PMR2560 – Robótica
Atuadores pneumáticos e hidráulicos

Eduardo L. L. Cabral
elcabral@usp.br

Objetivos

- Atuadores pneumáticos e hidráulicos:
  - Conceito;
  - Sistemas pneumáticos e hidráulicos;
  - Tipos principais;
  - Dimensionamento.

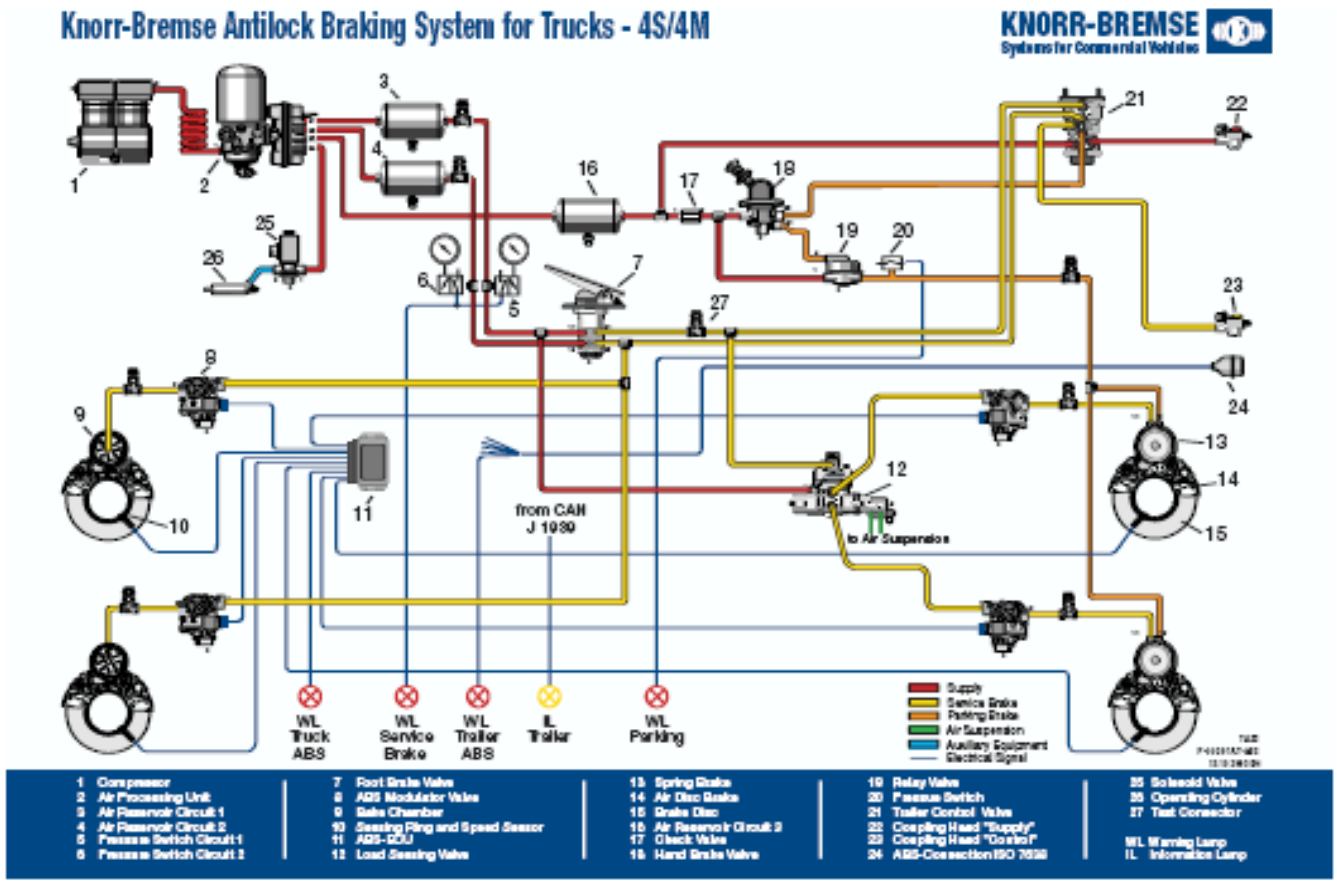
Conceito

- Atuadores pneumáticos e hidráulicos:
  - São elementos mecânicos que por meio de movimentos lineares ou rotativos transformam energia cinética gerada pelo fluido (ar ou óleo) pressurizado em energia mecânica produzindo trabalho.

Sistema pneumático/hidráulico

- Bomba/compressor;
- Acumulador (sistemas hidráulicos);
- Desumidificador (sistemas pneumáticos)
- Medidor de pressão;
- Reservatório;
- Tubulação;
- Filtro;
- Atuador;
- Válvulas ⇒
  - Reguladora de pressão;
  - Seletora;
  - Lançadora;
  - Segurança (alívio);
  - Seqüênciamento;
  - Restrição;
  - Reguladora de fluxo;
  - Servo-válvula.

Sistema pneumático/hidráulico



Tipos de atuadores

- Atuadores lineares:
  - Simples efeito;
  - Duplo efeito (com amortecimento, haste passante, duplex contínuo, duplex geminado, alto impacto).
- Atuadores giratórios oscilantes (pneumáticos).
- Motores rotativos:
  - De palheta;
  - De pistão;
  - De engrenagem.

