



INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

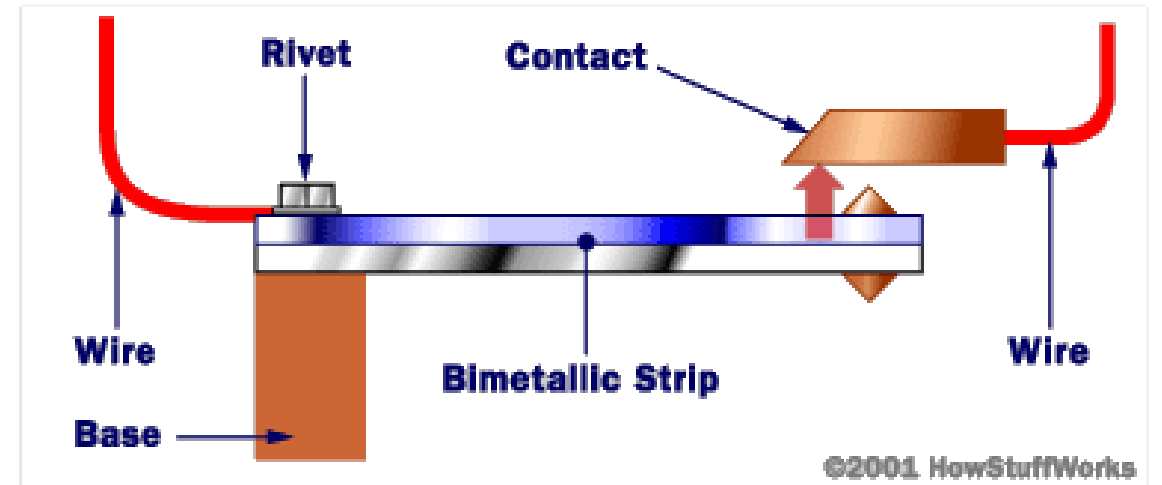
PROF. ROGER CRUZ

CLASSIFICAÇÃO DOS INSTRUMENTOS SEGUNDO O TIPO DE SINAIS PRODUZIDOS OU MANIPULADOS:

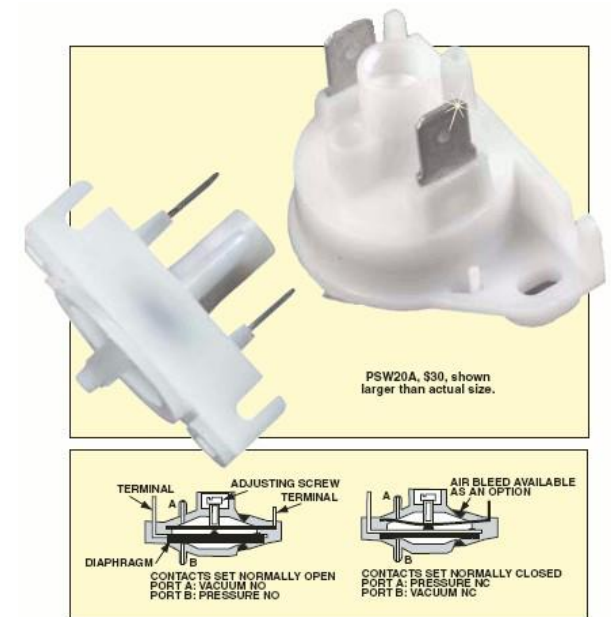
Discretos: assumem somente 2 valores possíveis: zero/um, aceso/apagado, ligado/desligado, etc.

- Chave de Nível (indica se o nível é superior ou inferior a um dado limiar);
- Chave de pressão ou pressostato;
- Chave de temperatura ou termostato;
- Chave fim de curso;
- Alarmes;
- Válvulas solenóides (que se abrem ou se fecham completamente, e em condição normal indica-se NA – normalmente aberta, ou NF – normalmente fechada.)

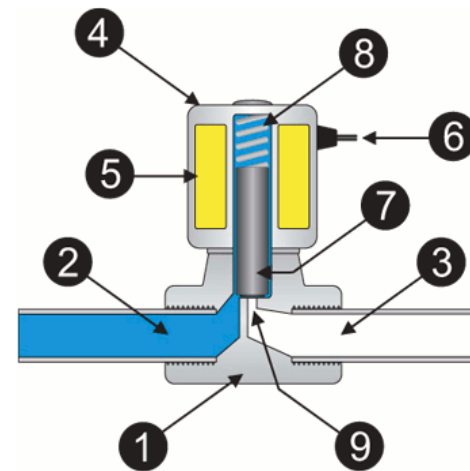
TERMOSTATO



PRESSOSTATO

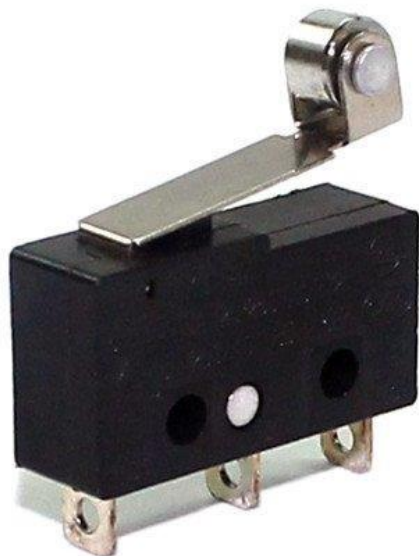


VALVULA SOLENOIDE



- 1. Corpo da Válvula
- 2. Entrada
- 3. Saída
- 4. Bobina/Solenóide
- 5. Enrolamento da Bobina
- 6. Fios p/ conexão
- 7. Êmbolo
- 8. Mola
- 9. Orifício

CHAVE FIM DE CURSO



CLASSIFICAÇÃO DOS INSTRUMENTOS SEGUNDO O TIPO DE SINAIS PRODUZIDOS OU MANIPULADOS:



Digitais: assumem ou indicam valores em um conjunto finito enumerável de possibilidades.



Instrumentos eletrônicos de medição com mostradores digitais;



Instrumentos de medição ligados em uma rede digital dedicada (field bus, sensor bus, etc);



Motor de passo;



Encoder (medição de posição via contabilização de pulsos gerados);

MULTÍMETRO DIGITAL

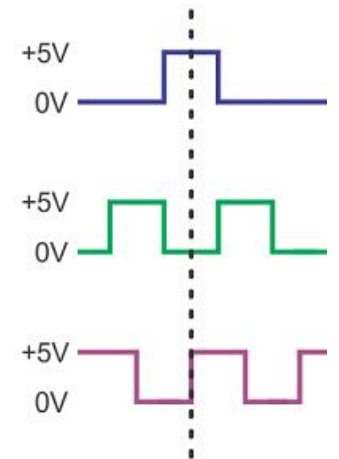
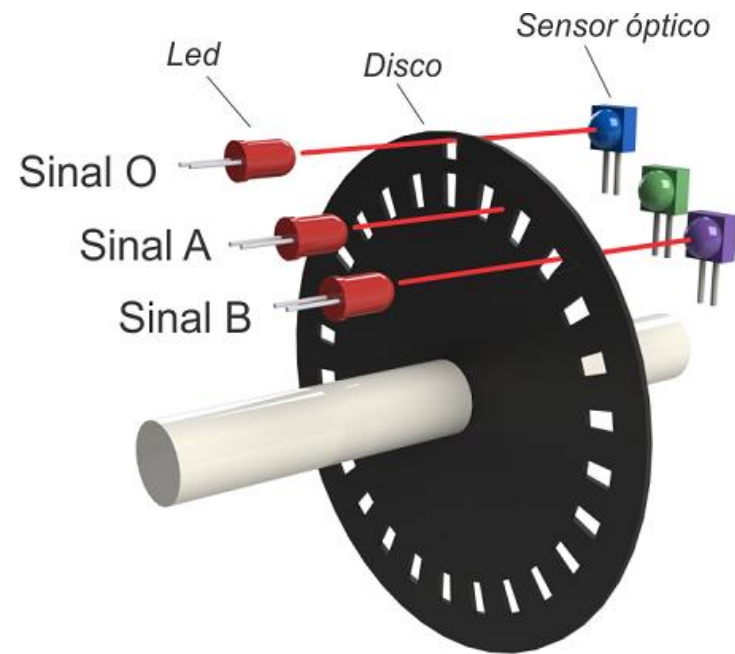


É bastante comum, atualmente, o uso de instrumentos eletrônicos com mostradores digitais. Nestes casos, a precisão do instrumento é fornecida pelo fabricante como uma porcentagem do valor indicado no “display” mais um número, como indicado:

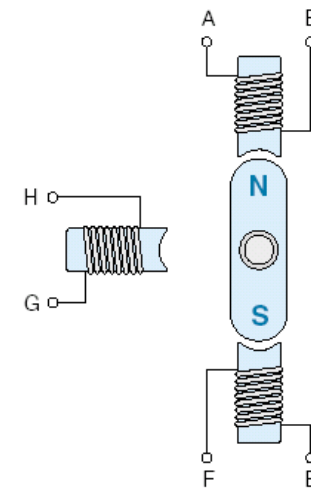
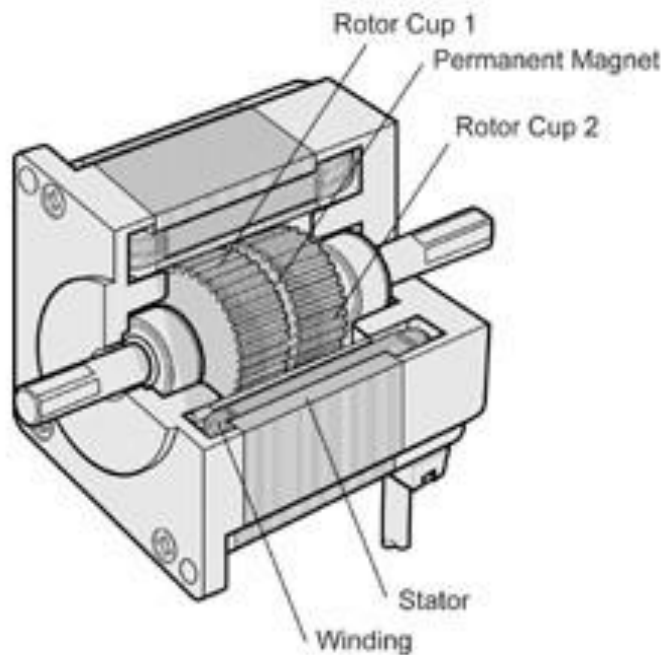
$\pm \% \text{ leitura} + n^{\circ} \text{ digito}$

