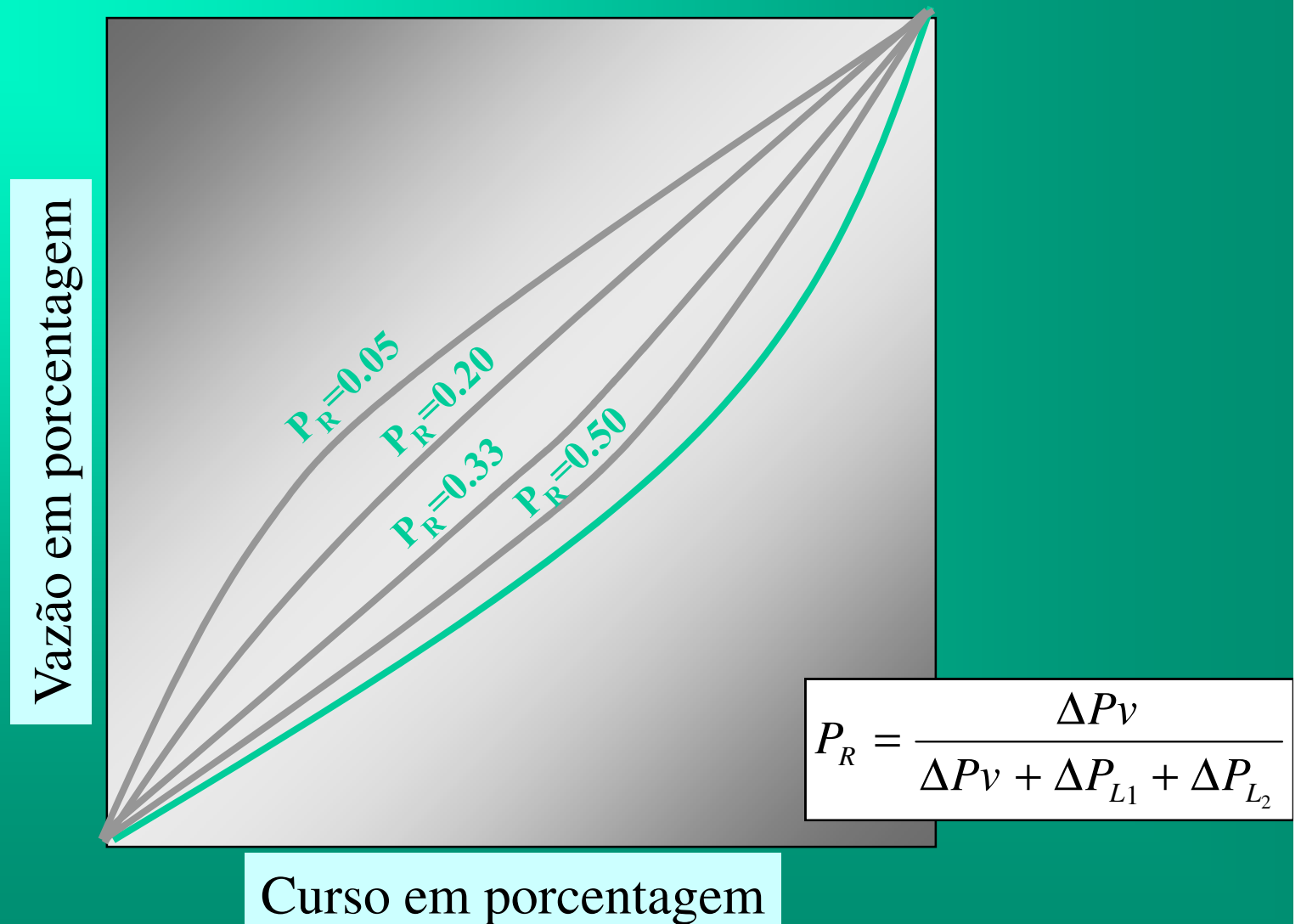
Seleção de Válvulas

Característica de vazão =% instalada



Seleção de Válvulas

Característica de vazão parabólica modificada instalada



Seleção de Válvulas

Características de vazão - Conclusões

Abertura Rápida

Para controles biestáveis (on-off)

Linear

- Maior parte do diferencial de pressão do sistema for absorvido pela válvula.
- A relação entre os diferenciais de pressão nas condições mínima e máxima for menor que 2:1.

Seleção de Válvulas

Características de vazão - Conclusões

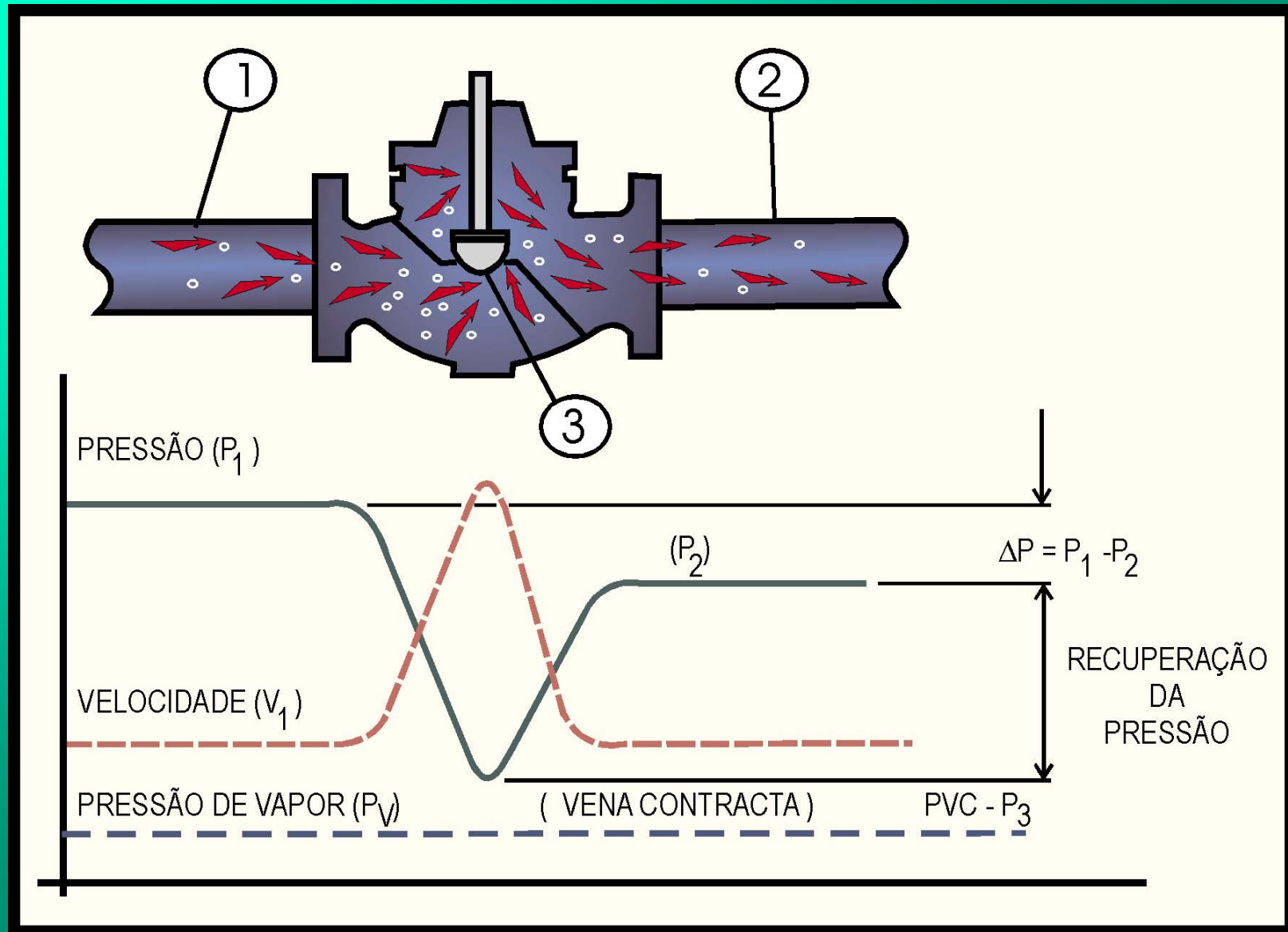
Igual Porcentagem / Parabólica Modificada

- Diferencial de pressão absorvido pela válvula for pequeno em relação ao total do sistema.
- A relação entre os diferenciais de pressão nas condições mínima e máxima for maior que 2:1.
- Impossibilidade de se analisar ganhos do sistema.