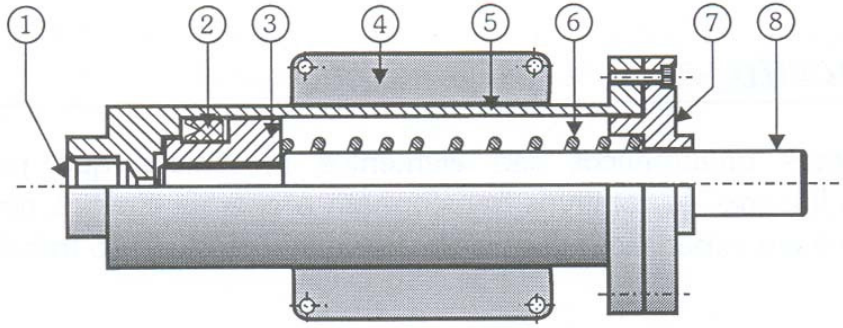
Características gerais

- Não apresentam problemas de aquecimento quando travados e em mudança de sentido de movimento;
- Motor ⇒ sem limitação de movimento;
- Cilindro ⇒ grande limitação de movimento;
- Motor ⇒ média qualidade de movimento;
- Cilindro ⇒ boa qualidade de movimento;
- Barulhentos;
- Caros para controlar com precisão.

Características dos cilindros

- Hidráulico:
  - Alta força ⇒ alta relação força/peso;
  - Baixa inércia ⇒ alta relação força/inércia;
  - Alta rigidez ⇒ alta relação rigidez/peso;
  - Acionamento direto da articulação;
  - Perigosos e sujos;
  - Alto custo.
- Pneumático:
  - Baixa força ⇒ baixa relação força/peso;
  - Baixa inércia ⇒ média relação força/inércia;
  - Baixa rigidez ⇒ baixa relação rigidez/peso;
  - Acionamento direto da articulação;
  - Barulhento;
  - Baixo custo.

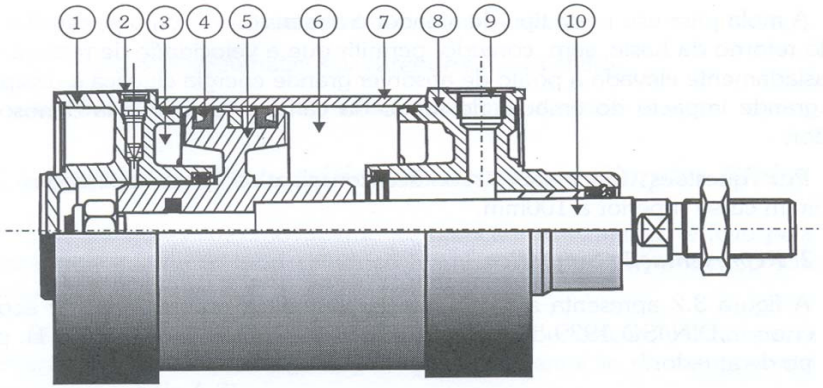
Tipos de cilindros



1. Entrada e saída de ar
2. Vedação do êmbolo em neopreme
3. Êmbolo
4. Elemento de fixação
5. Camisa
6. Mola
7. Tampa frontal
8. Haste em aço especial

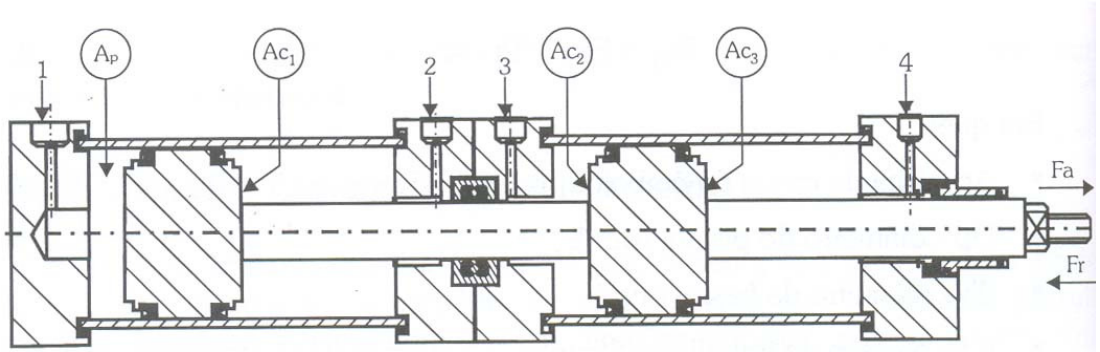
- Simples efeito

- Duplo efeito

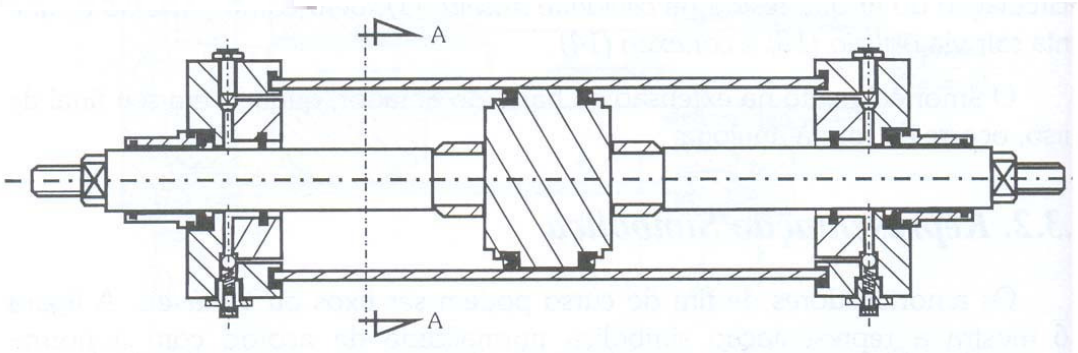


1. Tampa traseira
2. Conexão de alimentação/exaustão
3. Câmara traseira
4. Vedação do êmbolo em neopreme
5. Êmbolo
6. Câmara frontal
7. Camisa
8. Tampa frontal
9. Conexão alimentação/exaustão
10. Haste