Precisão	Fundo de Escala	Leitura	Erro do Instrumento
$\pm 0.5\% + 1$	200 mV	137,2 mV 38,3 mV	0,79 mV 0,29 mV
$\pm 0.8\% + 1$	1000 V	212 V 22V	2,7 V 1,2 V
$\pm 1.2\% + 3$	700 mA	11 mA 432 mA	3,1 mA 6,2 mA

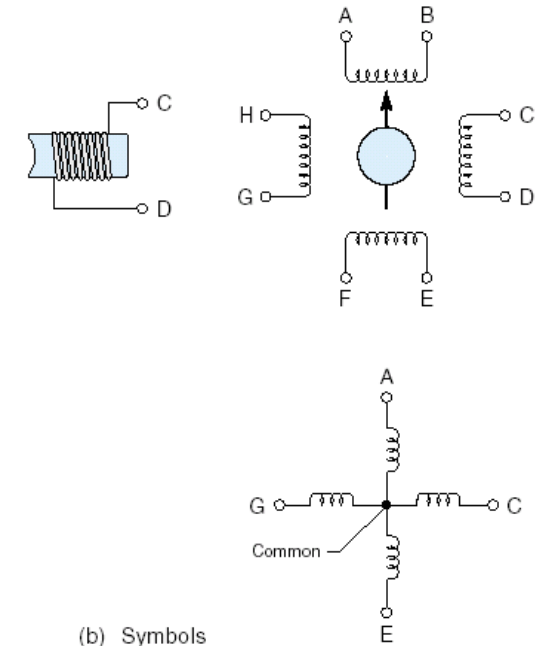
ENCODER RELATIVO OU INCREMENTAL



MOTOR DE PASSO



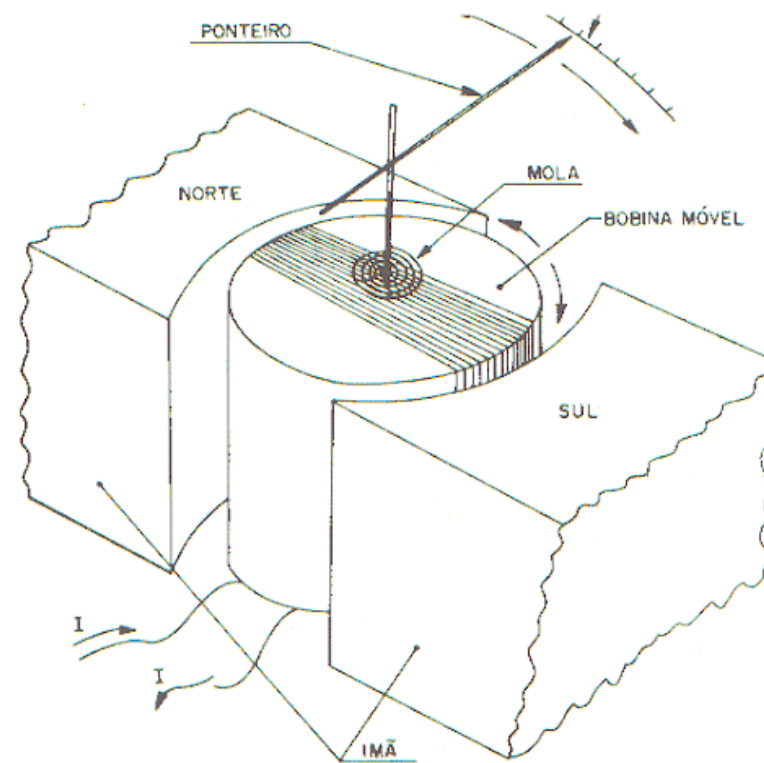
(a) Wiring diagram



(b) Symbols

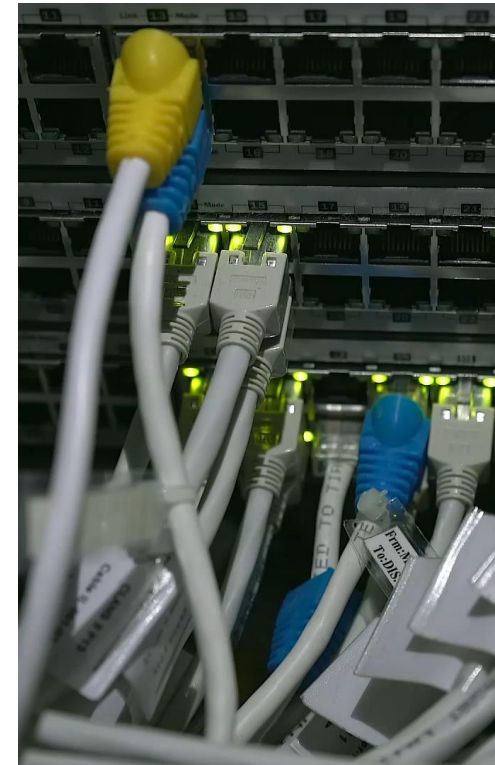
CLASSIFICAÇÃO DOS INSTRUMENTOS SEGUNDO O TIPO DE SINAIS PRODUZIDOS OU MANIPULADOS:

- *Analógicos*: assumem ou indicam valores em um conjunto finito não-enumerável de possibilidades (faixa contínua de valores em um intervalo finito).
- Termômetro de mercúrio;
- Amperímetro com bobina móvel;
- Manômetro de tubo em U;
- Régua milimetrada;
- Válvula pneumática com acionamento contínuo;
- Aquecedor elétrico com tensão de acionamento contínua.



PADRÕES DE TRANSMISSÃO DE SINAIS EM INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL

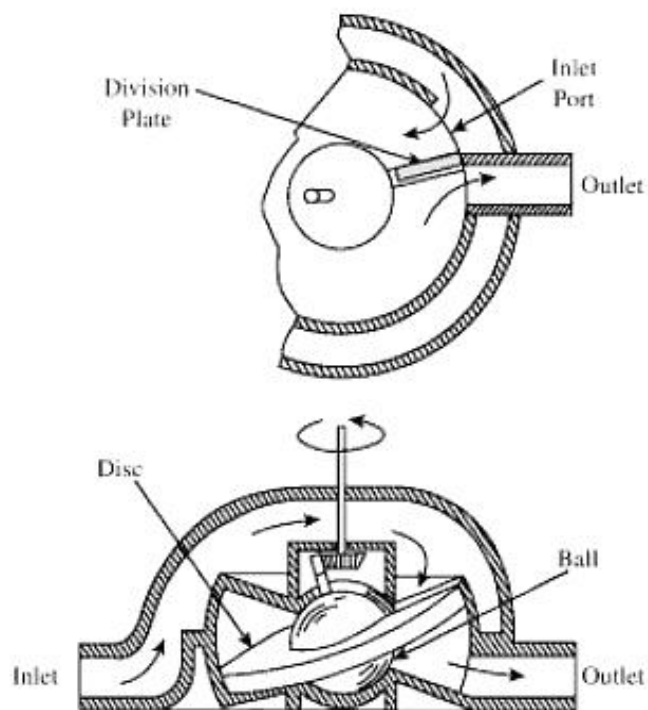
- É comum encontrar-se os seguintes padrões de envio de medições/comandos em Instrumentação Industrial:
- Sinais de pressão de 3 psi a 15 psi (libras por polegada quadrada);
- Sinais de corrente de 4 mA a 20 mA;
- Sinais de tensão de 1 V a 5 V.
- O valor mínimo enviado diferente de zero possibilita testar se o instrumento está funcionando, mesmo que o valor da medição ou do comando seja nulo.



CLASSIFICAÇÃO DOS INSTRUMENTOS

- Segundo a Utilização de Fontes de Energia:
- Passivos: utilizam a energia do próprio meio, ou energia humana/animal para funcionarem.
- Instrumentos de medição deste tipo devem ser adequadamente dimensionados para minimizar a interferência sobre a variável a ser medida, devido ao fato de absorverem energia do próprio meio para funcionarem.
- Termômetro de mercúrio;
- Manômetro de tubo em U;
- Régua milimetrada;
- Válvula manual (e.g. torneira);
- Hidrômetro doméstico.

HIDRÔMETRO RESIDENCIAL



Os números pretos indicam o volume acumulado em m³ (metro cúbico)

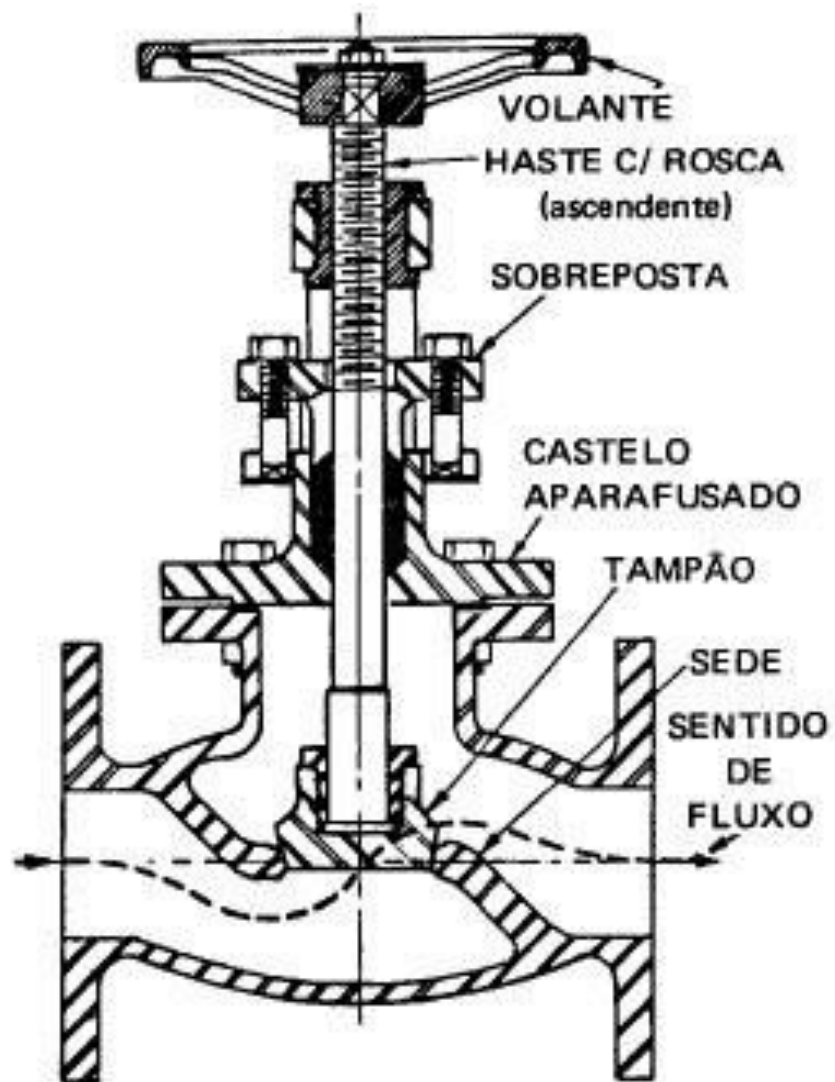
Os números e ponteiros vermelhos indicam o volume em litros.