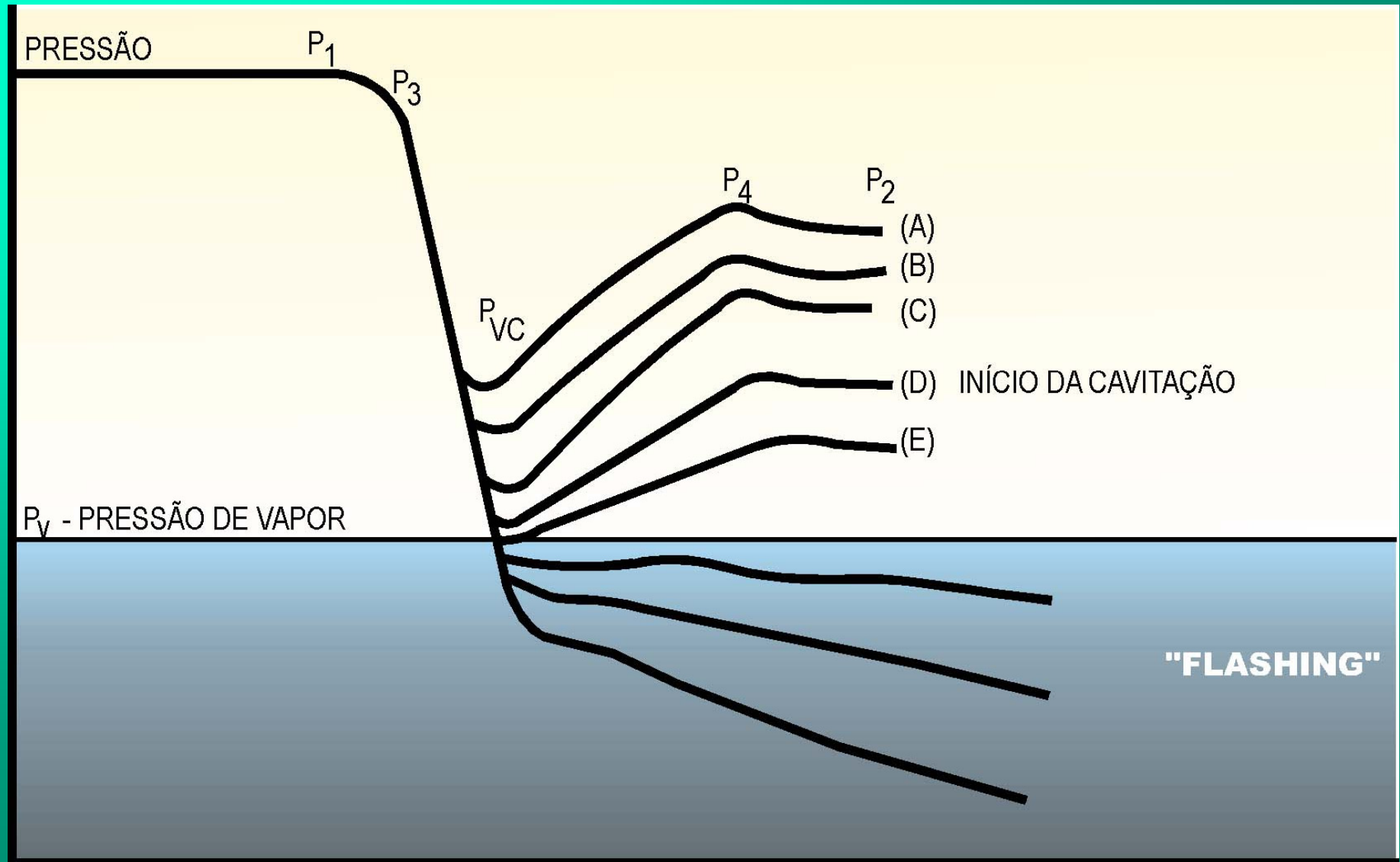
Seleção de Válvulas

Cavitação e Flashing

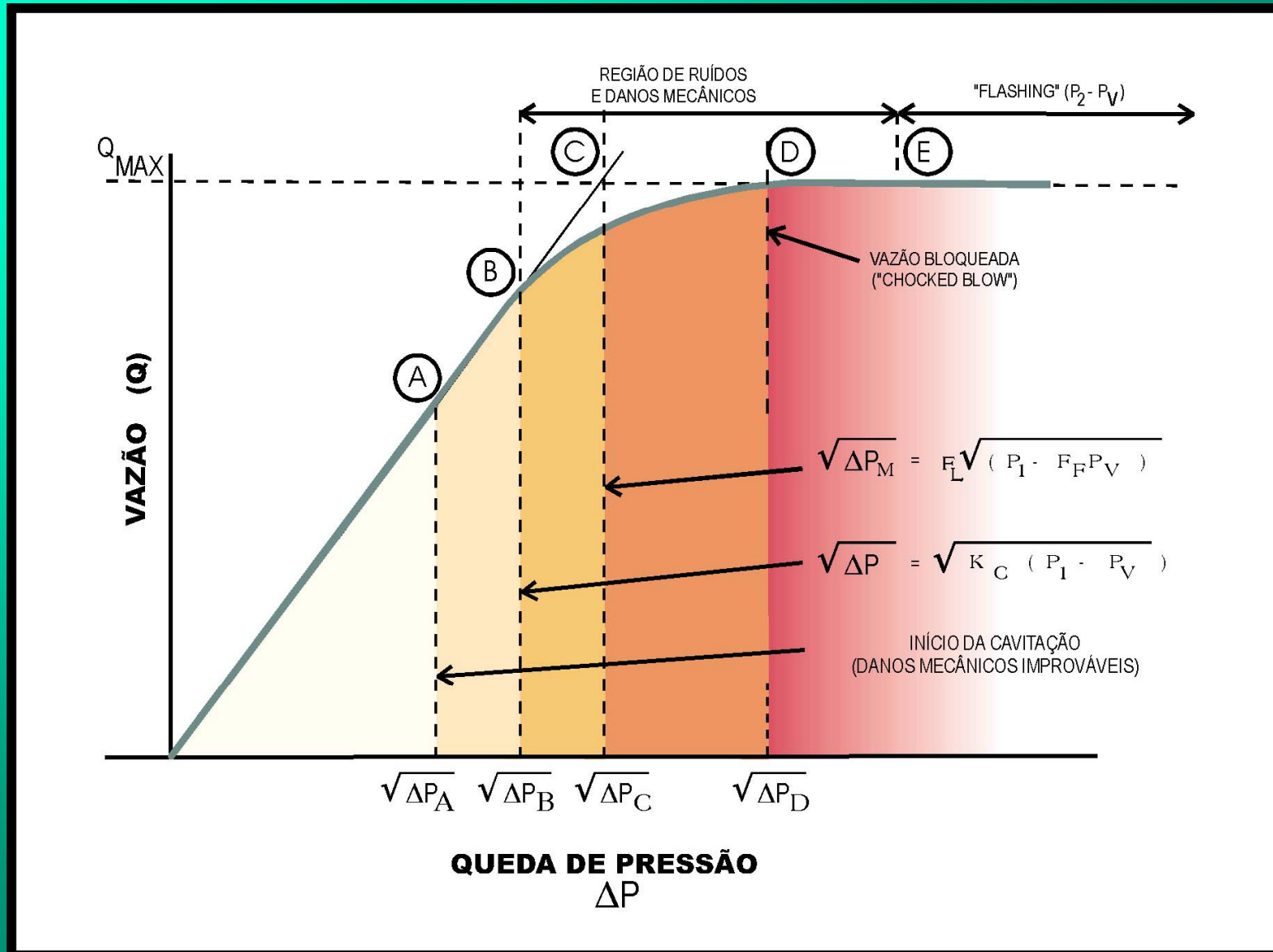
Seleção de Válvulas



Seleção de Válvulas

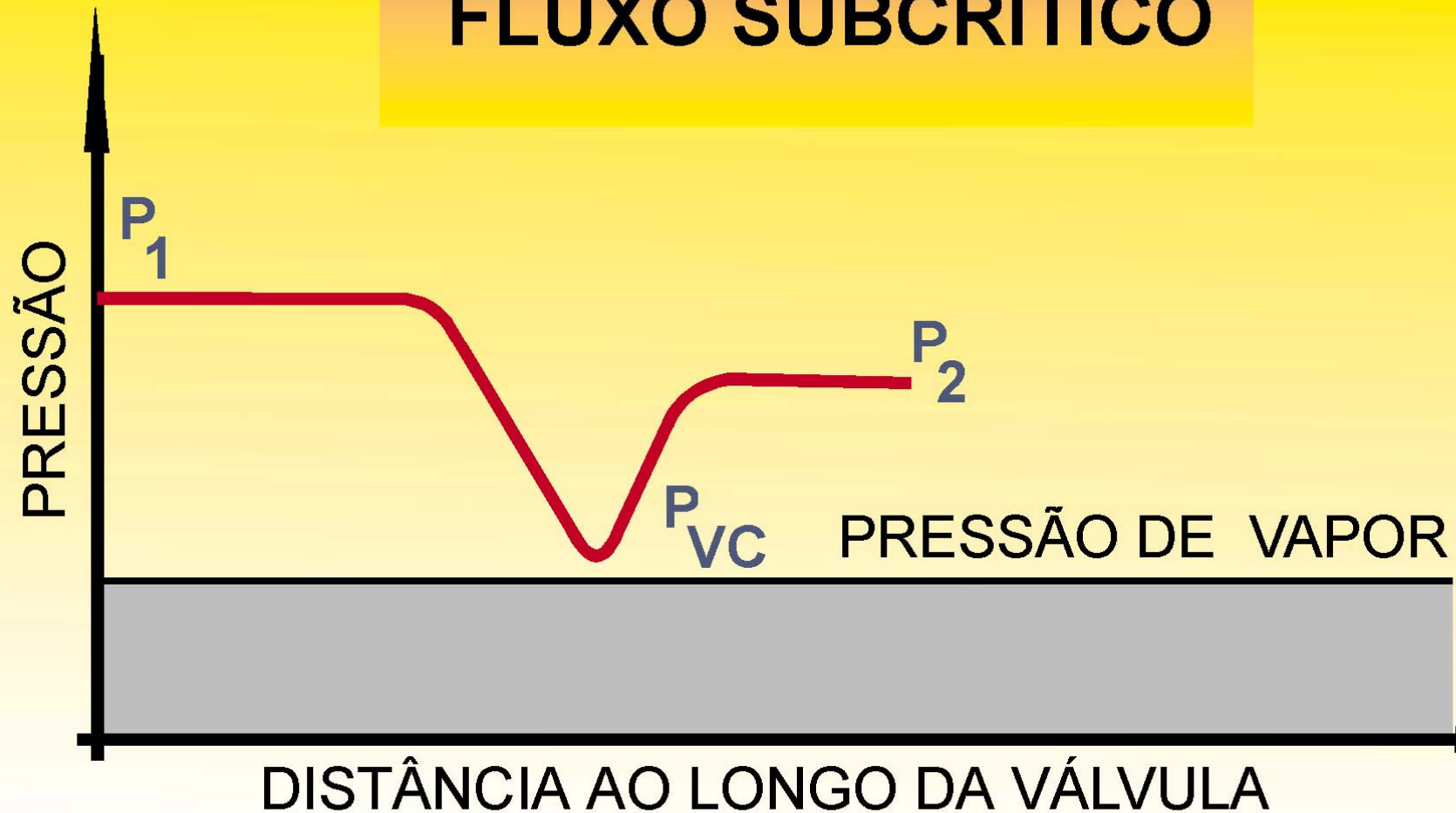


Seleção de Válvulas



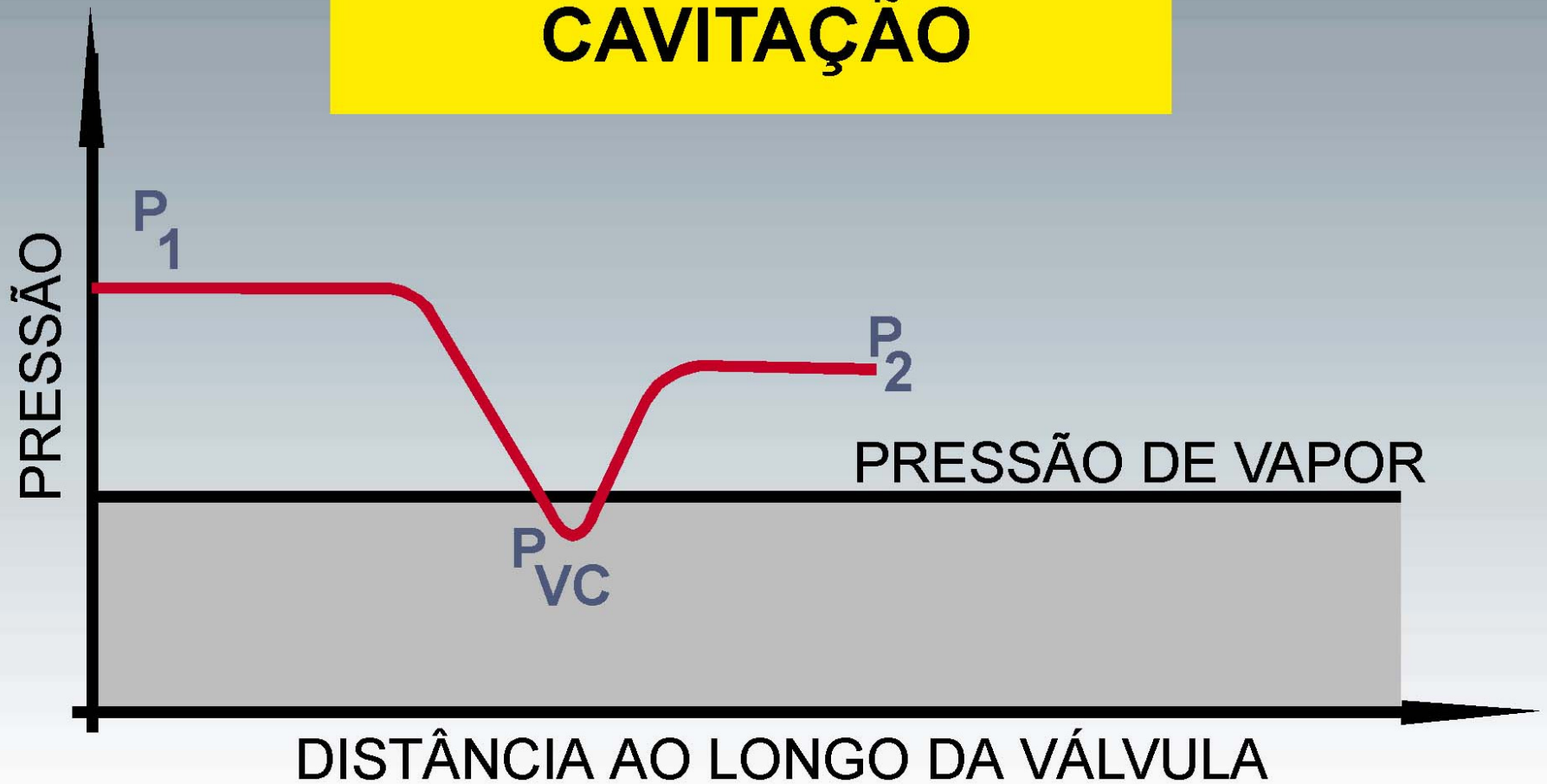
Seleção de Válvulas

FLUXO SUBCRÍTICO



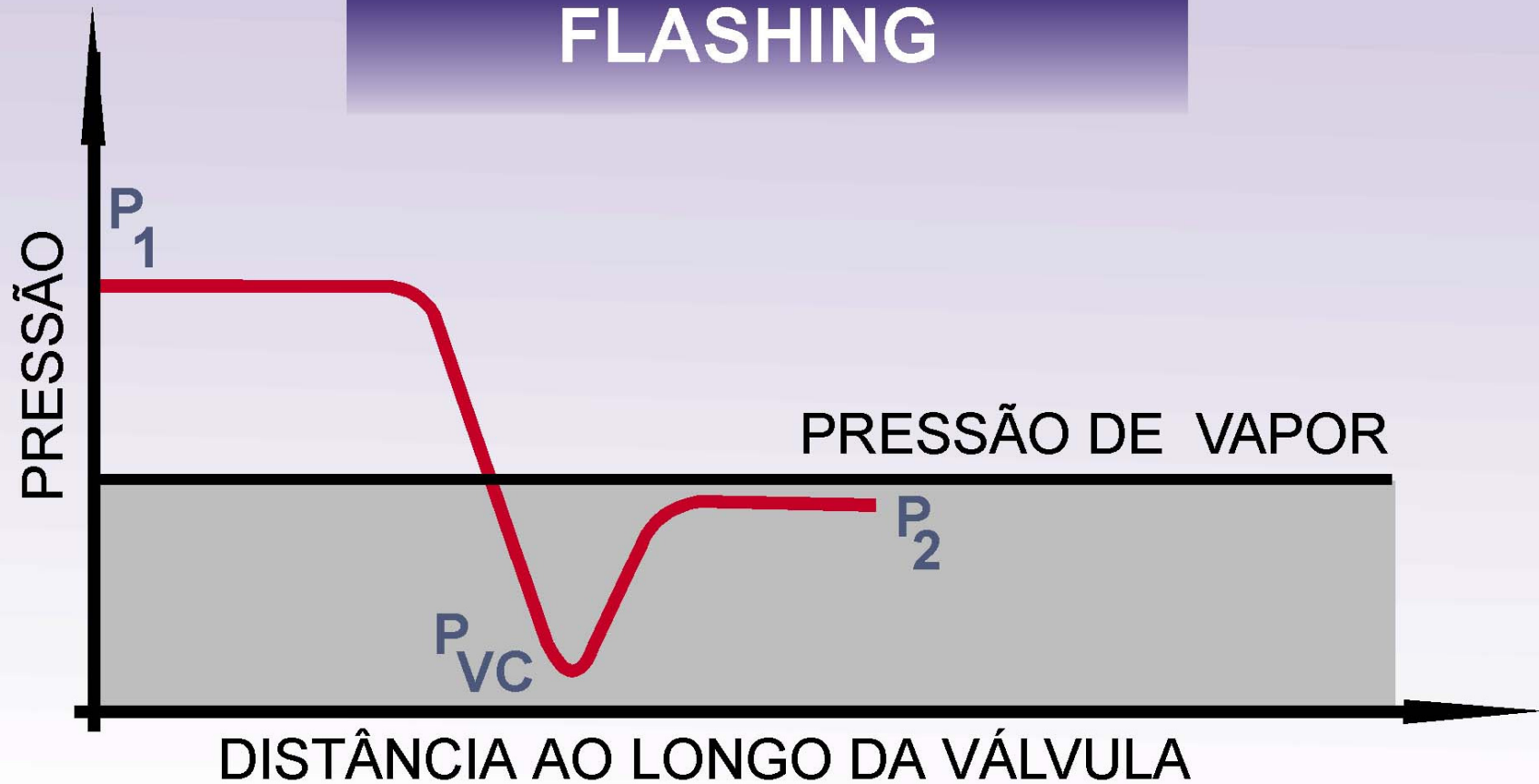
Seleção de Válvulas

CAVITAÇÃO

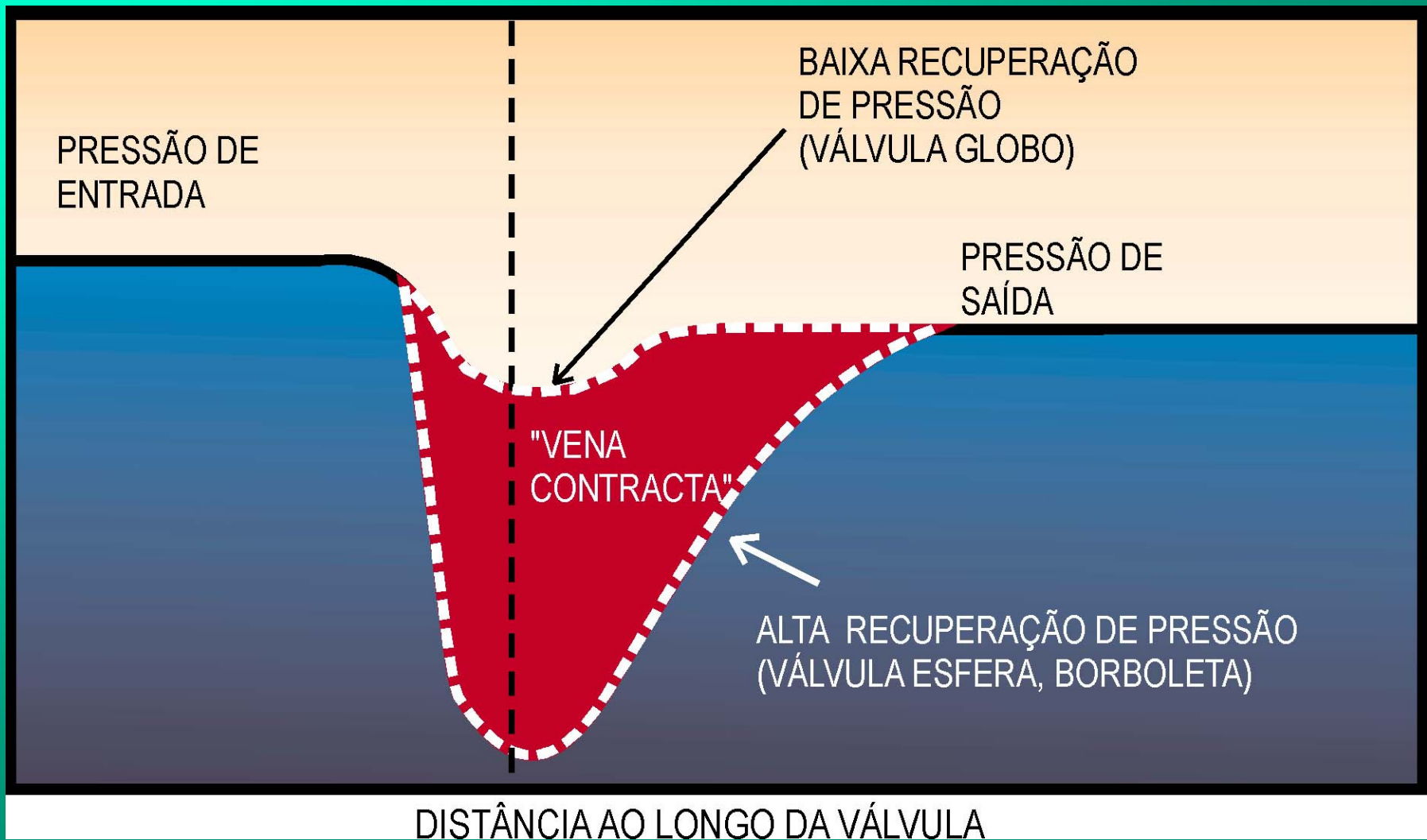


Seleção de Válvulas

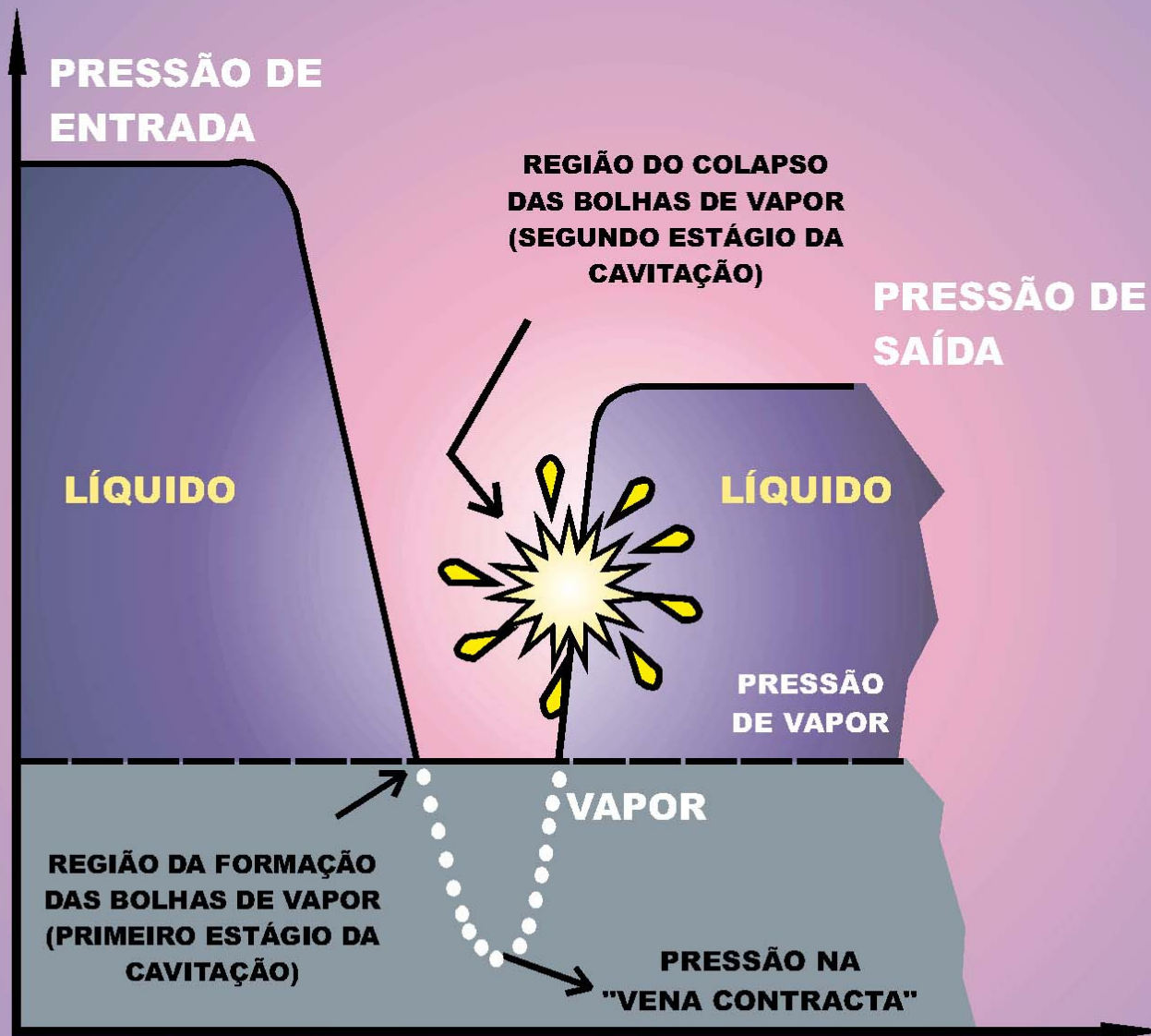
FLASHING



Seleção de Válvulas



Seleção de Válvulas



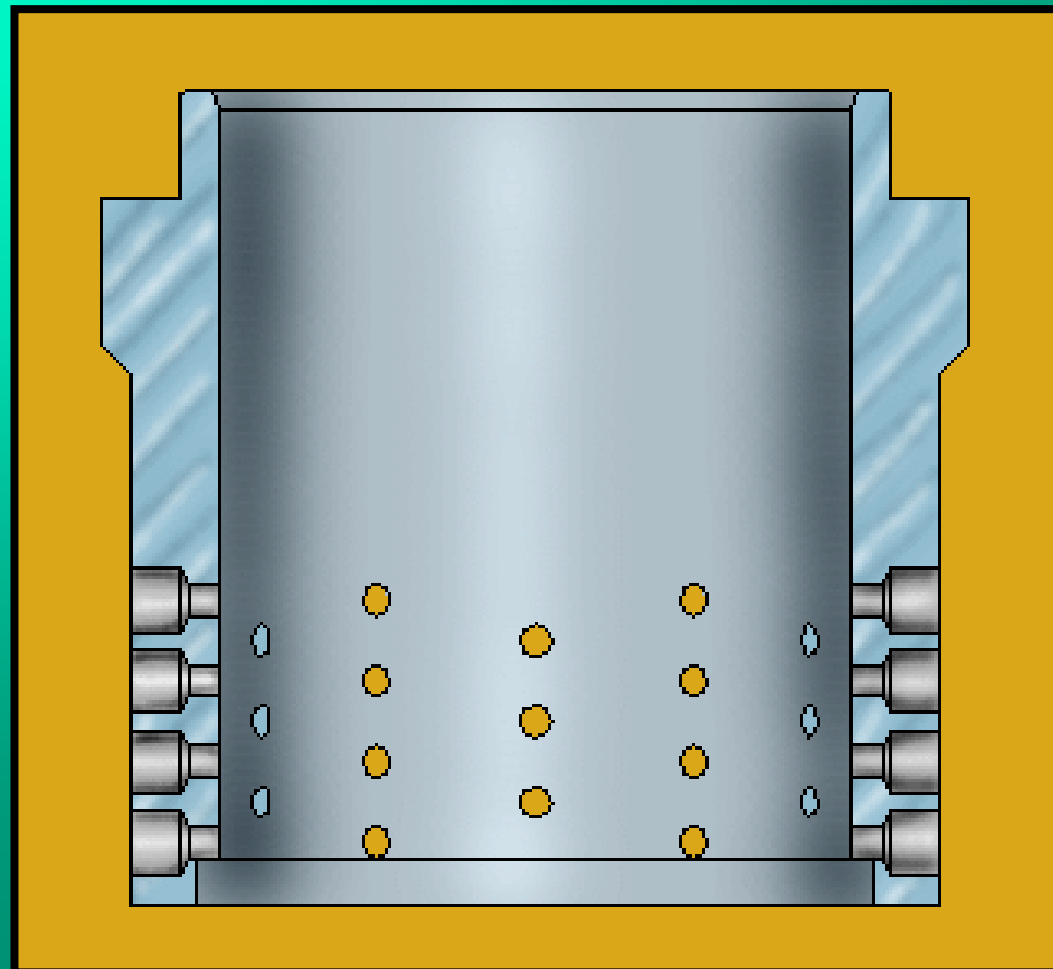
Seleção de Válvulas

Cavitação

- **Conseqüências**
 - Danos materiais devido à energia das implosões
 - Vibrações