Tipos de cilindros



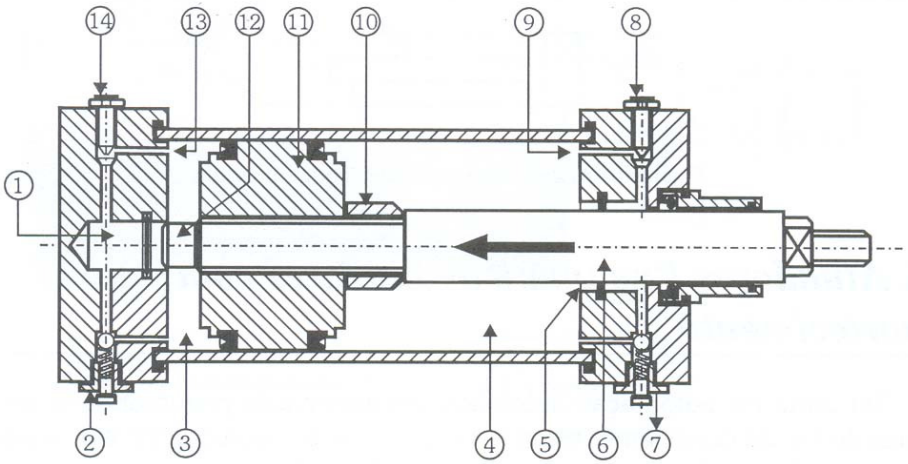
- Duplex contínuo



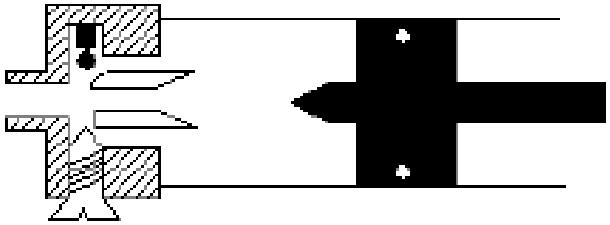
- Duplo efeito c/ haste passante

Tipos de cilindros

- Duplo efeito c/ amortecimento



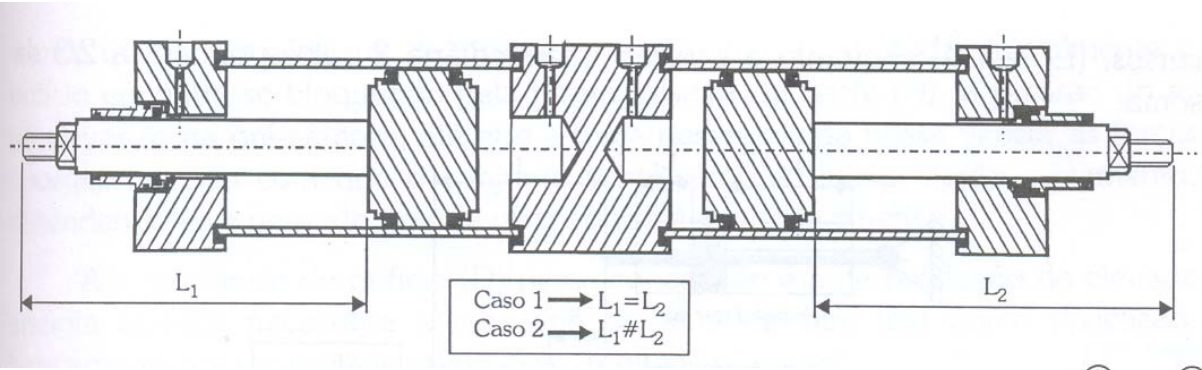
1. Cavidade traseira
2. Conj. válvula de retenção
3. Câmara traseira
4. Câmara frontal
5. Cavidade frontal
6. Haste
7. Conj. válvula de retenção
8. Conexão alimentação/exaustão c/ reg. de amortecimento
9. Orifício de saída para amortecimento no avanço
10. Bucha amortecedora
11. Êmbolo
12. Ponta amortecedora da haste
13. Orifício de saída para amortecimento no retorno
14. Conexão alimentação/exaustão c/reg. de amortecimento

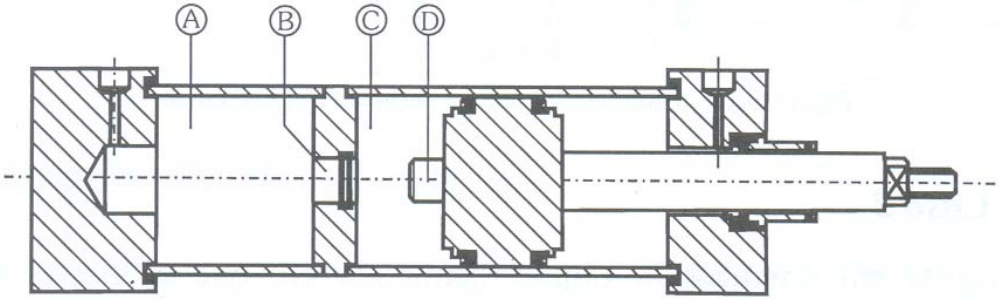


- Amortecedor de final de curso ⇒ evitar choques devido à brusca interrupção no final da atuação.