O indicador de movimento tem duas funções:

1. Teste para confirmação de pequenos vazamentos;
2. Sensor no processo de calibração em laboratório com leitor ótico.

O DESENHO DO INDICADOR DE MOVIMENTO VARIA DE ACORDO COM O FABRICANTE.



VÁLVULA MANUAL

CLASSIFICAÇÃO DOS INSTRUMENTOS

Ativos: utilizam outra fonte de energia para o seu funcionamento.

Instrumentos Eletrônicos usados para medir grandezas mecânicas, hidráulicas e térmicas;

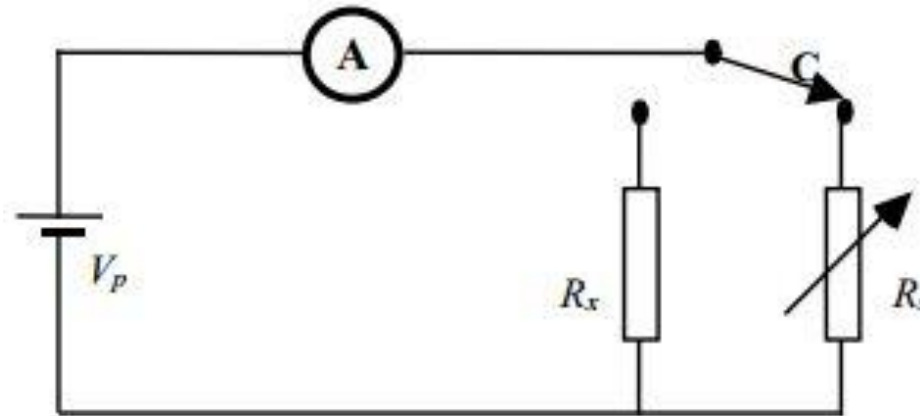
Válvulas pneumáticas;

Bombas centrífugas.

Métodos de comparação

-Método de substituição

O valor da grandeza é obtido substituindo o objecto em medição por outro, de grandeza da mesma natureza, mas com valor conhecido (a determinação da massa por meio de uma balança e de massas conhecidas, pelo método de substituição).

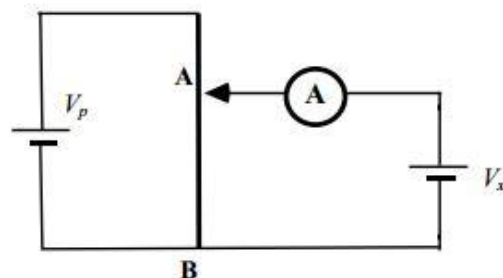


Métodos de comparação

-Método de zero

O valor da grandeza a medir é determinado por equilíbrio ajustando uma ou várias grandezas, de valores conhecidos, associados à grandeza por uma relação conhecida no ponto de equilíbrio.

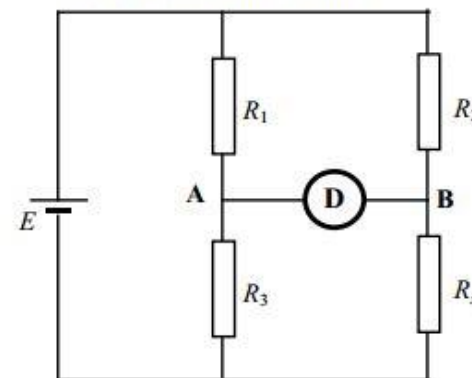
Potenciômetro



Na condição de corrente nula no amperímetro é:

$$V_x = V_{AB} = V_p \cdot \frac{R_{AB}}{R}$$

Ponte de Wheatstone



Na condição de corrente nula no detector (a condição de equilíbrio da ponte) é:

$$E \frac{R_3}{R_1 + R_3} = E \frac{R_x}{R_2 + R_x} \quad \text{e} \quad R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

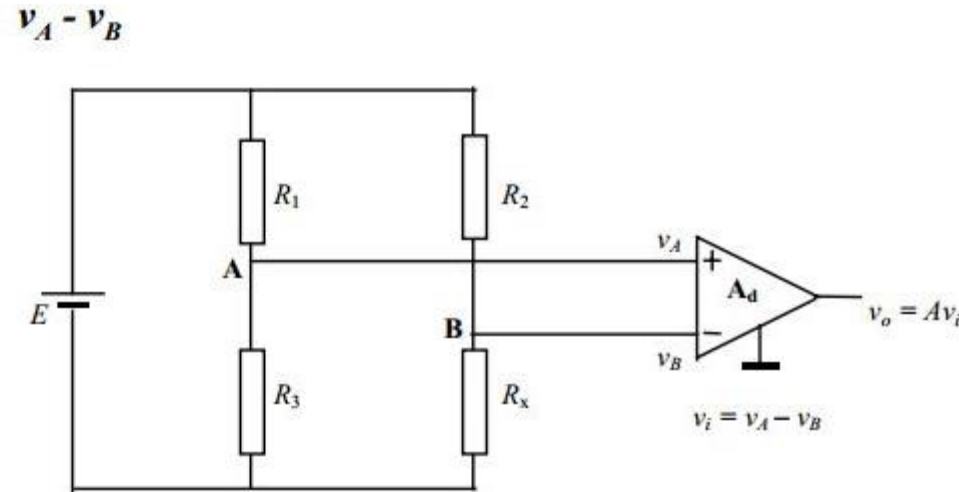
Métodos de comparação

-Método diferencial

Neste método a mensuranda é comparada com uma grandeza da mesma natureza, com valor conhecido que tenha valor idêntico ao que se pretende medir (um padrão). O valor da dimensão da peça corresponde à soma algébrica do desvio medido com o valor verdadeiro do padrão utilizado.

Métodos de comparação

-Método diferencial



Neste circuito, a tensão de saída é:

$$v_o = A (v_A - v_B) = AE \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_x}{R_2 + R_x} \right)$$

$$v_o = AE \frac{R_2 R_3 - R_1 R_x}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_x)}$$

O circuito pode ser usado para a medição de desequilíbrios resistivos ΔR . Fazendo $R_1 = R_2 = R_3 = R$ e $R_x = R + \Delta R$, é:

$$v_o = AE \left(\frac{R}{2R} - \frac{R + \Delta R}{2R + \Delta R} \right) = -AE \frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R}$$

Para $\Delta R \ll R$, resulta:

$$v_o \approx -AE \frac{\Delta R}{4R}$$

Métodos de comparação

-Método diferencial

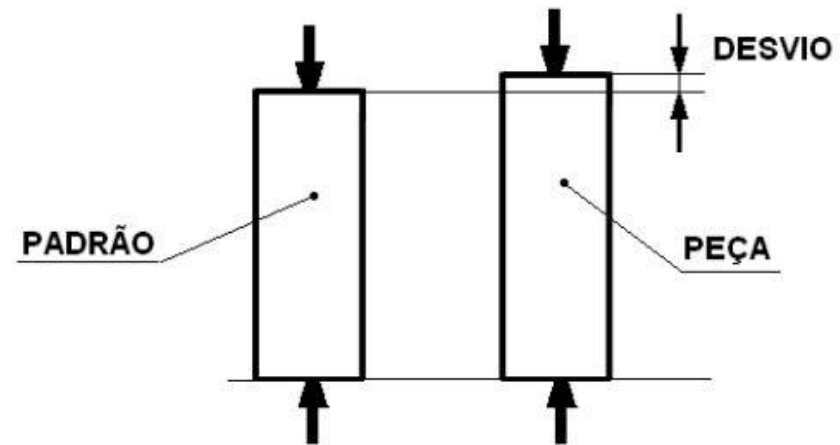
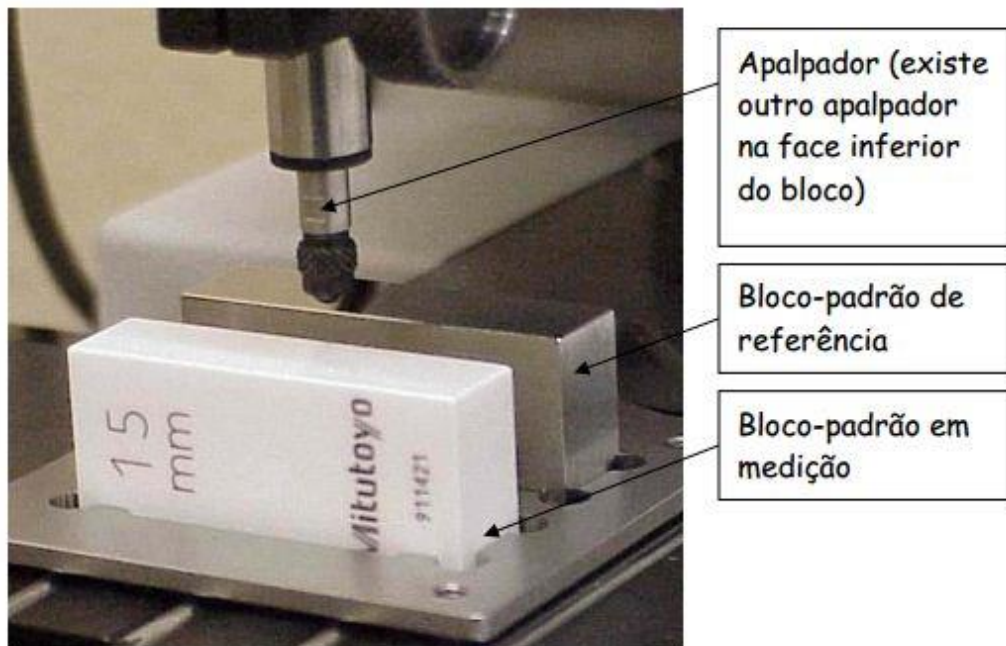


Figura 1

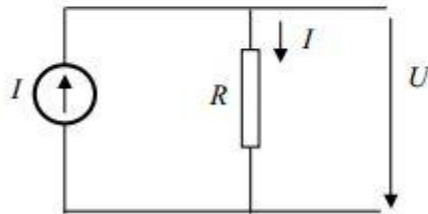
- Operação 1: medição do bloco-padrão (referência): é feito o zero;
- Operação 2: medição feita no bloco em medição (sinal positivo indica que o bloco em medição é maior que o bloco de referência);
- Cálculo: a dimensão do bloco em medição é igual à soma algébrica do valor convencionalmente verdadeiro do bloco-padrão (referência) com o valor do desvio medido.