 - Ruído de alta intensidade
- **Soluções**
 - Local de instalação
 - Injeção de gás na saída
 - Placa de orifício para absorver Δp
 - Uso de internos anti-cavitantes (Melhor Solução)

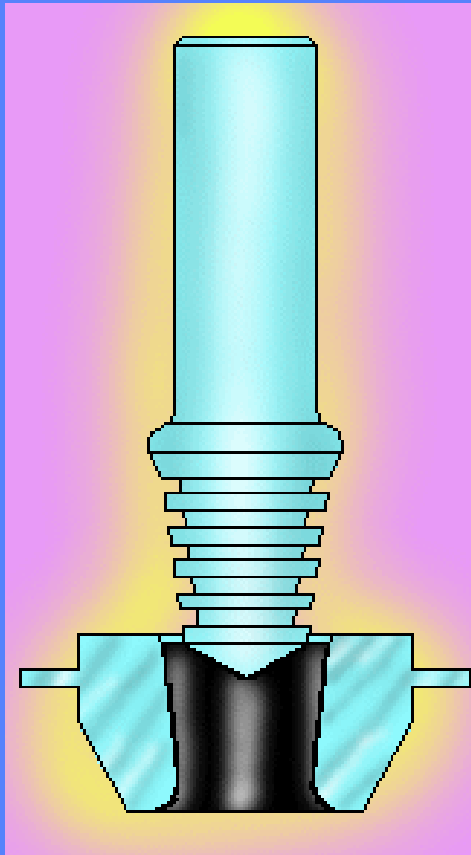
Seleção de Válvulas

Internos especiais
Gaiola anti-cavitante

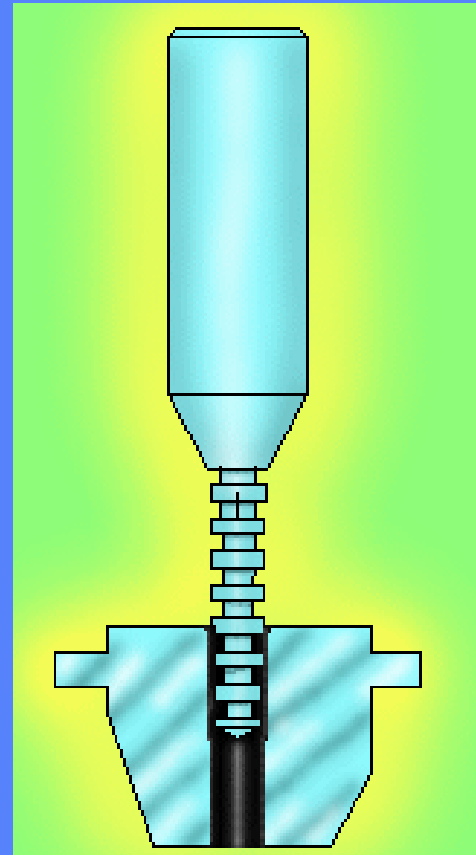


Seleção de Válvulas

Internos especiais
Obturador tipo “cascata”



AQP



AQPT

Seleção de Válvulas

Dimensionamento

- 1- Cálculo do Cv**
- 2- Cálculo de ruído**
- 3- Cálculo de velocidade**
- 4- Cálculo do atuador**

Seleção de Válvulas

Coeficiente de Vazão Cv

É a vazão de água, em galões por minuto a 60° F, que passa pela válvula mantendo-se um diferencial de pressão de 1 psi.