Tipos de cilindros

- Duplex geminado

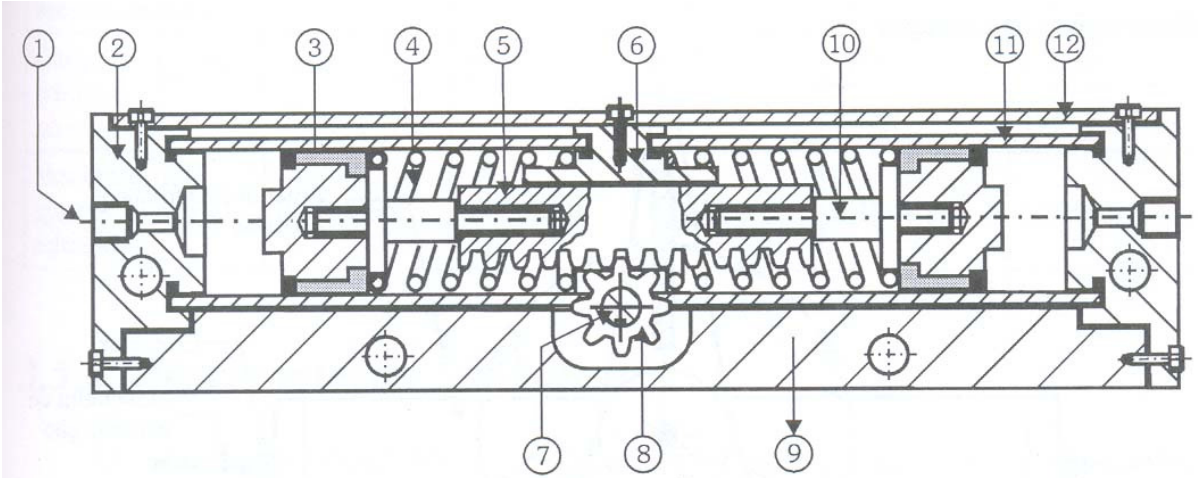




- Duplo efeito de alto impacto

Tipos de cilindros

- Atuador pneumático oscilante



1. Conexão alimentação/exaustão
2. Tampa lateral
3. Êmbolo
4. Mola de centragem
5. Cremalhera
6. União central
7. Eixo de torção
8. Engrenagem
9. Base
10. Conector do êmbolo e cremalhera
11. Tubo cilíndrico
12. Tampa do conjunto

Motor pneumático rotativo

- Características:
  - Alta rotação;
  - Baixa inércia;
  - Baixo torque;
  - Baixa rigidez;
  - Permite uso de redutor de velocidade $\Rightarrow$ { Aumenta torque e diminui rotação; Aumenta rigidez; Alta relação torque/peso; Alta relação rigidez/peso; Alta relação torque/inércia
  - Sem limitação de movimento;
  - Não apresenta problema de travamento;
  - Média qualidade de movimento;
  - Barulhento;
  - Baixo custo.

➢ Apesar das boas qualidades não são explorados na robótica.

Motor pneumático rotativo

- Comparação motor elétrico x motor pneumático (ambos com redutor):
  - Ambos não tem limitação de movimento;
  - Ambos tem alto torque;
  - Ambos apresentam baixa rotação;
  - Alta rigidez ⇒ rigidez do redutor;
  - Pneumático baixa qualidade de movimento X elétrico boa qualidade de movimento (flutuação de velocidade);
  - Pneumático é barulhento X elétrico é silencioso;
  - Pneumático, controle não tão fácil X elétrico, controle fácil;
  - Pneumático não apresenta problema de travamento X elétrico esquenta quando travado;
  - Pneumático tem baixo custo X elétrico tem alto custo.

Motor hidráulico rotativo

- Características:
  - Baixa rotação;
  - Baixa inércia;
  - Alto torque;
  - Alta rigidez;
  - Não precisa de redutor de velocidade (velocidade, torque e rigidez adequados para acionamento direto);
  - Sem limitação de movimento;
  - Média flutuação de velocidade angular (vibração).

➢ Motor quase ideal.

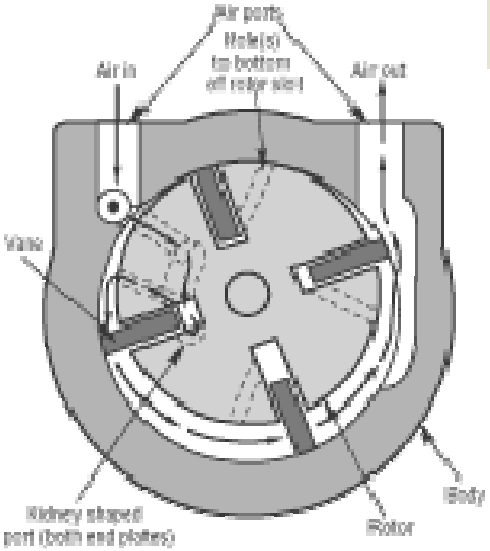
➢ Apesar das qualidades não são explorados na robótica.