Métodos de medição de resistência

Método diferencial é usado para a medição de desequilíbrios resistivos.

Método de zero, concretizado por uma ponte de Wheatstone para a medição de resistência.

Métodos indirectos, recorrendo à lei de Ohm.

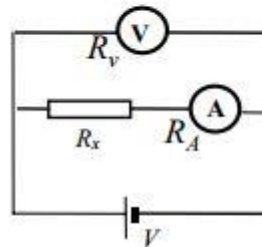


Injectando corrente constante, de valor conhecido, a medição da resistência R pode ser feita através da medição da tensão U , já que é

$$R = \frac{U}{I}$$

Método do voltímetro-amperímetro

Montagem de longa derivação



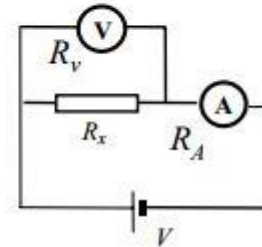
A resistência medida, R_m , é a razão das duas leituras, de tensão, V_m , e de corrente, I_m , isto é,

$$R_m = \frac{V_m}{I_m}$$

$$R_m = R_x + R_A$$

$$\delta_l = |R_m - R_x| = R_A$$

Montagem de curta derivação



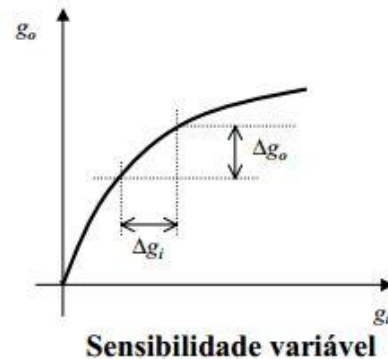
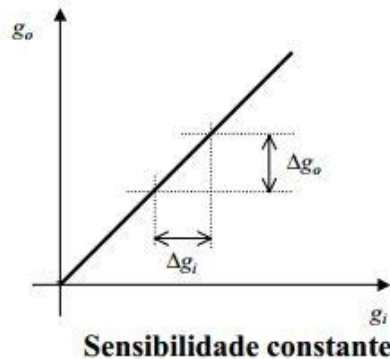
$$R_m = \frac{R_v R_x}{R_v + R_x}$$

$$\delta_c = |R_m - R_x| = \frac{R_x^2}{R_x + R_v}$$

MEDIÇÃO ESTÁTICA

MEDIÇÃO DE GRANDEZA CUJO VALOR PODE SER CONSIDERADO CONSTANTE DURANTE A MEDIÇÃO.

Sensibilidade, S , de um instrumento de medição é o quociente da variação da resposta do instrumento de medição, Δg_o , pela variação correspondente do estímulo, Δg_i $S = \frac{\Delta g_o}{\Delta g_i}$



Resolução de um dispositivo indicador é a menor diferença entre indicações de um dispositivo indicador que se podem distinguir significativamente

Deriva é a variação lenta de uma característica metrológica de um instrumento de medição

Folga é o máximo intervalo de valores no interior do qual o estímulo pode ser modificado em ambos os sentidos sem provocar variação da resposta do instrumento de medição

Histerese é uma propriedade do instrumento de medição cuja resposta a um sinal de entrada depende da sequência dos sinais de entrada precedentes

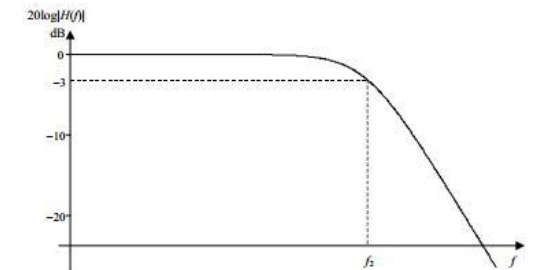
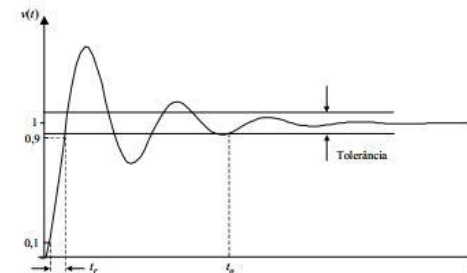
MEDIÇÃO DINÂMICA

DETERMINAÇÃO DO VALOR INSTANTÂNEO DE UMA GRANDEZA E QUANDO CONVENIENTE DE SUA VARIAÇÃO COM O TEMPO.

Tempo de resposta, t_o , é o tempo que decorre após uma variação repentina do sinal de entrada até que o sinal de saída atinja, dentro de limites especificados, o seu valor final em regime estável e nele se mantenha

Tempo de subida t_r , é o intervalo de tempo que a saída demora a passar de 10 % a 90 % do valor final

As **Frequências inferior e superior de corte, f_1 e f_2** são as frequências para as quais se observa uma redução de ganho de -3 dB relativamente ao ganho observado às frequências intermédias



PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO

É a base científica de um método.

- Efeito de variação da resistência elétrica para medir temperatura
- Lei de Hooke para medir a massa

PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO

É o conjunto detalhado, ou seja a sequência lógica de operações, descrita genericamente, para realizar medições.

- Método de substituição.
- Método de zero.

PROCESSO DE MEDIÇÃO

Conjunto de operações, descrita especificamente, para realizar medições seguindo um determinado método.

SINAL DE MEDIÇÃO

- Estímulo / Excitação – Sinal de entrada ou “input”
- Resposta – Sinal de saída ou “output”

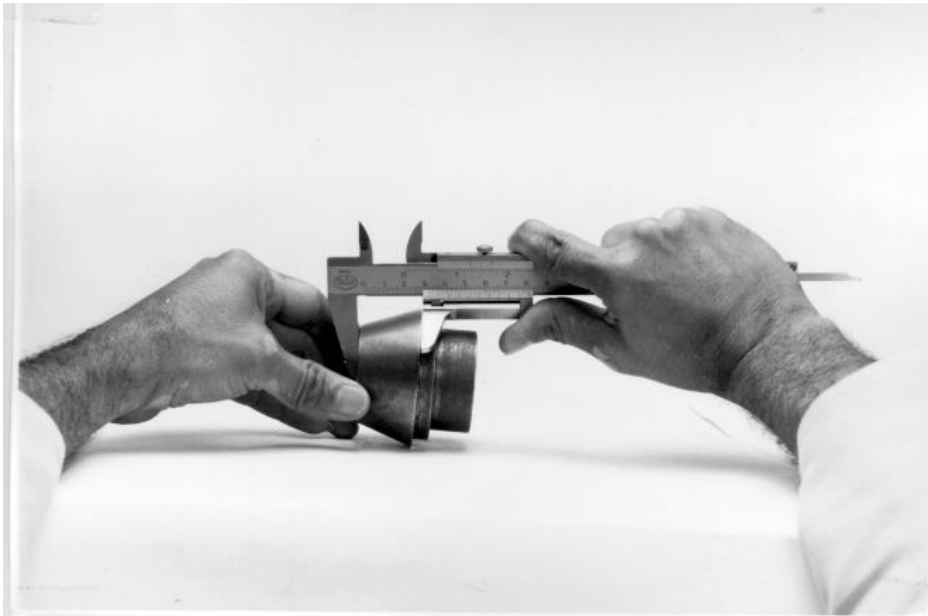
EXEMPLO

Para calibrar uma balança precisamos de um conjunto de massas padrão, de modo a cobrir toda a faixa da balança. Aplicando-se diretamente a massa (com valor conhecido de 5 kg, por exemplo) sobre a balança, podemos verificar se esta está calibrada.



MÉTODO DE MEDIÇÃO DIRETO

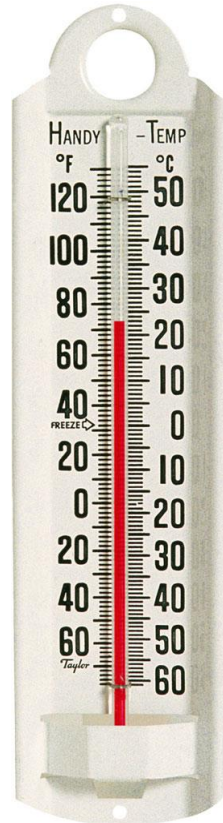
O valor de uma grandeza a ser medido é obtido diretamente.
Ex: medição de comprimento usando uma régua graduada.



MÉTODO DE MEDIÇÃO INDIRETO

O valor de uma grandeza a medir é obtido a partir de medições de outras grandezas.

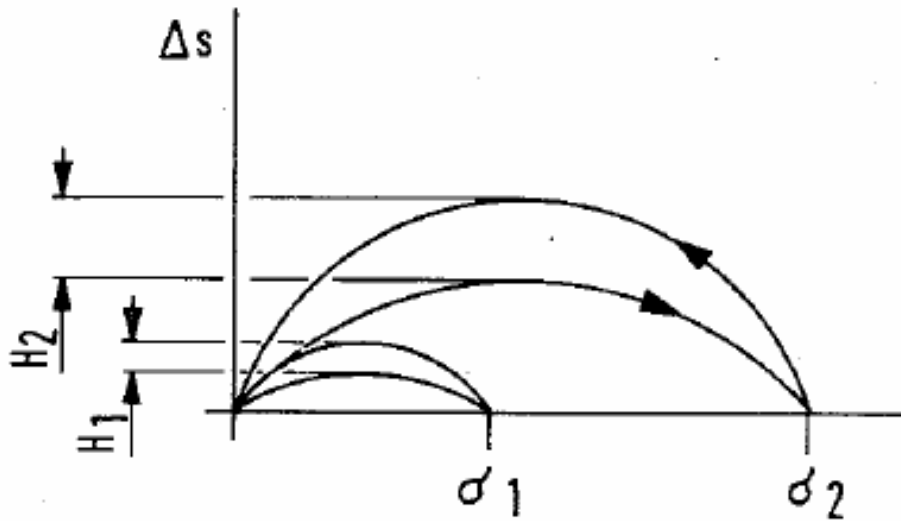
Ex: medição de pressão pela altura de coluna de líquido.



- O valor de uma grandeza obtido por medição. O termo “resultado de uma medição” deve indicar claramente se ele se refere ao:
 - Resultado Bruto
 - Resultado antes da correção.
 - Resultado corrigido
 - Resultado após a correção de erros que apresentam o resultado bruto.
 - Resultado representado pelo valor médio – Média
 - A média de várias determinações.