Seleção de Válvulas

Dados Necessários Para Cálculo

Dados de Processo

| Condição Máxima | Condição normal | Condição Mínima |
|--------------------|--------------------|--------------------|
| Vazão | Vazão | Vazão |
| Pressão de entrada | Pressão de entrada | Pressão de entrada |
| Pressão de saída | Pressão de saída | Pressão de saída |
| Temperatura | Temperatura | Temperatura |

Seleção de Válvulas

Dados Necessários Para Cálculo

- **Dados do fluido**
 - Nome
 - Estado (líquido, gás, mistura de fases)
 - Particularidades (sólidos em suspensão, tendência à precipitação, abrasividade, grau de corrosão, etc)
- **Propriedades do fluido**

Líquidos

- gravidade específica ou densidade
- pressão crítica
- pressão de vapor
- viscosidade.

Gases

- gravidade específica ou peso molecular
- pressão e temperatura críticas (ou fator de compressibilidade)
- razão de calores específicos.

Seleção de Válvulas

Dados Necessários Para Cálculo

- **Dados da instalação**
 - Diâmetro da tubulação
 - Função ou serviço
 - Necessidade de posterior expansão
 - Posição de segurança
 - Classe de vedação
 - Frequência de operação
 - Nível de ruído admissível
 - Diferencial de pressão para cálculo do atuador

Seleção de Válvulas

- Cálculo de Cv: Norma ANSI/ISA S75.01

Introduz vários fatores de correção, que além de tornar o cálculo mais preciso, permite analisar as condições de fluxo (sub-crítico, crítico, cavitação)

Seleção de Válvulas

Fluidos incompressíveis

$$Q = N_1 F_P F_Y F_R C_V \sqrt{\frac{\Delta P}{G}}$$

Q: Vazão volumétrica

N₁: Constante numérica para ajuste de unidades de medida

F_P: Fator de correção devido a geometria da tubulação

F_Y: Fator de correção devido a vazão bloqueada

F_R: Fator de correção devido a viscosidade

Seleção de Válvulas

Tabela de constantes

| | | Q | W | P | T | d,D | γ | v |
|----------------|---------|--------------------|------|-----------|---|-----|--------------------|-----|
| N ₁ | 1 | gpm | | psia | | | | |
| | 0,865 | m ³ /h | | bars(abs) | | | | |
| N ₂ | 890 | | | | | pol | | |
| | 0,00214 | | | | | mm | | |
| N ₃ | 1 | | | | | pol | | |
| | 645 | | | | | mm | | |
| N ₄ | 17300 | gpm | | | | pol | | cst |
| | 76200 | m ³ /h | | | | mm | | cst |
| N ₅ | 1000 | | | | | pol | | |
| | 0,00241 | | | | | mm | | |
| N ₆ | 63,3 | | lb/h | psia | | | lb/pe ³ | |
| | 27,3 | | kg/h | bars(abs) | | | kg/m ³ | |
| N ₇ | 1360 | SCFH | | psia | R | | | |
| | 417 | Nm ³ /h | | bars(abs) | K | | | |
| N ₈ | 19,3 | | lb/h | psia | R | | | |
| | 94,8 | | kg/h | bars(abs) | K | | | |
| N ₉ | 7320 | SCFH | | psia | R | | | |
| | 2240 | Nm ³ /h | | bars(abs) | K | | | |

Seleção de Válvulas

Fator de correção F_y

$$F_y = F_L \sqrt{\frac{P_1 - F_F P_v}{\Delta P}}$$

$$F_F = 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{P_v}{P_c}}$$

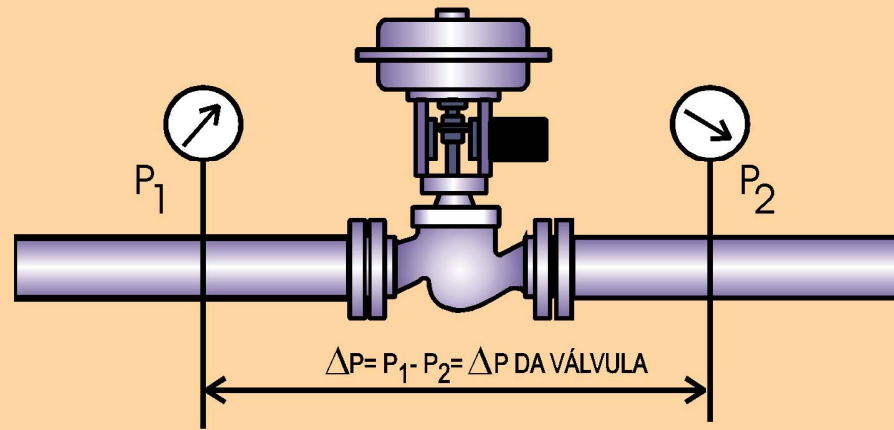
F_L : fator de recuperação de pressão (característica de cada válvula fornecida pelo fabricante)

P_v : Pressão de vapor

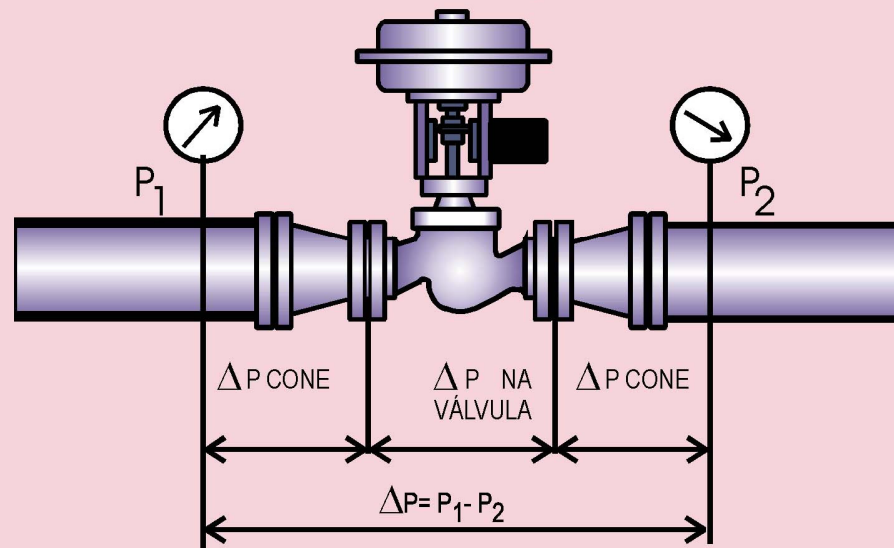
P_c : Pressão crítica

Seleção de Válvulas

VÁLVULA INSTALADA NUMA TUBULAÇÃO DE IGUAL DIÂMETRO

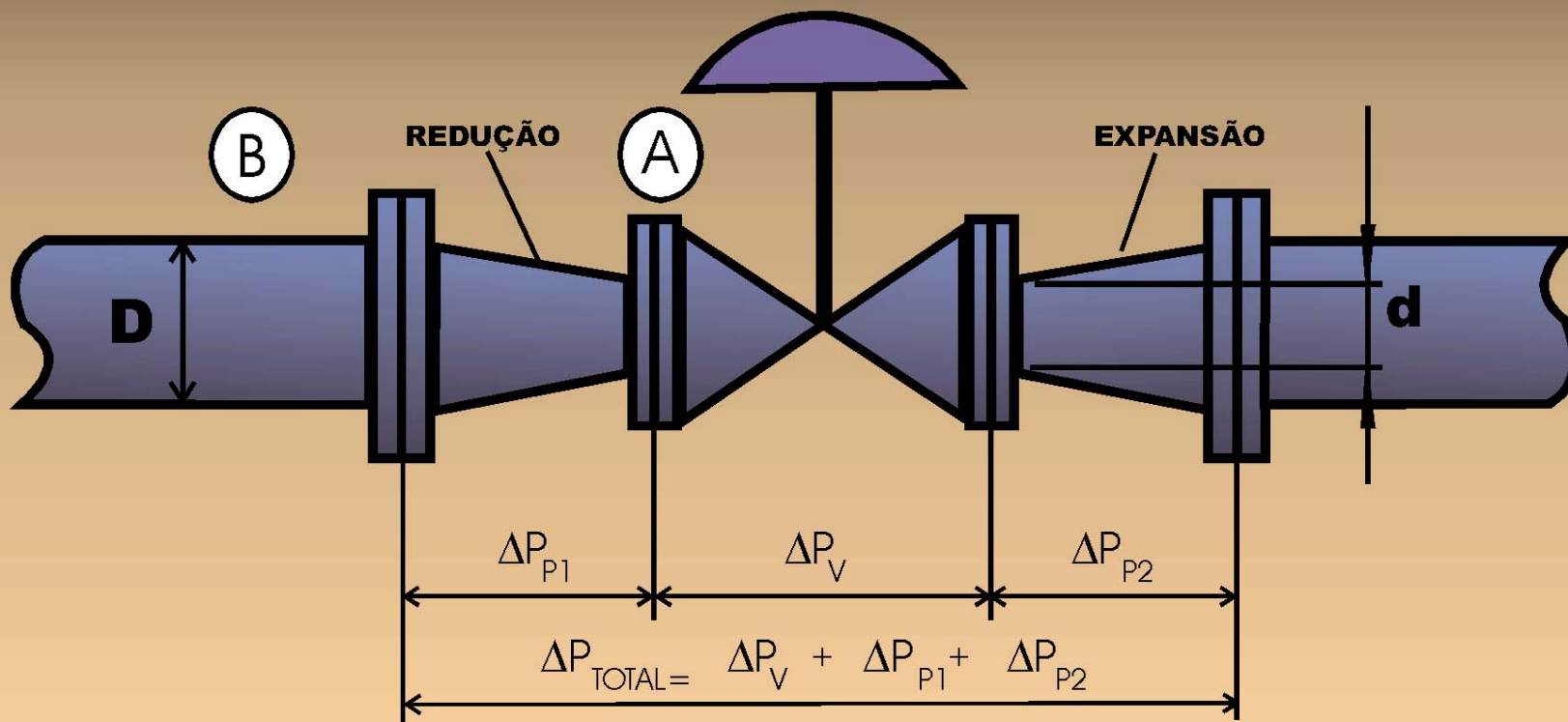


VÁLVULA INSTALADA NUMA TUBULAÇÃO DE MAIOR DIÂMETRO



Seleção de Válvulas

Fator de correção F_p



Seleção de Válvulas

Fator de correção F_p

$$F_p = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\Sigma K}{N_2} \left(\frac{C_v}{d^2} \right)^2}}$$

Seleção de Válvulas

Fator de correção F_p

$$\Sigma K = K_1 + K_2 + K_{B1} - K_{B2}$$

$$K_1 = 0.5 \left(1 - \left(\frac{d}{D_1} \right)^2 \right)^2 \quad K_2 = 1.0 \left(1 - \left(\frac{d}{D_2} \right)^2 \right)^2$$

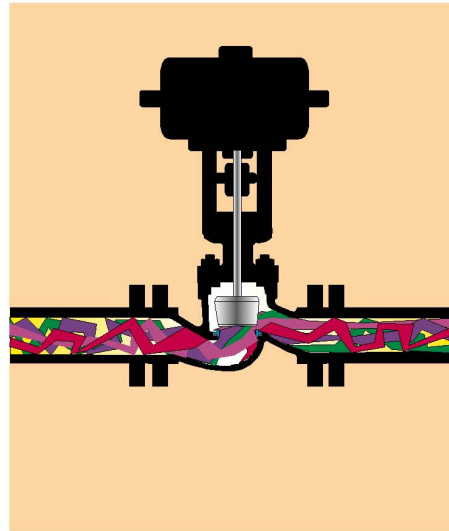
$$K_{B1} = 1 - \left(\frac{d}{D_1} \right)^4 \quad K_{B2} = 1 - \left(\frac{d}{D_2} \right)^4$$