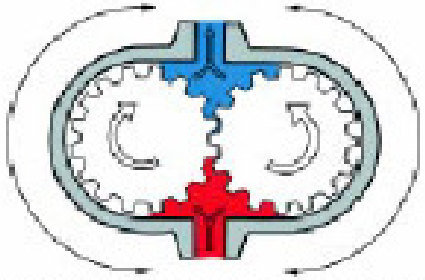
Motor hidráulico rotativo

- Comparação motor elétrico com redutor X motor hidráulico sem redutor:
  - Ambos não tem limitação de movimento;
  - Ambos tem alto torque, baixa rotação, alta rigidez;
  - Hidráulico, peso e volume baixos X elétrico, com redutor peso e volume muito grandes;
  - Hidráulico, média qualidade de movimento X elétrico, boa qualidade de movimento (flutuação de velocidade);
  - Hidráulico é perigoso e barulhento X elétrico é seguro e silencioso;
  - Hidráulico, controle não tão fácil X elétrico, controle fácil;
  - Hidráulico, não apresenta problema de travamento X elétrico, esquenta quando travado;
  - Hidráulico tem custo muito alto X elétrico tem custo um pouco mais baixo.

Tipos de motores

Motor de palheta

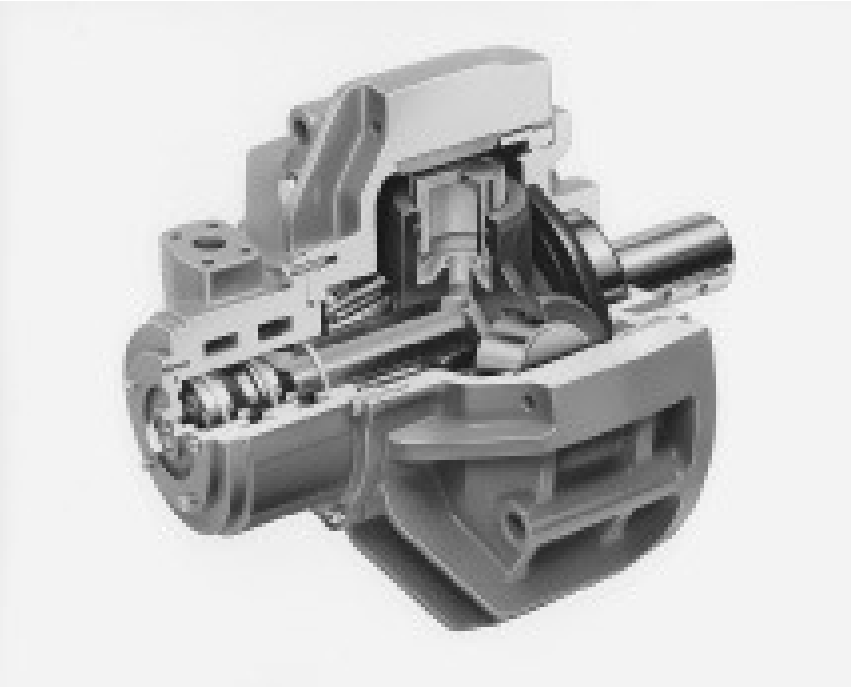




MOTOR HIDRÁULICO TIPO ENGRENAGEM

Tipos de motores

Motor de pistão

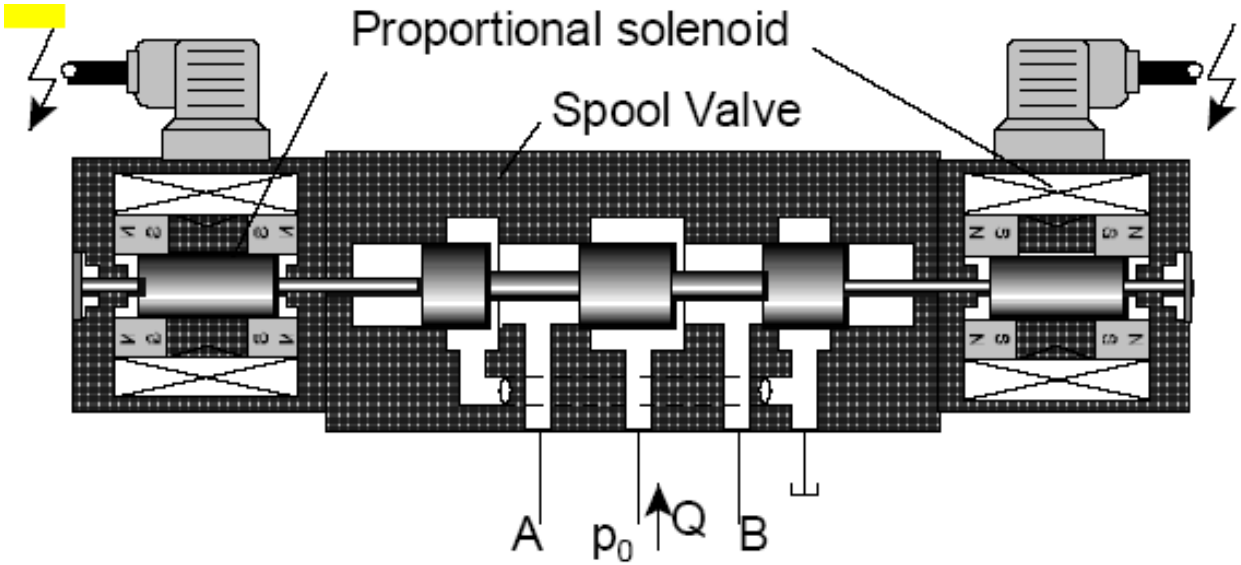


Controle

- Controle de atuadores pneumáticos e hidráulicos:
  - Pode-se realizar tanto controle de velocidade quanto de posição;
  - Exige válvulas de controle de vazão;
  - Válvulas com acionamento elétrico/eletrônico;
  - Válvulas proporcionais e servo-válvulas.