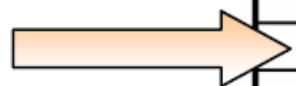
RESULTADO DE UMA MEDIÇÃO

HISTERESE



- A histerese ocorre quando há diferença entre a indicação para um dado calor do mensurando quanto este foi atingido por valores crescentes e a indicação quando o mensurado é atingido por valores decrescentes.

Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
Valor Indicado pelo Instrumento	Valor Indicado pelo Padrão	Valor Indicado pelo Instrumento	Valor Indicado pelo Padrão	Valor Indicado pelo Instrumento	Valor Indicado pelo Padrão
1,0	1,1	1,0	1,2	1,0	1,0
2,0	1,9	2,0	2,0	2,0	1,8
3,0	3,2	3,0	3,2	3,0	3,2
4,0	4,1	4,0	4,2	4,0	4,0
5,0	5,3	5,0	5,5	5,0	5,4
6,0	6,4	6,0	6,4	6,0	6,4
7,0	7,3	7,0	7,1	7,0	7,2
8,0	8,1	8,0	8,0	8,0	7,9
9,0	8,9	9,0	8,8	9,0	9,0
10,0	9,7	10,0	9,7	10,0	9,7
10,0	9,6	10,0	9,5	10,0	9,4
9,0	8,6	9,0	8,7	9,0	8,8
8,0	7,7	8,0	7,8	8,0	7,6
7,0	7,0	7,0	6,8	7,0	6,9
6,0	6,2	6,0	6,1	6,0	6,3
5,0	5,3	5,0	5,3	5,0	5,3
4,0	3,9	4,0	3,7	4,0	3,8
3,0	3,0	3,0	3,2	3,0	3,1
2,0	1,9	2,0	1,9	2,0	1,9
1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,1



HISTERESE



MONTAGEM DE CIRCUITO PNEUMÁTICO/HIDRÁULICO



Método Cascata

- Consiste em cortar a alimentação de ar comprimido dos elementos de sinal que estiverem provocando uma contrapressão (bloqueio) na pilotagem de válvulas de comando.
- Divide-se a seqüência em partes denominadas *grupos de comando*. Não existe número máximo de grupos mais sim, um número mínimo (dois grupos).

MONTAGEM DE CIRCUITO
PNEUMÁTICO/HIDRÁULICO

Método Cascata

- Representação das conexões de válvulas de forma escalonada;
- Alimentação de ar em apenas uma linha pneumática;
- Válvulas direcionais 4/2 ou 5/2 com dupla pilotagem, válvulas inversoras;
- Apenas a válvula que fornece sinal à ação a ser executada é alimentada;
- Eliminação do uso de roletes escamoteáveis;
- Maior garantia da execução da seqüência desejada;
- Limitação: queda de pressão (+ ou - 10 linhas).

MONTAGEM DE CIRCUITO
PNEUMÁTICO/HIDRÁULICO

Método Cascata

1. Dividir a seqüência em grupos de movimentos, sem que ocorra a repetição de movimento de qualquer atuador em um mesmo grupo.

Seqüência: A+ B+ / B- A-

A+ B+ \Rightarrow Grupo de comando 1

B- A- \Rightarrow Grupo de comando 2

MONTAGEM DE CIRCUITO
PNEUMÁTICO/HIDRÁULICO

Método Cascata

Exemplos:

$A+ B+ | B- A- | B+ | B-$

$A+ B+ C+ | C- B- A-$

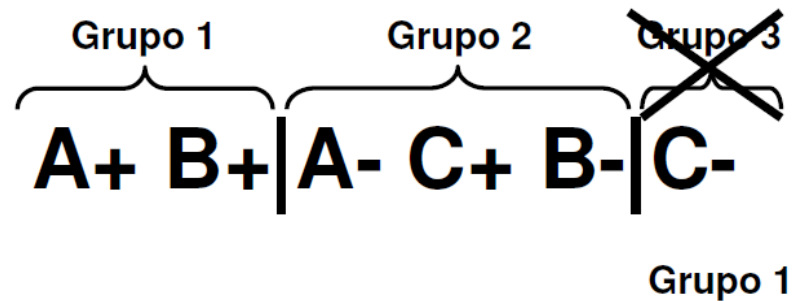
$A+ B+ | B- C+ | C- A-$

$A+ B+ | A- | A+ B- | A- | A+ C+ | C- A-$

MONTAGEM DE CIRCUITO
PNEUMÁTICO/HIDRÁULICO

Método Cascata

Quando o último grupo possui movimentos que, se unidos ao primeiro grupo, não desobedece à regra (não repetição de movimentos em cada grupo), pode-se uni-los, reduzindo o número de linhas e de válvulas.



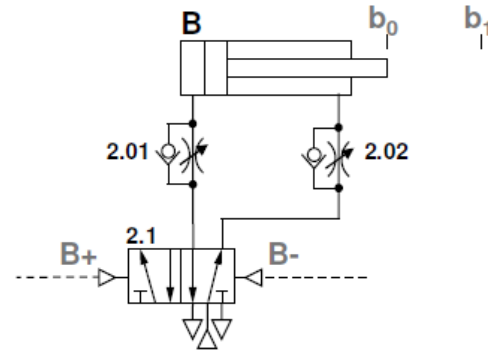
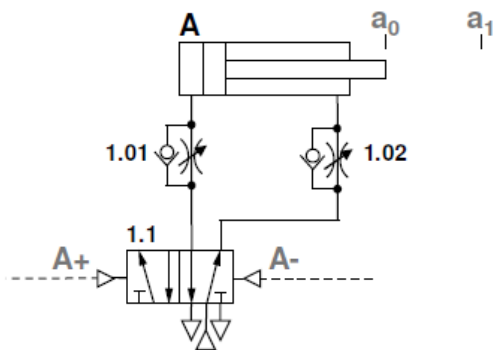
MONTAGEM DE CIRCUITO
PNEUMÁTICO/HIDRÁULICO

Cilindro pneumático



Método Cascata (A+ B+ B- A-)

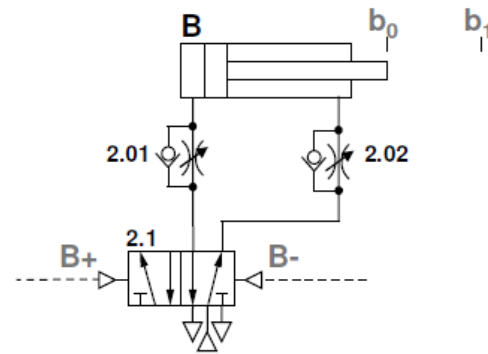
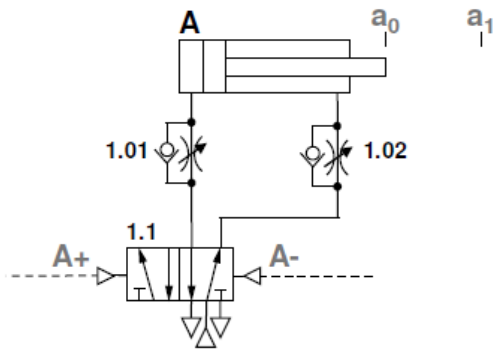
2. Desenhar os cilindros (ou motores) e suas respectivas válvulas de comando principais.



MONTAGEM DE CIRCUITO
PNEUMÁTICO/HIDRÁULICO

Método Cascata (A+ B+ B- A-)