Seleção de Válvulas

FATOR DE CORREÇÃO F_R

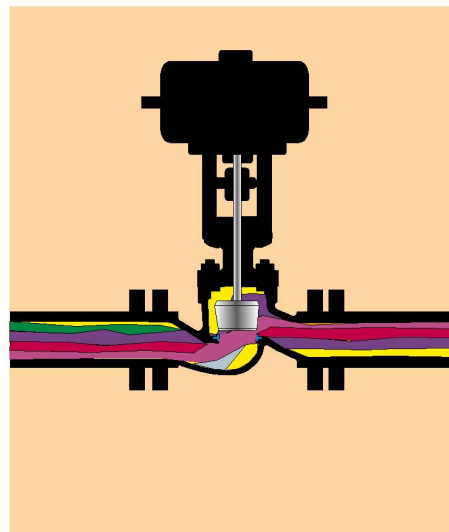
ESCOAMENTO TURBULENTO

VAZÃO
PROPORCIONAL
A ΔP



ESCOAMENTO VISCOSO

VAZÃO NÃO
PROPORCIONAL
A ΔP



Seleção de Válvulas

Fator do número de Reynolds

$$\text{Re}_V = \frac{N_4 F_d Q}{\nu \sqrt{F_P C_V F_L}} \left[\frac{(F_P F_L C_V)^2}{N_2 D^4} + 1 \right]^{1/4}$$

Q : Vazão

F_d : Fator modificador para cada tipo de válvula

F_P : Fator de geometria de tubulação

F_L : Fator de recuperação de pressão

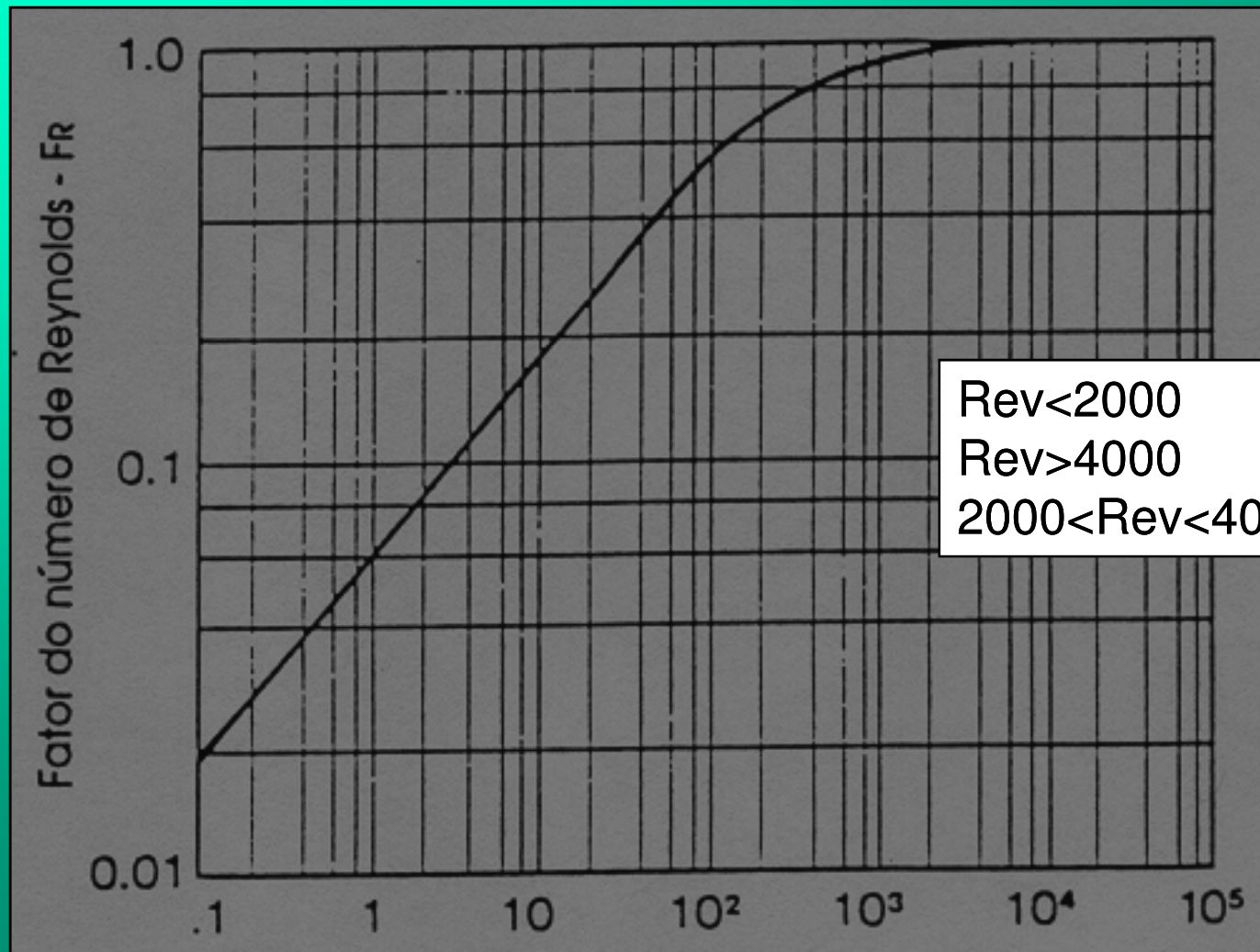
C_V : Coeficiente de vazão calculado

ν : Viscosidade cinemática (Centistokes)

N_2, N_4 : Constantes para ajustes de unidades

Seleção de Válvulas

Fator do número de Reynolds



| | |
|-------------------|------------------|
| Rev < 2000 | fluxo laminar |
| Rev > 4000 | fluxo turbulento |
| 2000 < Rev < 4000 | transição |

Seleção de Válvulas

Fluidos incompressíveis

$$C_v = \frac{q}{F_P F_y F_R} \sqrt{\frac{G_f}{\Delta P_a}}$$

C_v : Coeficiente de vazão
 F_P : Fator de geometria da tubulação
 F_R : Fator do número de Reynolds
 q : Vazão em volume (GPM)
 Δp_a : Pressão diferencial admissível (psi)
 G_f : Densidade específica @ condição de fluxo

Seleção de Válvulas

Fluidos incompressíveis

$$\Delta P_b = F_L^2 (P_1 - F_f P_v)$$

$$F_f = 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{P_v}{P_c}}$$

Δp_b : Pressão diferencial bloqueada (psi)
 F_L : Fator de recuperação de pressão
 F_f : Fator de razão da pressão crítica
 P_v : Pressão de vapor à temperatura de entrada (psia)
 P_1 : Pressão de entrada (psia)
 P_c : Pressão crítica do líquido (psia)

Seleção de Válvulas

Fluidos incompressíveis

$$\Delta P_r = P_1 - P_2$$

$$\Delta P_a = \min(\Delta P_r, \Delta P_b)$$

ΔP_r : Pressão diferencial real (psi)

P_1 : Pressão de entrada (psia)

P_2 : Pressão de saída (psia)

Seleção de Válvulas

$$Q = N_7 F_P C_V P_1 Y \sqrt{\frac{x}{G T_1 Z}}$$

$$Q = N_9 F_P C_V P_1 Y \sqrt{\frac{x}{M T_1 Z}}$$

Fluidos
Compressíveis

Q : Vazão volumétrica
N₇, N₉: Constantes numéricas
P₁ : Pressão de entrada (abs)
Y: Fator de expansão
T₁: Temperatura de entrada (abs)
M: Peso molecular
G: Gravidade específica
Z: Fator compressibilidade
x: Razão de queda de pressão ($\Delta p/P_1$)

Seleção de Válvulas

$$w = N_8 F_P C_V Y \sqrt{\frac{xM}{T_1 Z}}$$

Fluidos
Compressíveis

$$w = N_6 F_P C_V Y \sqrt{xP_1 \gamma_1}$$

- w** : Vazão (unidades de massa)
- N₆, N₈**: Constantes numéricas
- P₁** : Pressão de entrada (abs)
- γ**: Peso específico
- T₁**: Temperatura de entrada (abs)
- M**: Peso molecular
- G**: Gravidade específica
- Z**: Fator compressibilidade
- x**: Razão de queda de pressão ($\Delta p/P_1$)

Seleção de Válvulas

Fator de expansão Y

$$Y = 1 - \frac{x}{3 F_k X_t}$$

$$x = \frac{\Delta P}{P_1}$$

$$F_k = \frac{k}{1.4}$$

K = razão de calores específicos

X_t = Fator de razão de queda de pressão (fornecido pelo fabricante)

$x < F_k X_t$, portanto Y varia entre 0.666 e 1

Seleção de Válvulas

Fator de compressibilidade Z

Compensa o desvio de comportamento do gás com relação ao gás perfeito.

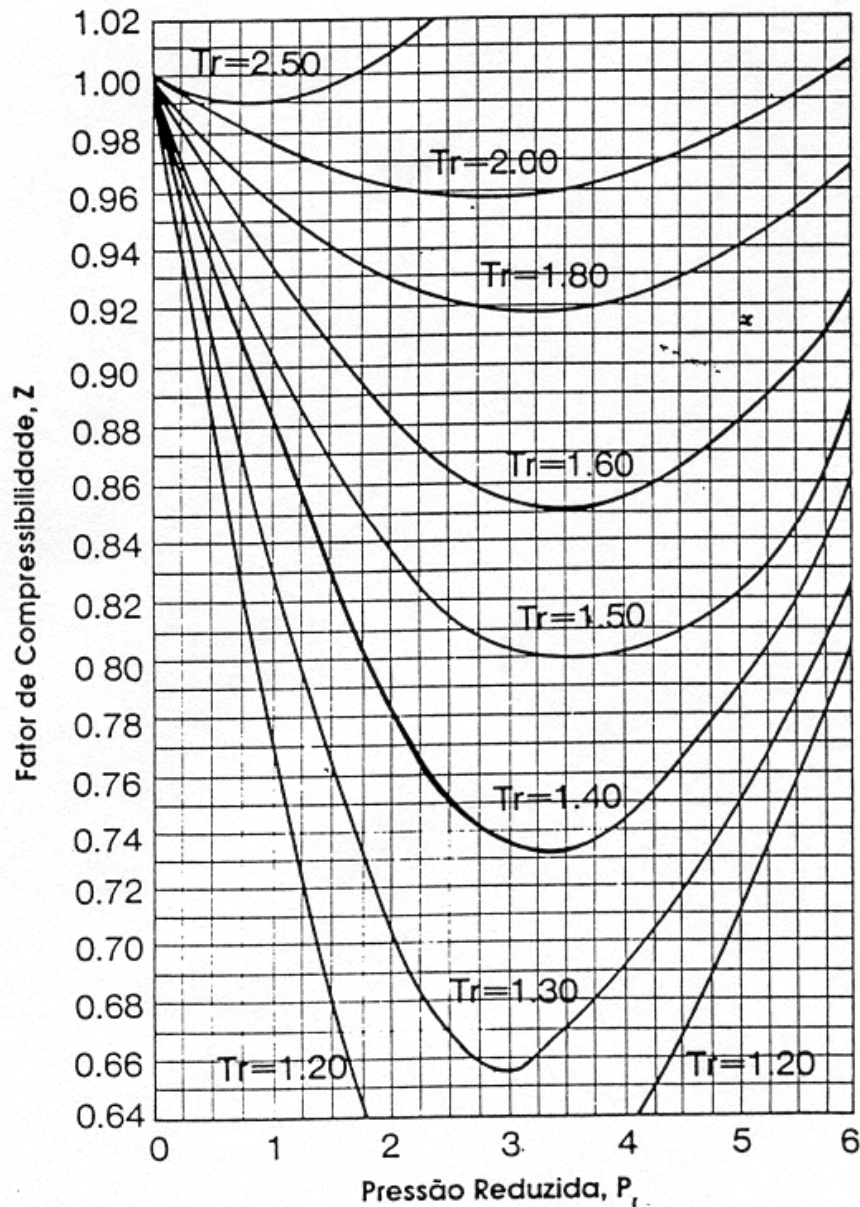
$$P_r = \frac{P_1}{P_c}$$

P_r : Pressão reduzida
 P_1 : Pressão de entrada(abs.)
 P_c : Pressão crítica(abs.)

$$T_r = \frac{T_1}{T_c}$$

T_r : Temperatura reduzida
 T_1 : Temperatura (° R)
 T_c : Temperatura crítica(°R)