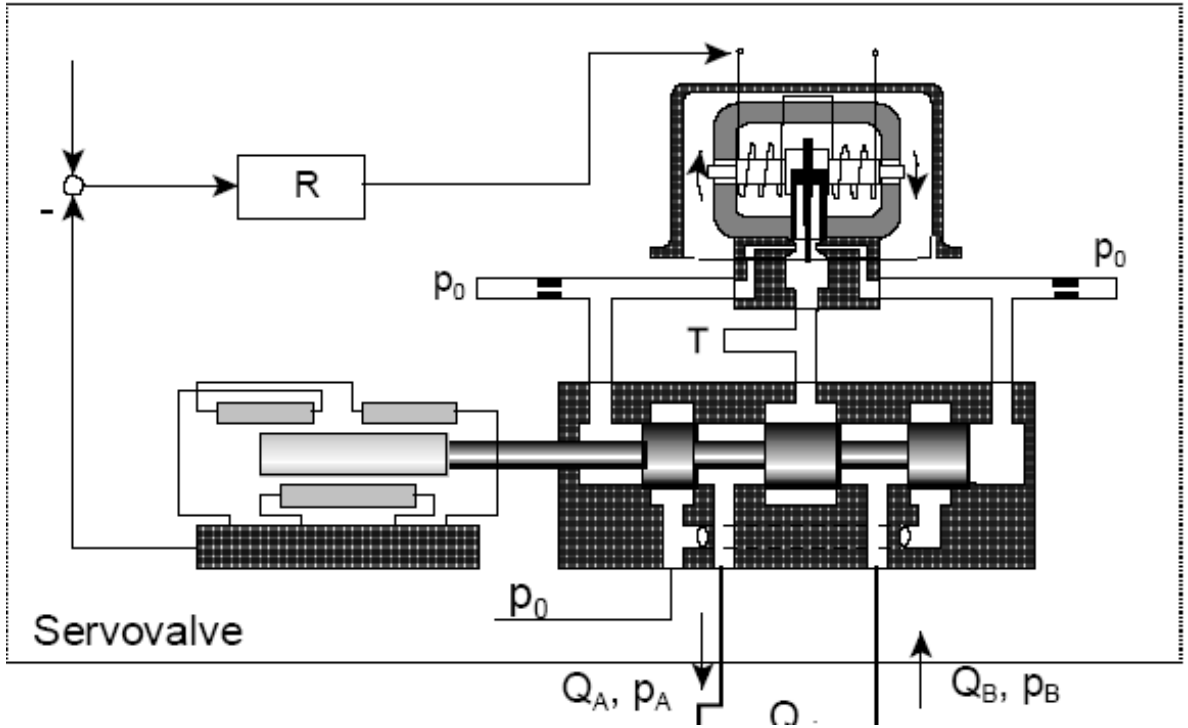
Válvula proporcional

- Baixo custo;
- Controle não muito preciso;
- Exige solenóides de alta potência (ordem de alguns watts);
- Princípio de operação simples.



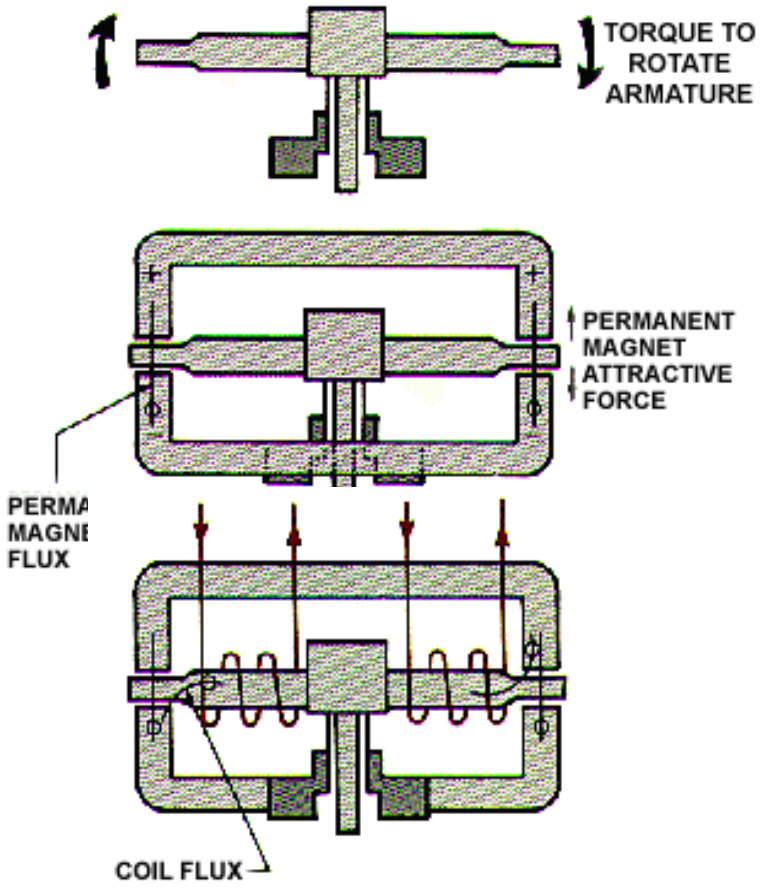
Servo-válvula

- Custo muito alto;
- Controle preciso;
- Exige pouca potência elétrica (miliwatts);
- Válvula tem realimentação hidráulica;
- Princípio de operação complexo;
- Diversas variantes de projeto.