3. Desenhar as N linhas de pressão (uma para cada grupo da seqüência).



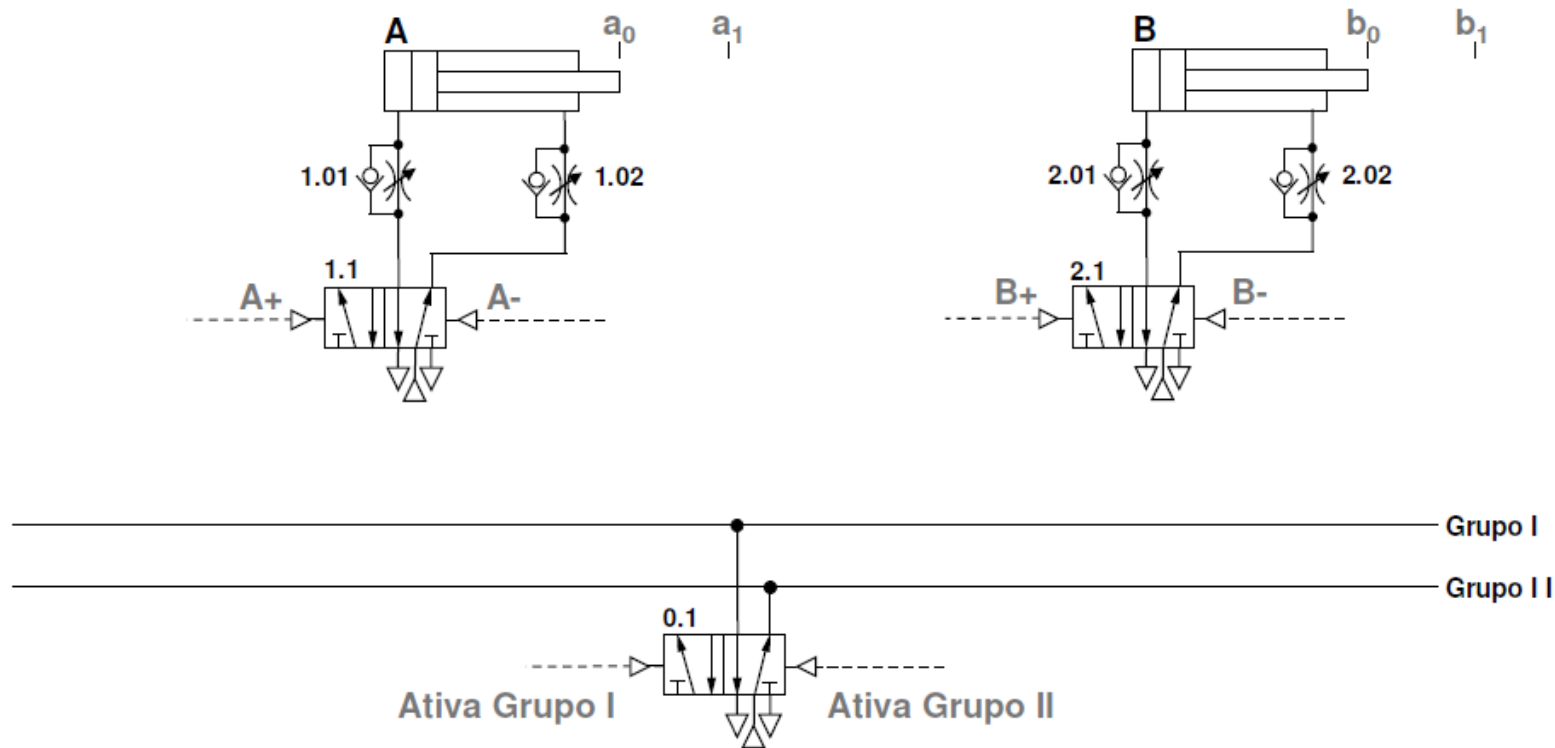
Grupo I

Grupo II

MONTAGEM DE CIRCUITO
PNEUMÁTICO/HIDRÁULICO

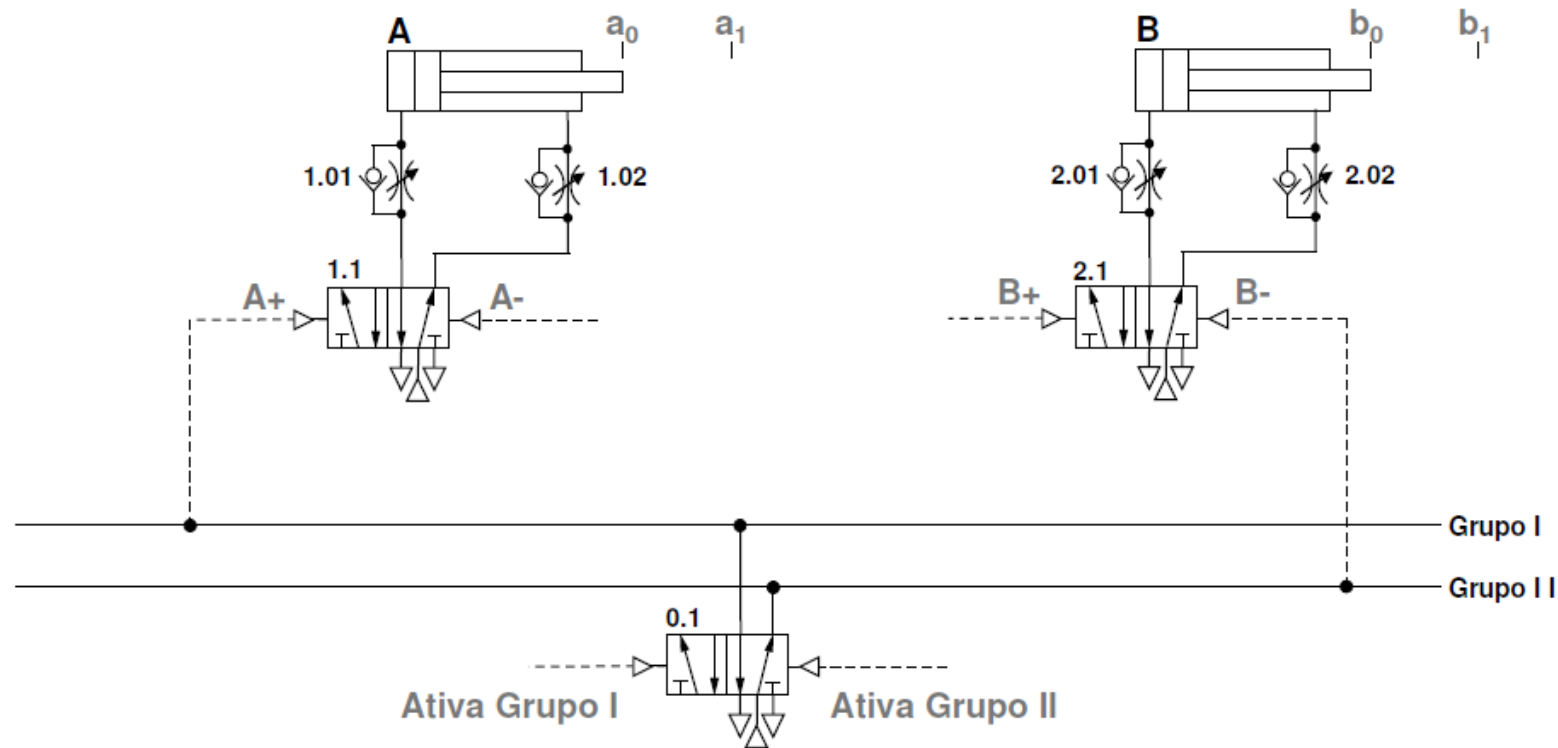
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

4. Desenhar N-1 válvulas inversoras 4/2 ou 5/2 vias, conectadas às linhas de pressão.



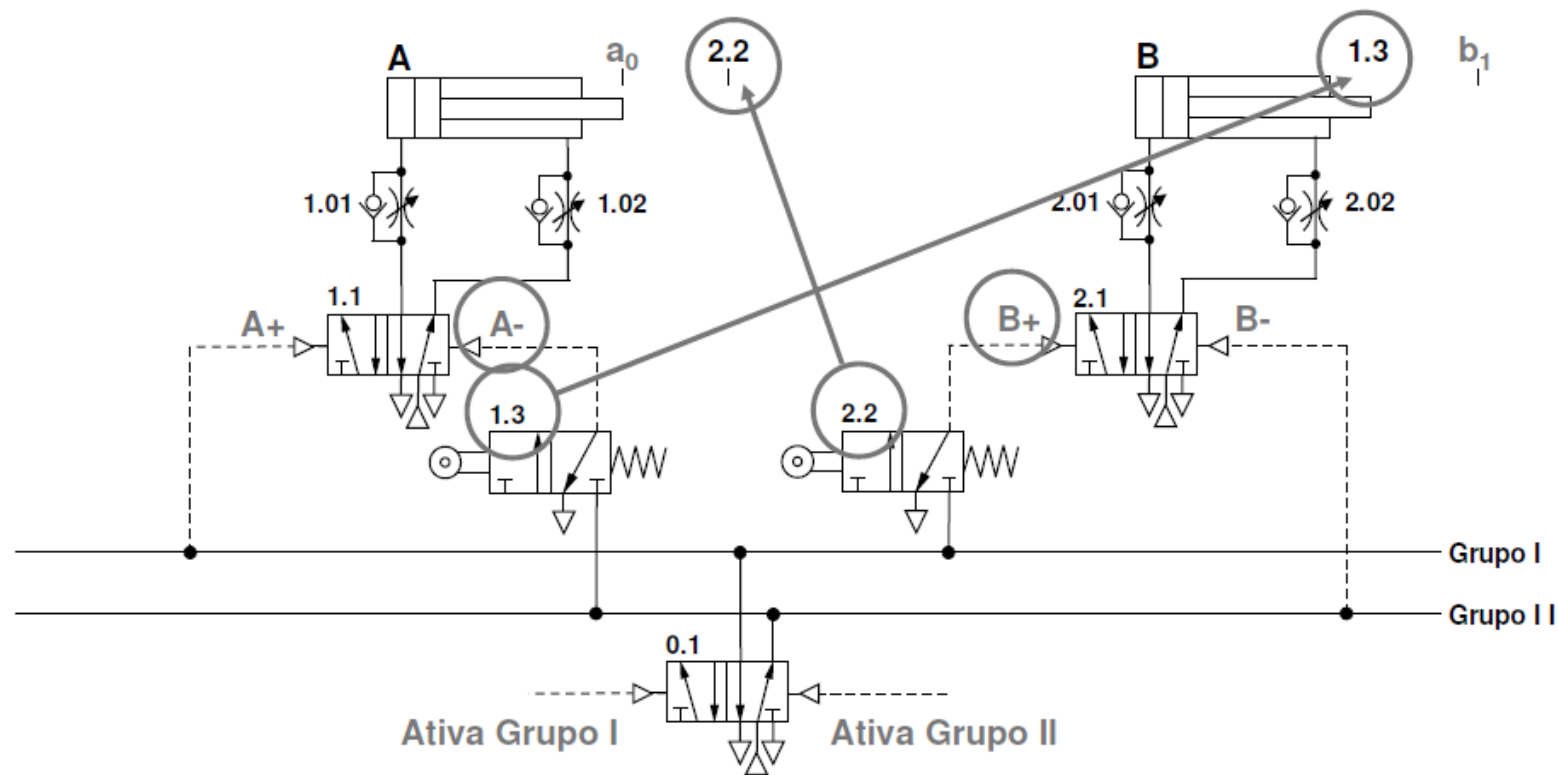
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

5. O primeiro elemento de cada grupo é ligado diretamente a linha de pressão correspondente.



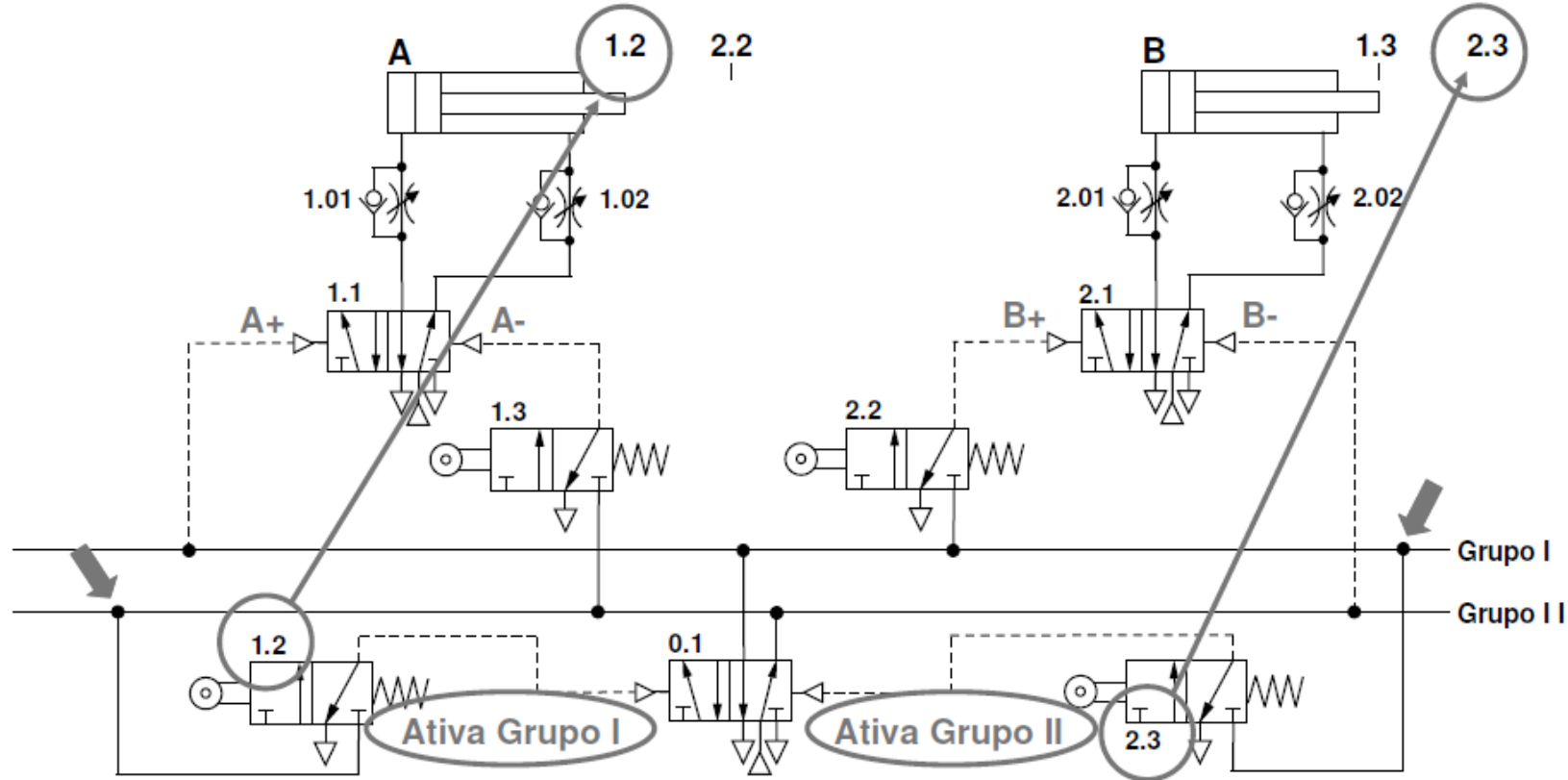
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