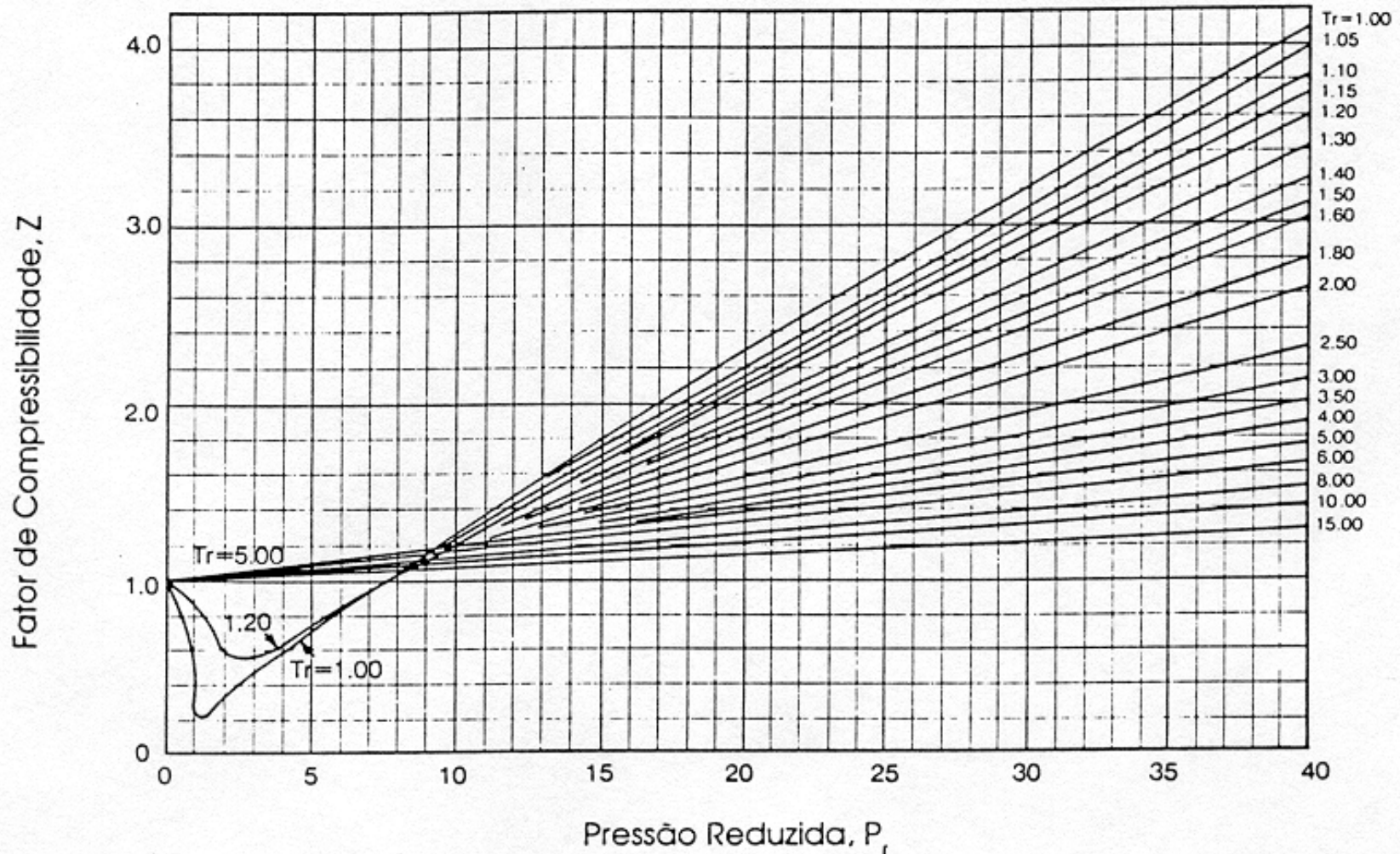
Seleção de Válvulas



Fator de compressibilidade Z

Seleção de Válvulas

Fator de compressibilidade Z



Seleção de Válvulas

Dimensionamento

Correção de fatores devido a presença de redutores

FL : deve ser substituído por FLP (valor calculado)

Xt : deve ser substituído por Xtp (valor calculado)

Seleção de Válvulas

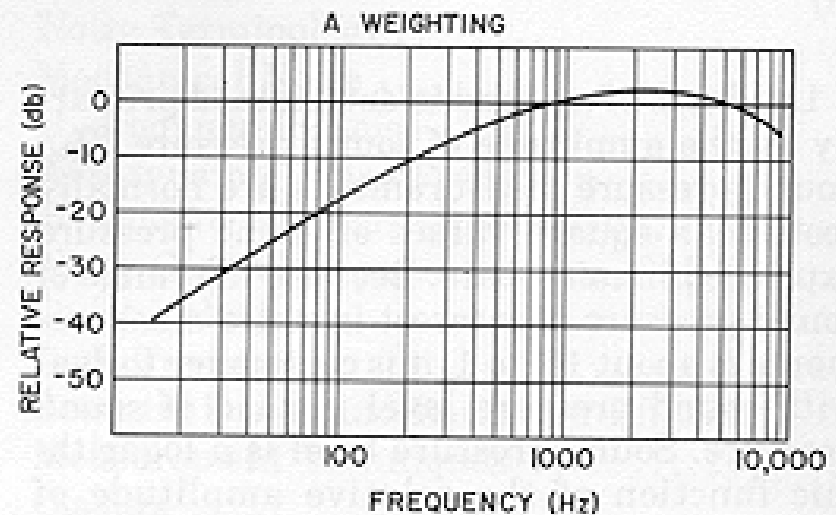
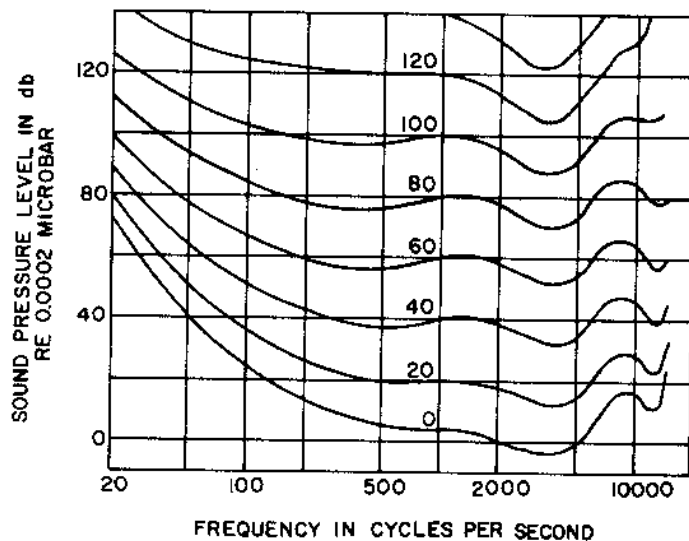
Ruído

Seleção de Válvulas

Ruído

ruído: som indesejável

Som é uma forma de energia que se propaga através de ondas de pressão, com velocidade característica do meio e numa faixa de frequência bastante larga. A escala de medição é logarítmica e compensada devido a diferente sensibilidade de resposta do ouvido humano às diferentes frequências.



Seleção de Válvulas

Ruído

Limites de exposição diária
Conforme OSHA

| Nível de Ruído | Horas |
|----------------|-----------|
| 85 | ilimitado |
| 90 | 8 |
| 92 | 6 |
| 95 | 4 |
| 97 | 3 |
| 100 | 2 |
| 102 | 1.5 |
| 105 | 1 |
| 110 | 0.5 |
| 115 | 0.25 |

Níveis de ruído familiares

| | |
|-------------------------|-----|
| Avião a jato | 140 |
| Britadeira | 130 |
| Prensa Hidráulica | 120 |
| Misturador concreto | 80 |
| Restaurante movimentado | 70 |
| Conversação normal | 60 |
| Relógio elétrico | 20 |

Seleção de Válvulas

Ruído

Limites de tolerância - NR-15

| DbA | Máx.exposição diária | DbA | Máx.exposição diária |
|-----|----------------------|-----|----------------------|
| 85 | 8 horas | 96 | 1 hora e 45 minutos |
| 86 | 7 horas | 98 | 1 hora e 15 minutos |
| 87 | 6 horas | 100 | 1 hora |
| 88 | 5 horas | 102 | 45 minutos |
| 89 | 4 horas e 30 minutos | 104 | 35 minutos |
| 90 | 4 horas | 105 | 30 minutos |
| 91 | 3 horas e 30 minutos | 106 | 25 minutos |
| 92 | 3 horas | 108 | 20 minutos |
| 93 | 2 horas e 40 minutos | 110 | 15 minutos |
| 94 | 2 horas e 15 minutos | 112 | 10 minutos |
| 95 | 2 horas | 114 | 8 minutos |
| | | 115 | 7 minutos |

Seleção de Válvulas

Ruído

Fontes de ruído na válvula

 ruído mecânico

 ruído hidrodinâmico

 ruído aerodinâmico

Seleção de Válvulas

Ruído Mecânico

- Ω Vibração à frequência natural (ressonância)
- ∞ Vibração horizontal (devido a folgas)
- ☝ Vibração vertical

Danos mecânicos são mais relevantes que o nível de ruído

Seleção de Válvulas

Ruído Hidrodinâmico

Ω Gerado principalmente quando ocorre a cavitação

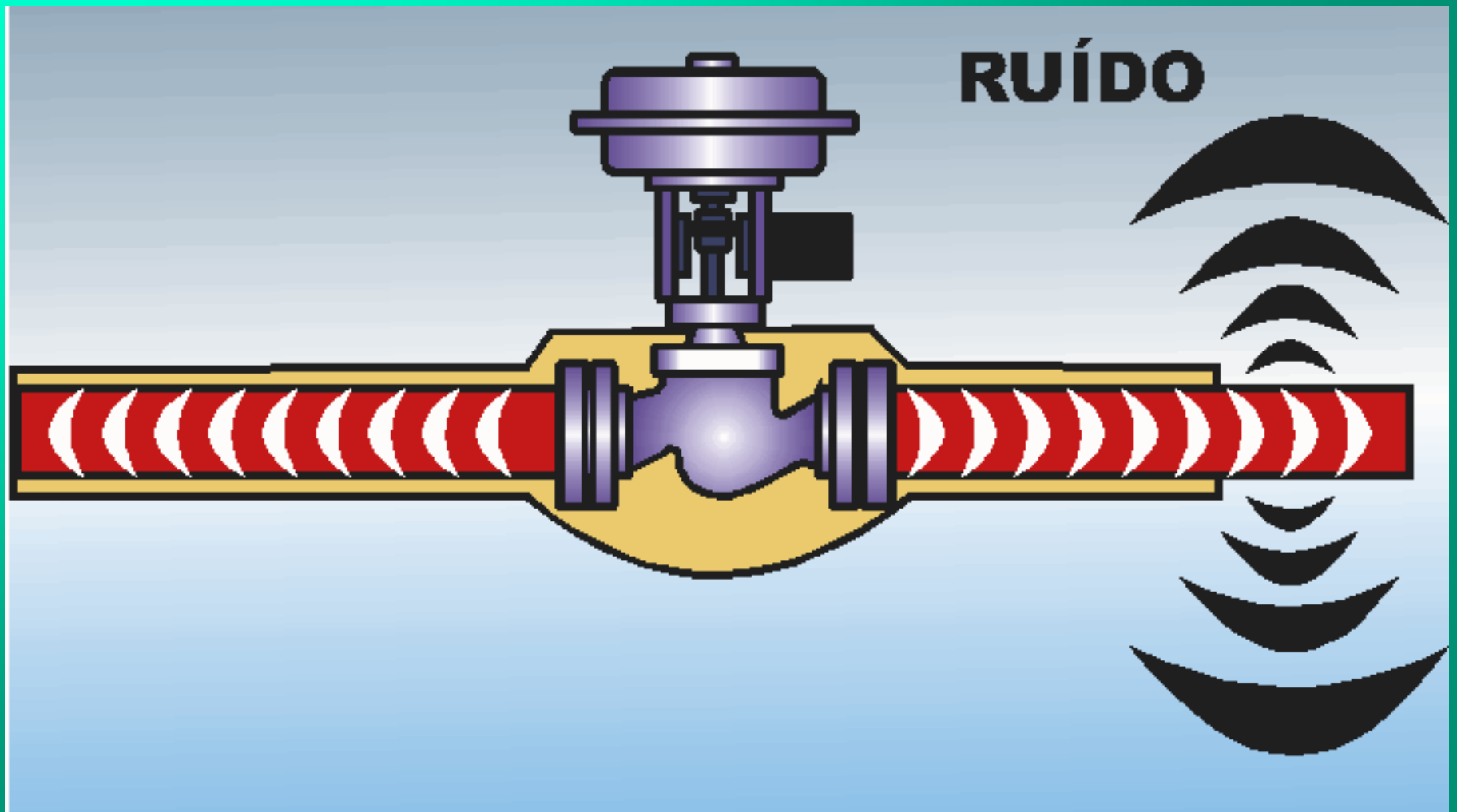
Danos mecânicos são mais relevantes que o nível de ruído