Servo-válvula (componentes)

- Motor de torque:
  - Enrolamento;
  - Pólos superior e inferior;
  - Armadura;
  - Imãs permanentes (dois)
  - ➢ Converte sinal de entrada de um acionador eletrônico em um movimento físico da armadura (haste).

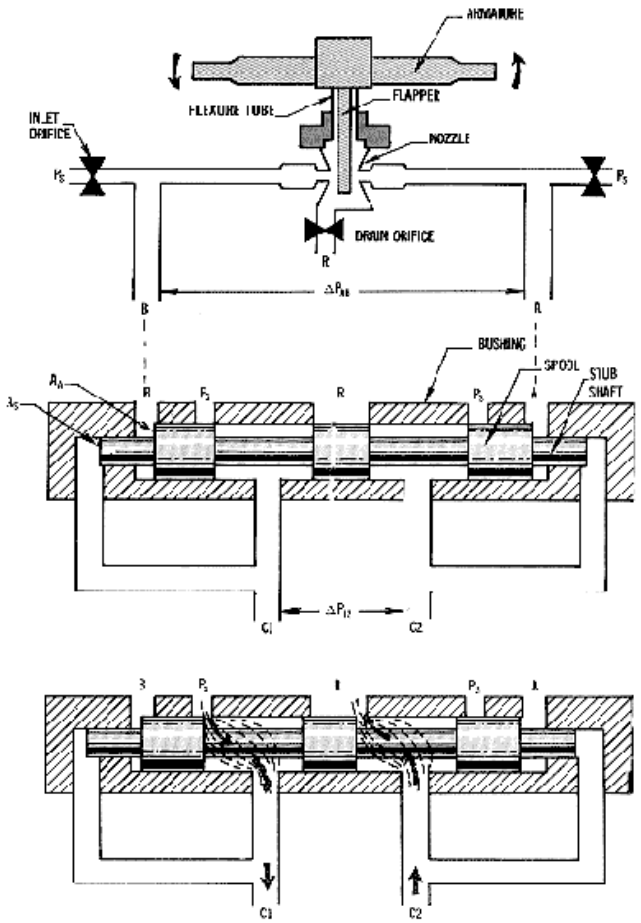


Servo-válvula (componentes)

- Primeiro estágio de controle:
  - Dois bocais fixos;
  - Dois orifícios variáveis formados pelo bocal e a haste móvel;
  - Haste é presa na armadura e move de um lado a outro quando a armadura gira ⇒ isso controla o fluxo de fluido através dos bocais;
  - ➢ Regula a vazão de fluido proveniente da bomba.
- Segundo estágio de controle:
  - Um êmbolo controla a vazão de fluido da válvula para o atuador e o retorno do fluido do atuador para a válvula;
  - Uma realimentação da posição do êmbolo para o enrolamento da armadura cria uma malha fechada entre a posição da armadura e a posição do êmbolo.

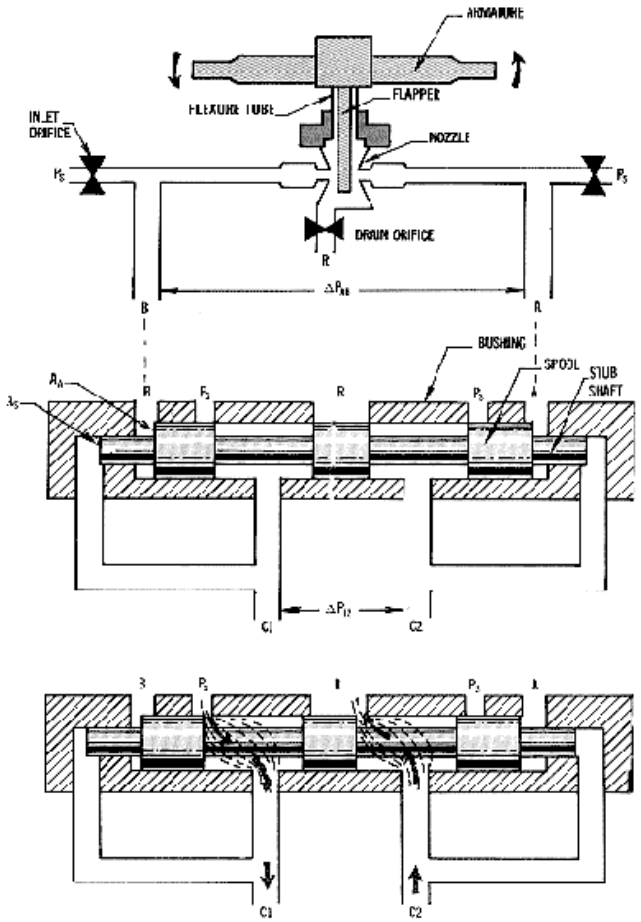
Servo-válvula (operação)

- Sinal de controle energiza enrolamento da armadura provocando sua rotação;
- Armadura gira no sentido horário ou anti-horário dependendo da polaridade do sinal elétrico ⇒ velocidade de rotação depende da amplitude do sinal elétrico;
- Rotação da armadura/haste controla a vazão de fluido para os bocais ⇒ a vazão por um bocal aumenta e pelo outro diminui;
- Desbalanceamento de vazão cria um diferencial de pressão que posiciona o êmbolo do segundo estágio;
- Êmbolo se move em resposta ao diferencial de pressão;



Servo-válvula (operação)

- A realimentação da posição do êmbolo na armadura exerce um torque contrário que tenta centrar a haste;
- O êmbolo continua a se mover até que o torque de realimentação se iguala com o sinal de controle e centra a haste ⇒ nessa condição a abertura dos dois bocais é a mesma fazendo com que a pressão nos dois lados do êmbolo sejam equalizadas parando o seu movimento;
- Para cada amplitude e polaridade do sinal de controle existe uma única posição correspondente do êmbolo;
- A posição do êmbolo controla a quantidade, a vazão e a duração do fluxo de fluido para o atuador;



Dimensionamento (atuador linear)

- Dados de projeto:
  - Parâmetro principal de projeto ⇒ força de avanço e velocidade;
  - Tipo de operação.
- Dados calculados:
  - Cálculo do diâmetro do atuador;
  - Verificação da haste quanto à flambagem;
  - Consumo de ar necessário.