6. Desenhar as válvulas fim de curso que disparam os elementos em cada grupo.



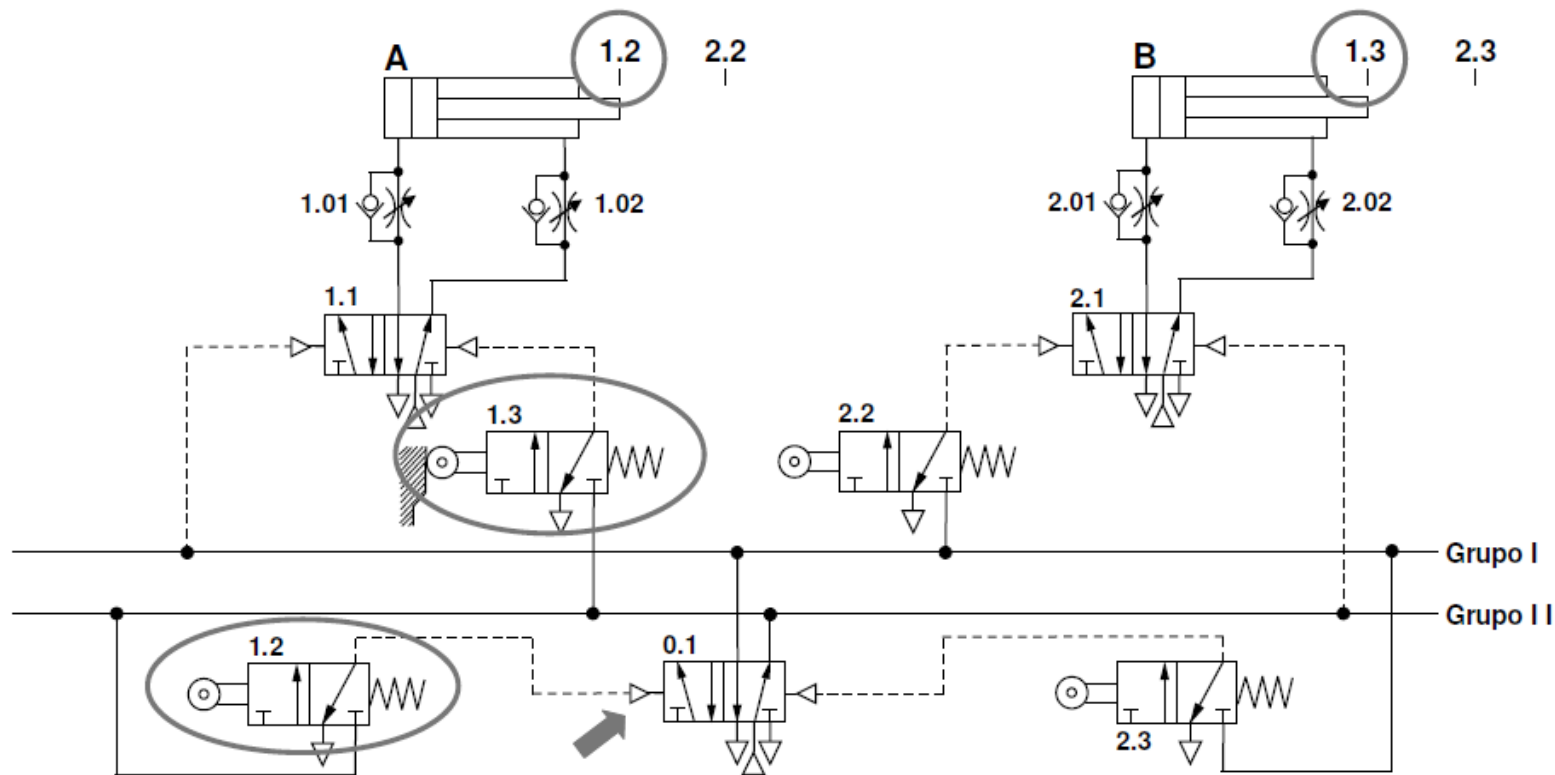
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

7. Desenhar as válvulas fim de curso que alteram o grupo ativo.



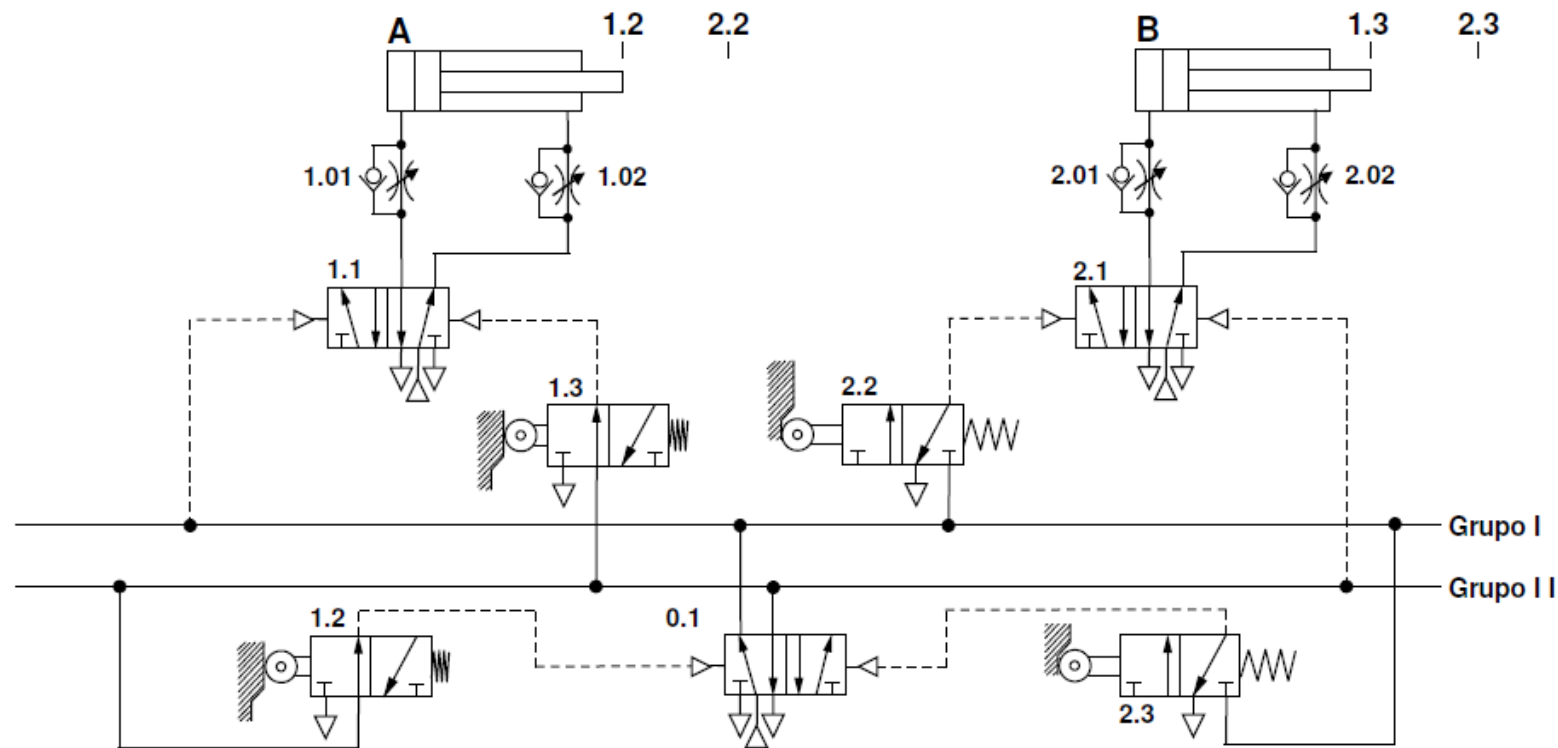
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