Seleção de Válvulas

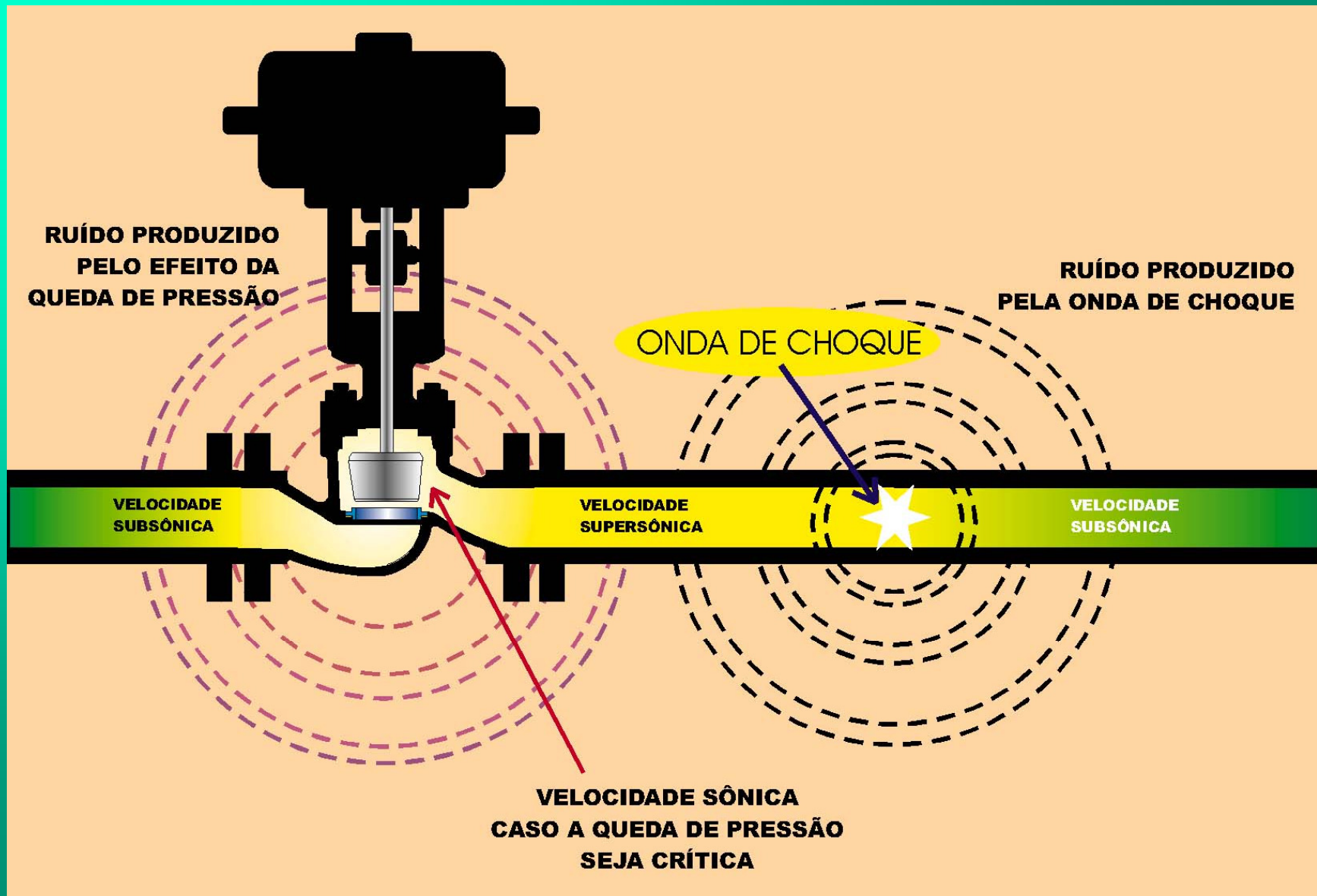
Ruído Aerodinâmico

- Principal fonte de ruído
- Dedução de fórmulas a partir da energia mecânica que é transformada em energia sonora (eficiência acústica)
- Fatores preponderantes: vazão , queda de pressão, fluido, diâmetro e espessura da tubulação a jusante.
- Fatores manipulados para redução do nível de ruído: velocidade do jato e frequência do ruído.
- Norma para cálculo de ruído: ISA S75.17 (método que envolve 46 equações).

Seleção de Válvulas

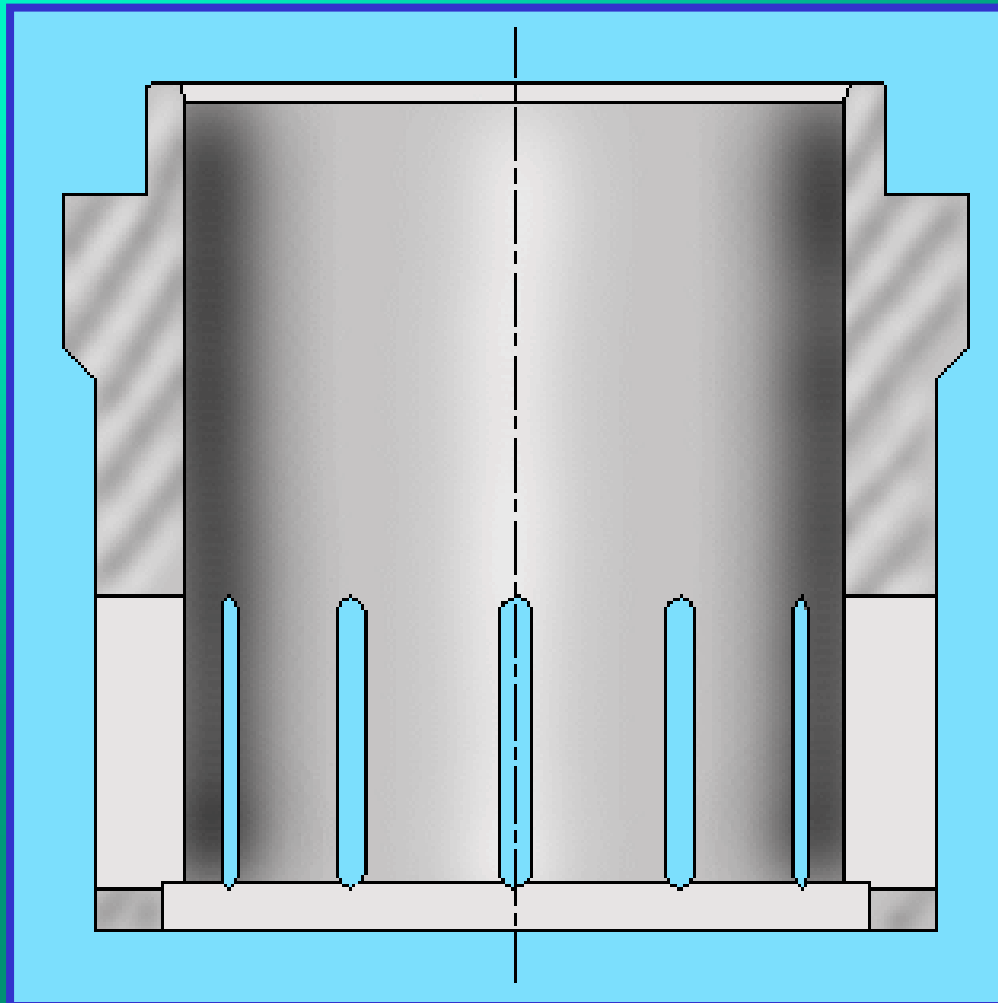


Seleção de Válvulas



Seleção de Válvulas

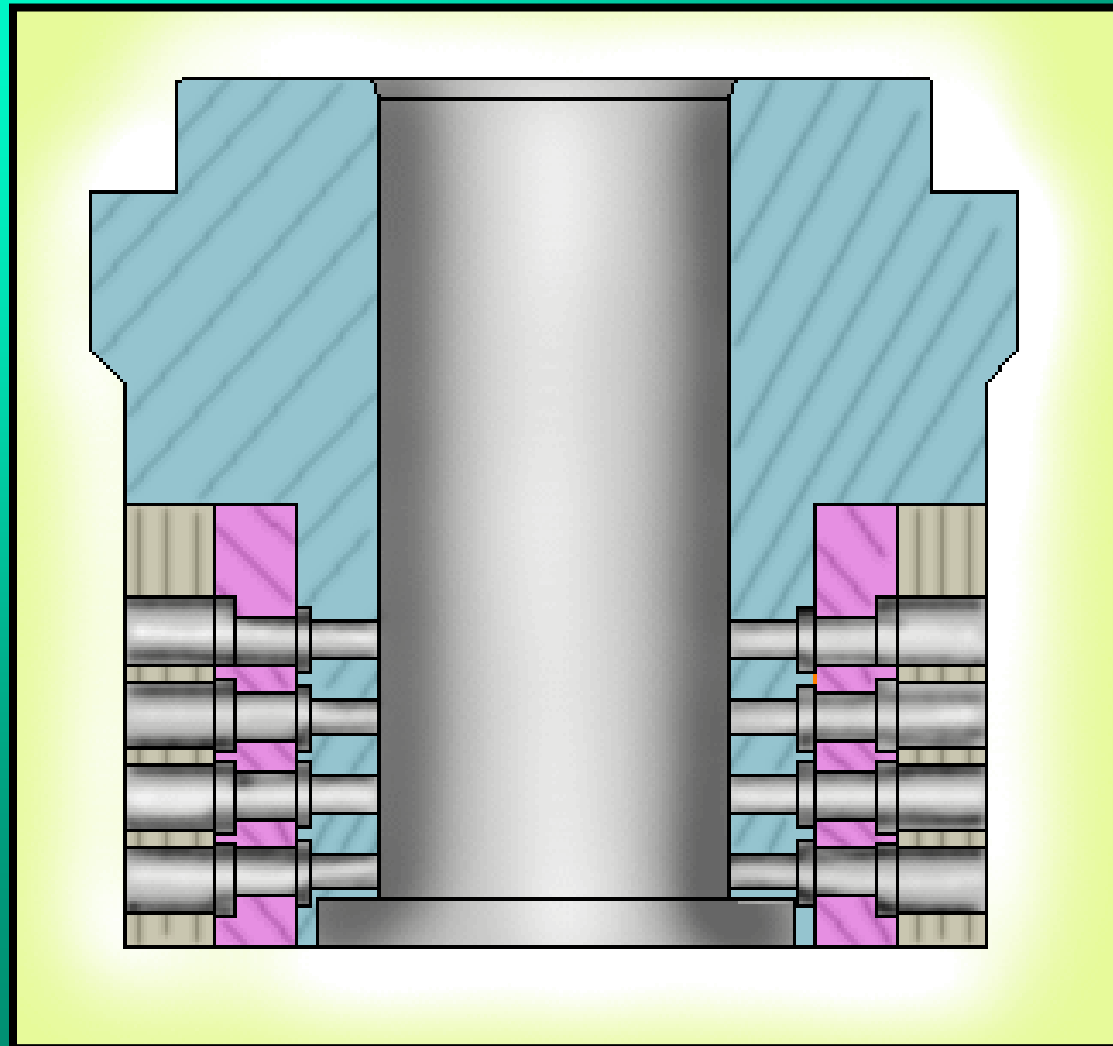
Internos especiais
Gaiola baixo ruído - canaletas



Seleção de Válvulas

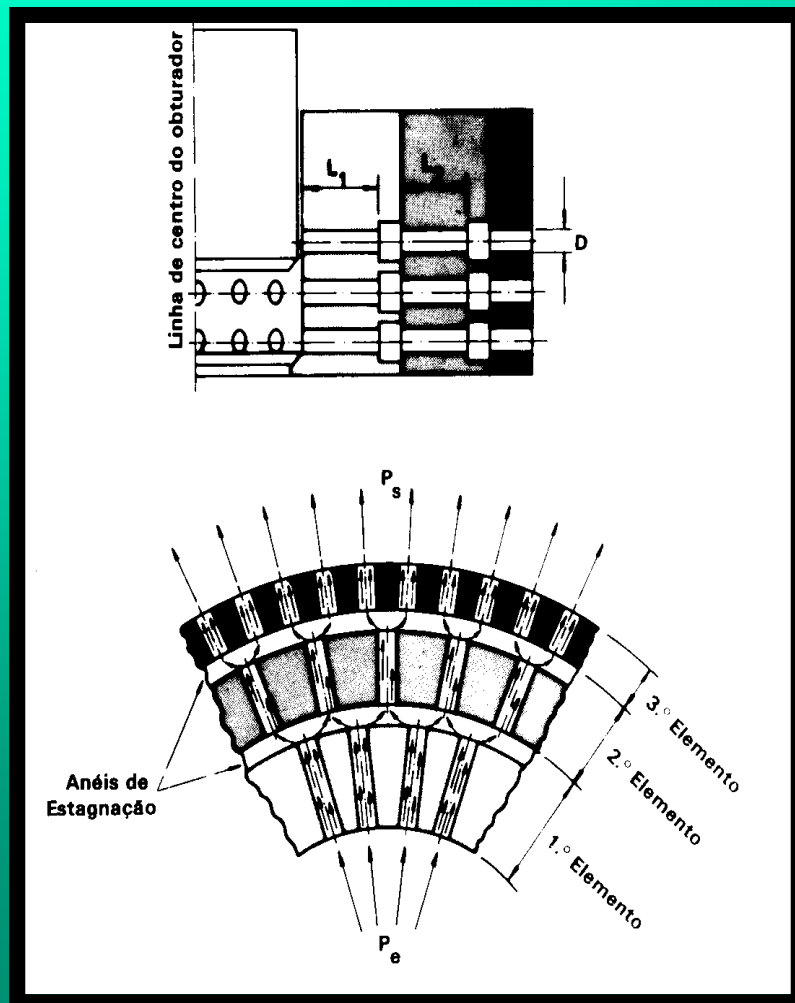
Internos especiais

Gaiola baixo ruído - múltiplos estágios



Seleção de Válvulas

Ruído Aerodinâmico - Meios De Atenuação



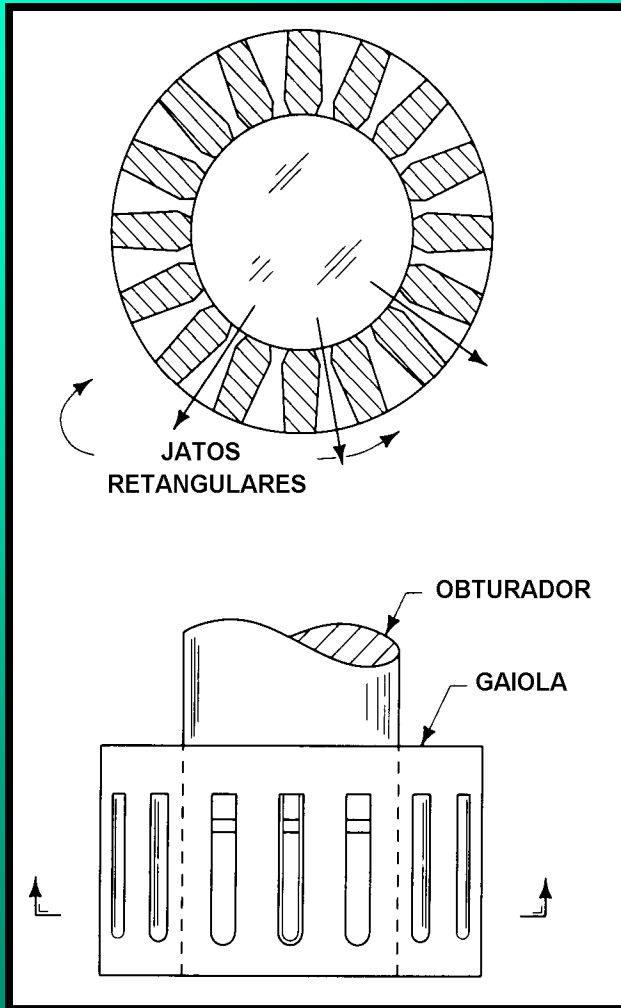
Gaiola baixo ruído.