Dimensionamento (atuador linear)

- Cálculo do diâmetro do atuador:
  - Diâmetro do atuador é determinado em função da força de avanço e da pressão de trabalho do fluido:
    - Pneumático normalmente 6 bar;
    - Hidráulico normalmente > 100 bar;
  - Este diâmetro refere-se ao diâmetro interno do cilindro:

$$D_p = 2\sqrt{\frac{F_p \varphi}{\pi P_t}}$$

φ = fator de correção da força: 1,25 – 1,50;

P_t = pressão de trabalho;

F_p = força de projeto.

  - Obtém-se então um diâmetro comercial ≥ diâmetro calculado.

Dimensionamento (atuador linear)

- Verificação da haste quanto à flambagem:
  - Para operações onde o deslocamento da haste é grande $\Rightarrow$ necessário verificar comportamento quanto à flambagem (Euler):

$$d_h = \sqrt[4]{\frac{64 C_S \lambda^2 F_p \varphi}{\pi^3 E}}$$

C_S = coeficiente de segurança: 3,5 – 5;

λ = comprimento livre de flambagem;

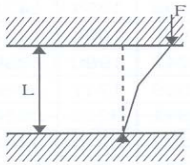
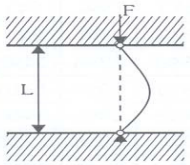
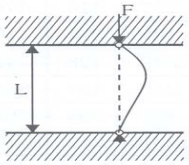
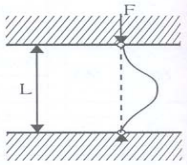
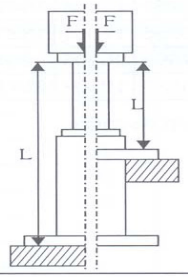
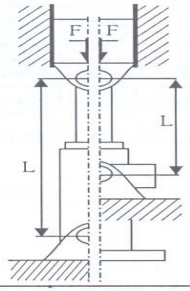
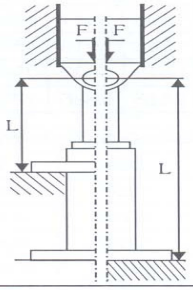
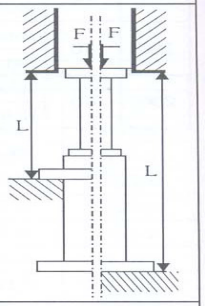
E = módulo de elasticidade do material;

$E_{aço}$ = 210 GPa.

  - Diâmetro da haste do cilindro comercial ≥ diâmetro calculado.

Dimensionamento (atuador linear)

Comprimentos de flambagem

Cargas de Euler				
Carga de Euler	Caso 1 Uma extremidade livre, a outra fixa.	Caso 2 (Caso básico) Duas extremidades articuladas	Caso 3 Uma extremidade articulada e outra fixa.	Caso 4 Duas extremidades fixas.
Representação Esquemática				
	Comprimento Livre de Flambagem			
	$\lambda = 2\,L$	$\lambda = L$	$\lambda = L.\,(0{,}5)^{0{,}5.}$	$\lambda = L/2$
Situação de Montagem para Cilindros Hidráulica				
Notas			Guiar a carga com cuidado, porque há possibilidade de travamento.	Inadequado, provável ocorrência de travamento.

Dimensionamento (atuador linear)

- Cálculo do consumo de ar:

$$C = \frac{A_p L n_c (p_t + 1{,}013)}{1{,}013 x 10^6}$$

ou,

$$C = \frac{A_p L (p_t + 1{,}013)}{1{,}013 x 10^6 T}$$

C= consumo de ar (l/s);

A_p = área efetiva dos pistão (mm²);

L = curso (mm);

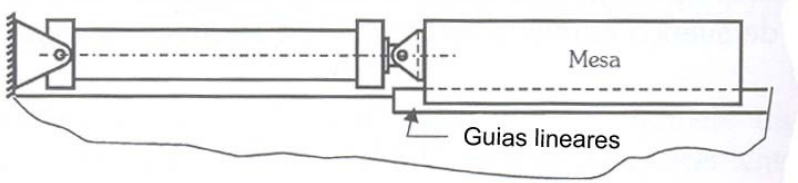
n_c = número de ciclos por segundo;

P_t = pressão de trabalho (bar);

T = tempo para um único ciclo (s).

Exemplo

- A figura a seguir representa a mesa de um dispositivo de movimentação de carga, que é deslocada por deslizamento sobre guias lineares, perfazendo um percurso total de 100 cm. Dimensione comercialmente o atuador pneumático linear (D_p e d_h), considerando a situação de montagem adequada. Considere a força de avanço de 150 Kgf e a pressão de trabalho de 6 kgf/cm^2.



Dp (mm)	dh (mm)
32	12
40	16
50	20
63	20
80	25
100	25
125	32
160	40
200	40