O número de anéis utilizados depende das condições de operação e da atenuação de ruído requerida.

O número de orifícios em cada elemento é calculado de forma a manter a velocidade média de escoamento igual em todos os elementos.

Seleção de Válvulas

Ruído Aerodinâmico - Meios De Atenuação

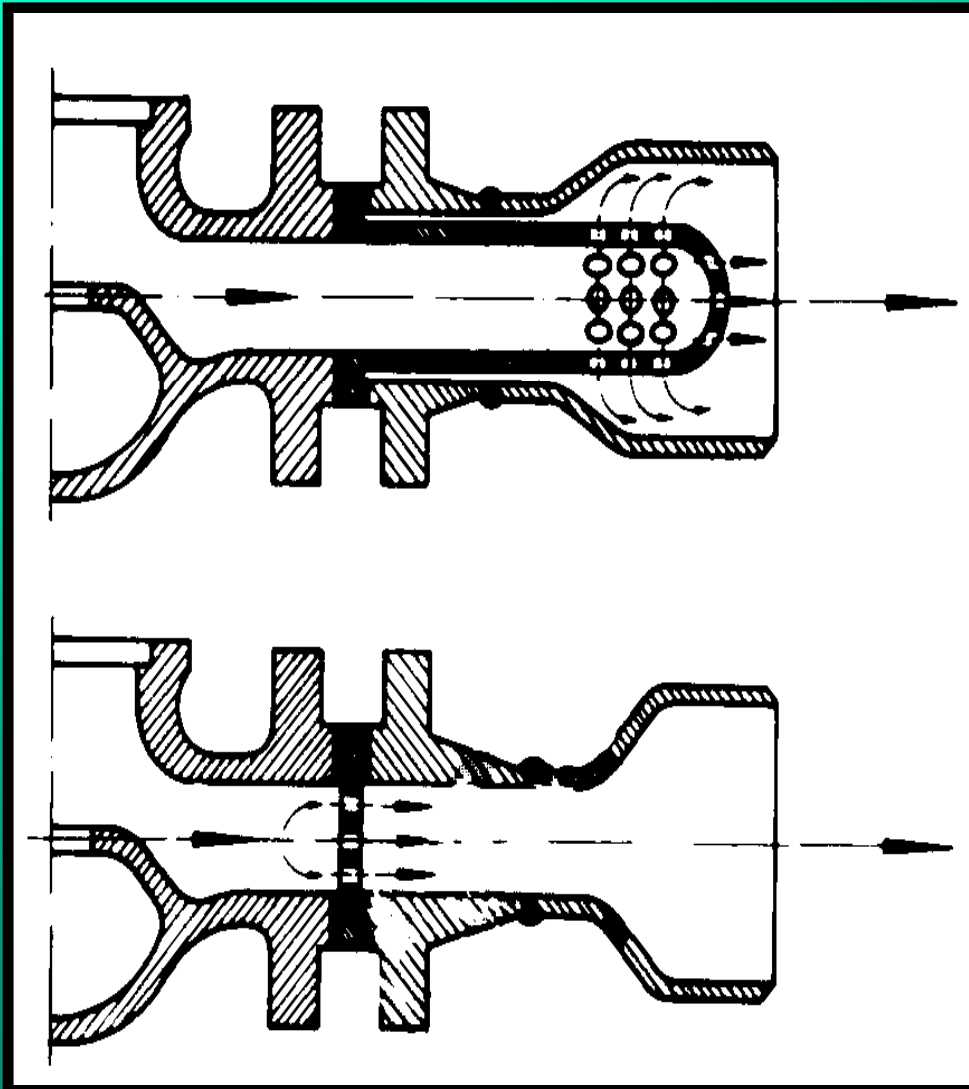


Gaiola baixo ruído

Simples estágio, com rasgos tipo canaleta

Seleção de Válvulas

Ruído Aerodinâmico - Meios De Atenuação



Difusores

O difusor é uma obstrução na linha que absorve parte da queda de pressão do sistema que seria absorvida pela válvula.

A passagem do fluxo é distribuída através de inúmeros pequenos orifícios, aumentando a frequência do ruído e dificultando sua transmissão através da tubulação

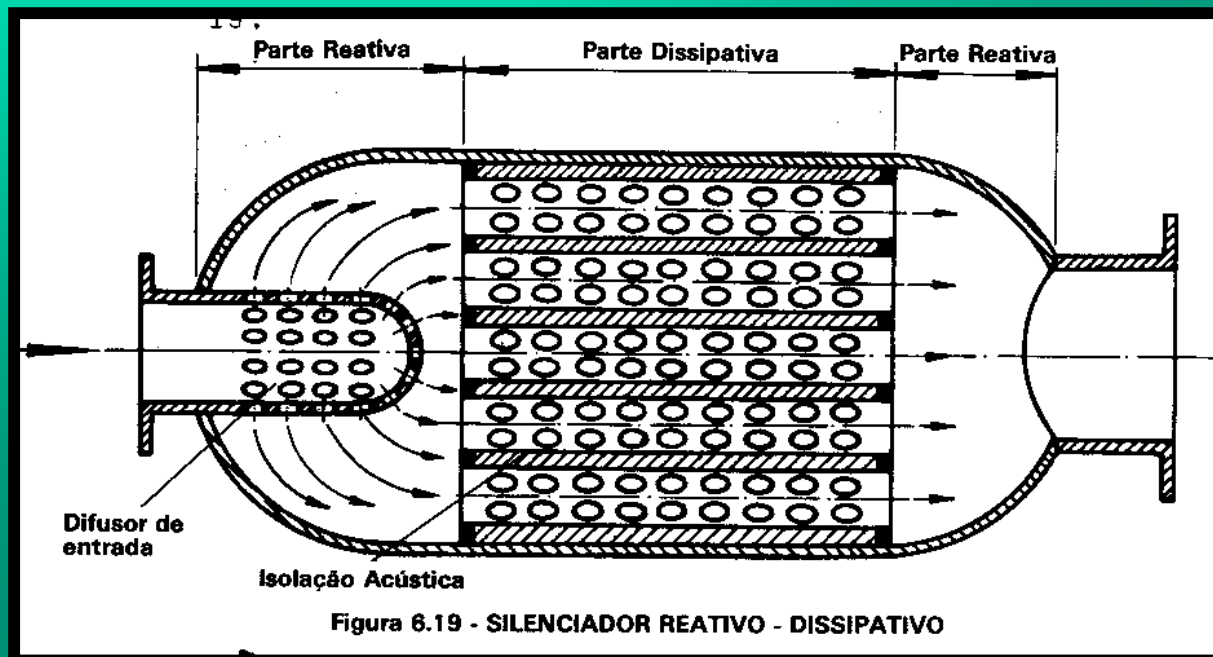
Seleção de Válvulas

Silenciadores

Reativos: não absorvem o ruído, criam impedância acústica, dificultando sua propagação. Indicados para ruídos de baixa frequência.

Dissipativos: constituídos de várias câmaras isoladas internamente com material absorvente de ruído. Indicado para ruídos de alta frequência.

Reativos-dissipativos: ideal para válvulas de controle, pois normalmente o ruído possui uma faixa larga de frequências.



Seleção de Válvulas

Ruído - Regras Práticas

- Decibéis não se somam. Se tivermos duas fontes geradoras de ruído, ambas produzindo 90 dBA, o nível de ruído resultante não é 180 dBA, mas sim 93 dBA.
- Quando duas fontes de ruído forem de igual intensidade, o ruído resultante é sempre 3 dBA maior que o produzido por qualquer das fontes; caso sejam de intensidades diferentes, o ruído resultante sempre será um pouco maior (no máximo até 3 dBA) ou praticamente igual à maior delas.

Exemplo:

| | | |
|-------------------------------|---|------------|
| 65dBA combinados com 65A dBA | → | 68.010 dBA |
| 65dBA combinados com 80A dB A | → | 80.135 dBA |
| 65AdB combinados com 95A dB A | → | 95.004 dBA |

Seleção de Válvulas

Ruído - Regras Práticas

- O uso de isolamento acústico deve ser criterioso, pois atenua apenas a radiação que seria dissipada pela atmosfera porém não atenua a que se propaga com fluxo através da tubulação. Após o término do trecho com isolamento, o ruído será transmitido à atmosfera com uma intensidade essencialmente igual à que seria transmitida inicialmente, caso não fosse utilizado o isolamento acústico.
- Se o produto pressão de entrada em psia pelo C_v calculado da válvula e pelo FL for menor que 1000, o ruído aerodinâmico não será superior a 90 dBA.
- Isolamento térmico com 1 pol. de espessura reduz 5 a 10 dB no ruído.

Seleção de Válvulas

Ruído - Regras Práticas

- Dobrando-se a espessura de parede da tubulação à jusante da válvula atenua-se 5 a 6 dBA.
- Independente da localização de pessoas próximas à válvula não permita que o ruído (antes do isolamento) exceda 110 dBA a um metro de distância.

Seleção de Válvulas

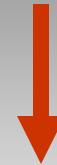
Análise da velocidade

Seleção de Válvulas

Excessiva velocidade de entrada



erosão



vibração

Limitação a valores práticos recomendados

Seleção de Válvulas

Cálculo Da Velocidade

Líquidos

$$V = \frac{N_{10} \cdot Q}{d^2}$$

Gases

$$V = \frac{N_{11} \cdot Q \cdot T}{d^2 P}$$

Vapor de água

$$V = \frac{N_{12} \cdot W \cdot v}{d^2}$$

| | Sistema Inglês | Sistema Métrico |
|-----------------------|----------------|-----------------|
| N₁₀ | 0,408 | 354,000 |
| N₁₁ | 0,156 | 1,230 |
| N₁₂ | 3,060 | 354,000 |

Seleção de Válvulas

Limites Da Velocidade De Saída

Líquidos.....40 pés/s (12,2 m/s)

Gases.....0,7 Mach

Mistura ou Flashing.....500 pés/s (152,4 m/s)

Cavitação.....30 pés/s (9,1 m/s)

Baixo Ruído

Tipo canaleta.....0,5 Mach

1 ou 2 estágios...0,5 Mach

3 ou mais estágios...0,33 Mach

Seleção de Válvulas

Velocidade De Saída - Fluidos Compressíveis

Gases

$$d_2 = N_{16} \sqrt{\frac{Q}{P_2}} \sqrt{\frac{T_2 \cdot G}{K}}$$

Vapor

$$d_2 = N_{17} \sqrt{\frac{W \cdot v}{\sqrt{T_2}}}$$

d_2 = Diâmetro sônico

A velocidade de saída deve ser subsônica, portanto o diâmetro da válvula deve ser maior que o calculado pelas fórmulas acima.

Seleção de Válvulas

Cálculo do Atuador

- **Responsabilidade do fabricante**
- **Importante correta definição da pressão máxima de fechamento**
- **Dimensionamento correto visa:**
 - **Estabilidade dinâmica da válvula**
 - **Proporcionar força de assentamento para garantir vedação**

Seleção de Válvulas

Atuadores Lineares

Forças atuantes

- **Desequilíbrio estático**
- **Engaxetamento (atrito - depende do material da gaxeta)**
- **Assentamento (depende da classe de vedação requerida)**
- **Força de instabilidade dinâmica (principalmente em válvulas com fluxo tendendo a fechar)**

Seleção de Válvulas

Atuadores Rotativos

Torques atuantes

- Torques dinâmicos nas condições máxima, normal e mínima)
- Torque de fechamento / abertura
- Engaxetamento (atrito - depende do material da gaxeta)
- Assentamento (depende do material da sede)

Seleção de Válvulas

Exercícios