8. Desenhar as válvulas fim de curso na posição de partida (válvulas “pisadas”).



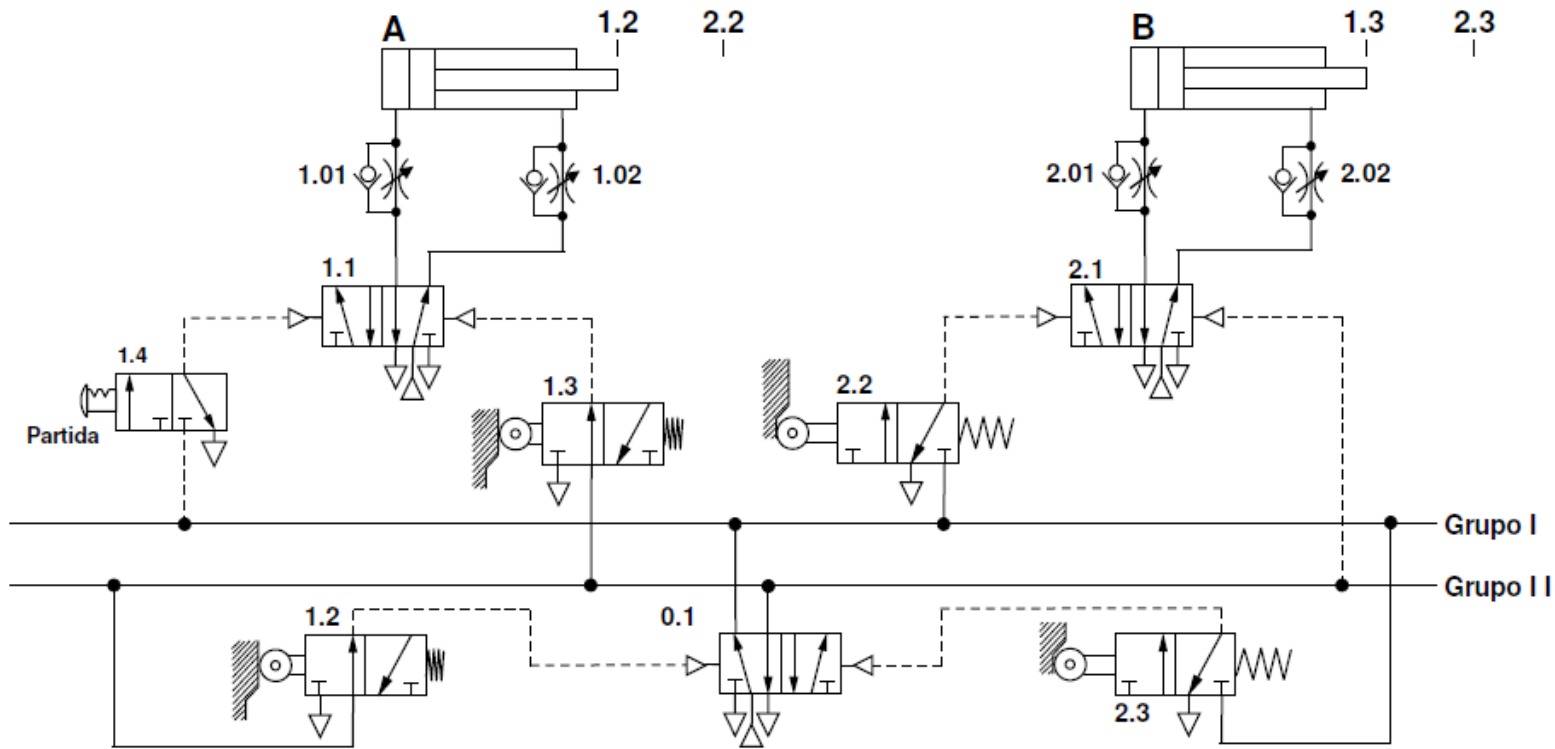
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

8. Desenhar as válvulas fim de curso na posição de partida (válvulas “pisadas”).



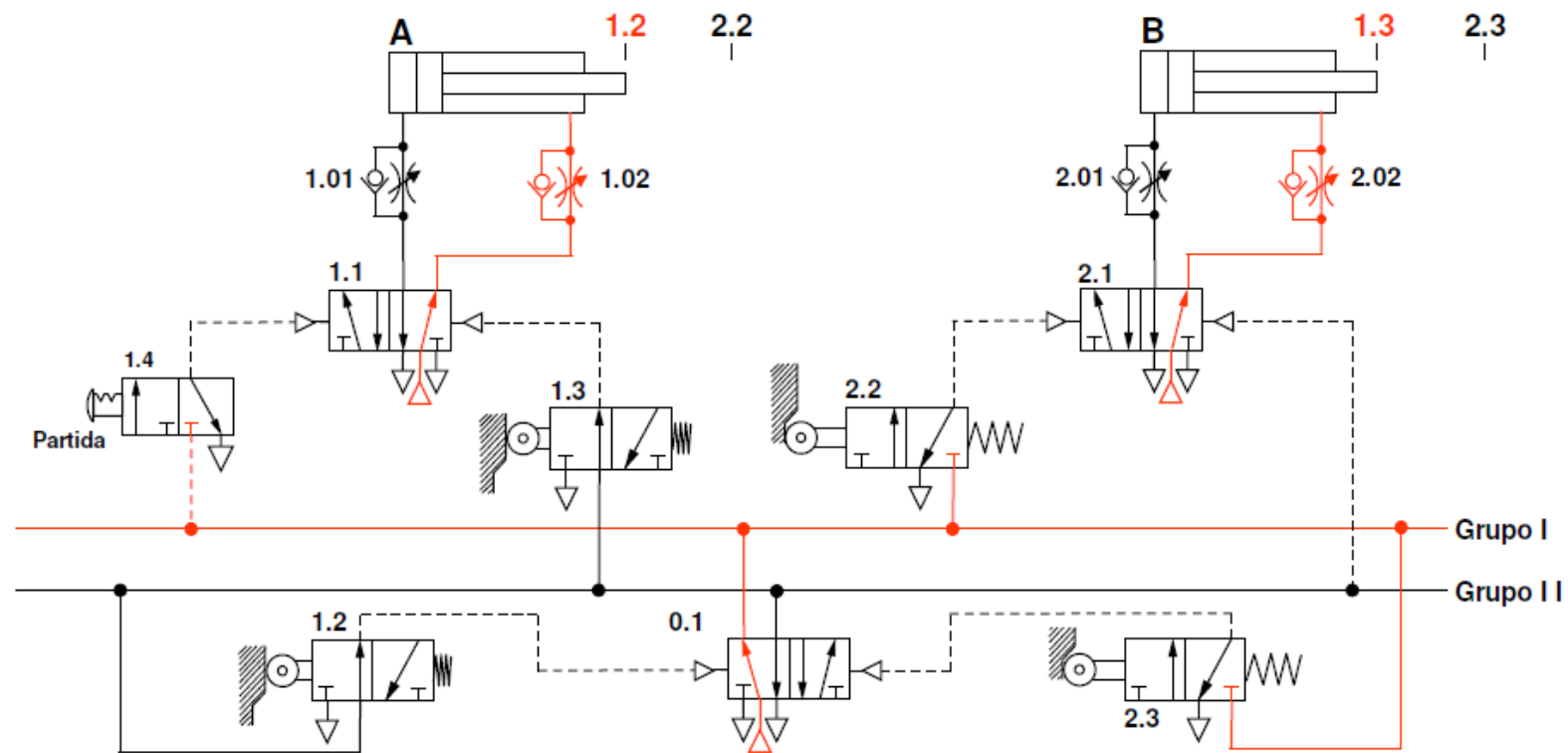
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

9. Desenhar os elementos adicionais (válvulas de partida, temporizadores, contadores etc.).



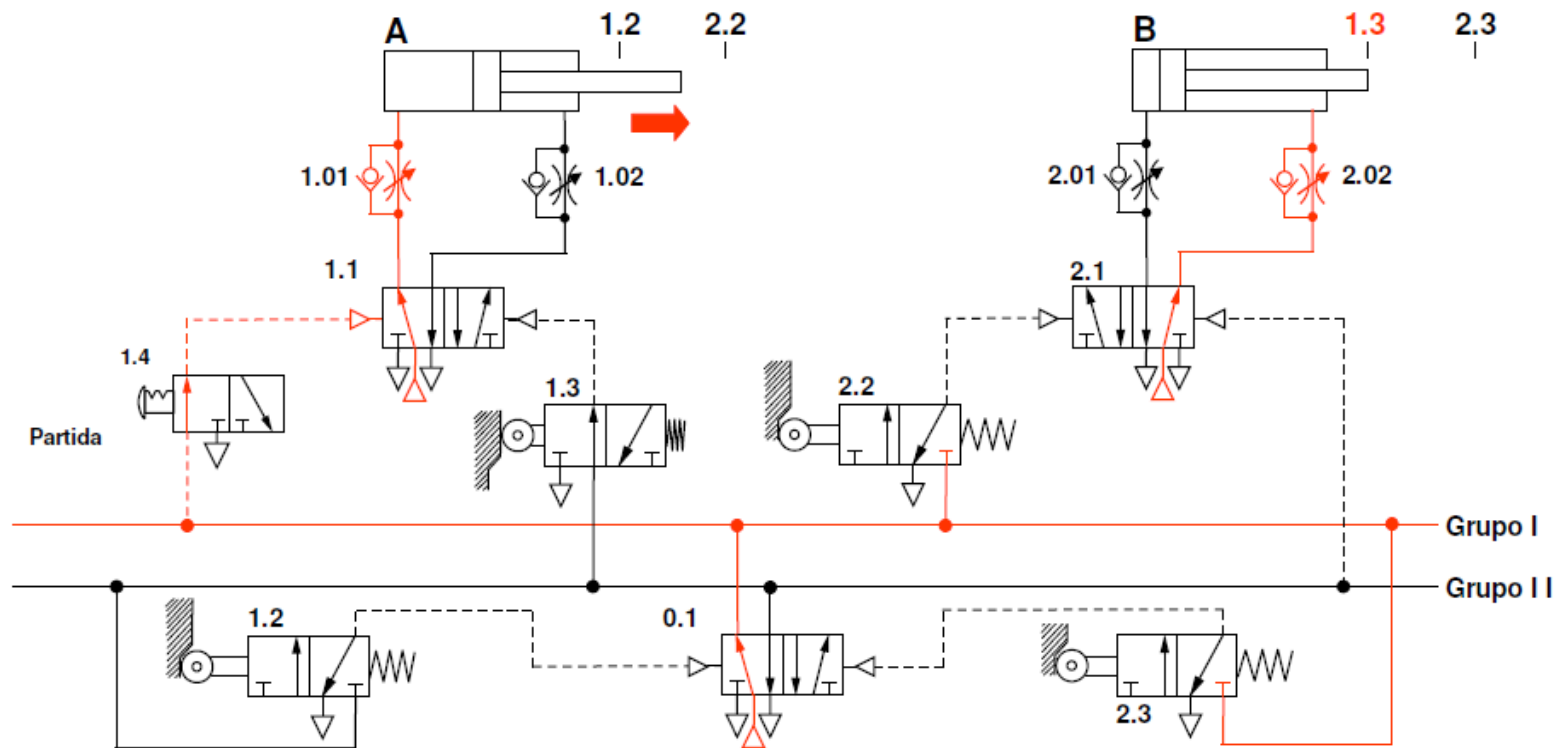
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

Circuito alimentado



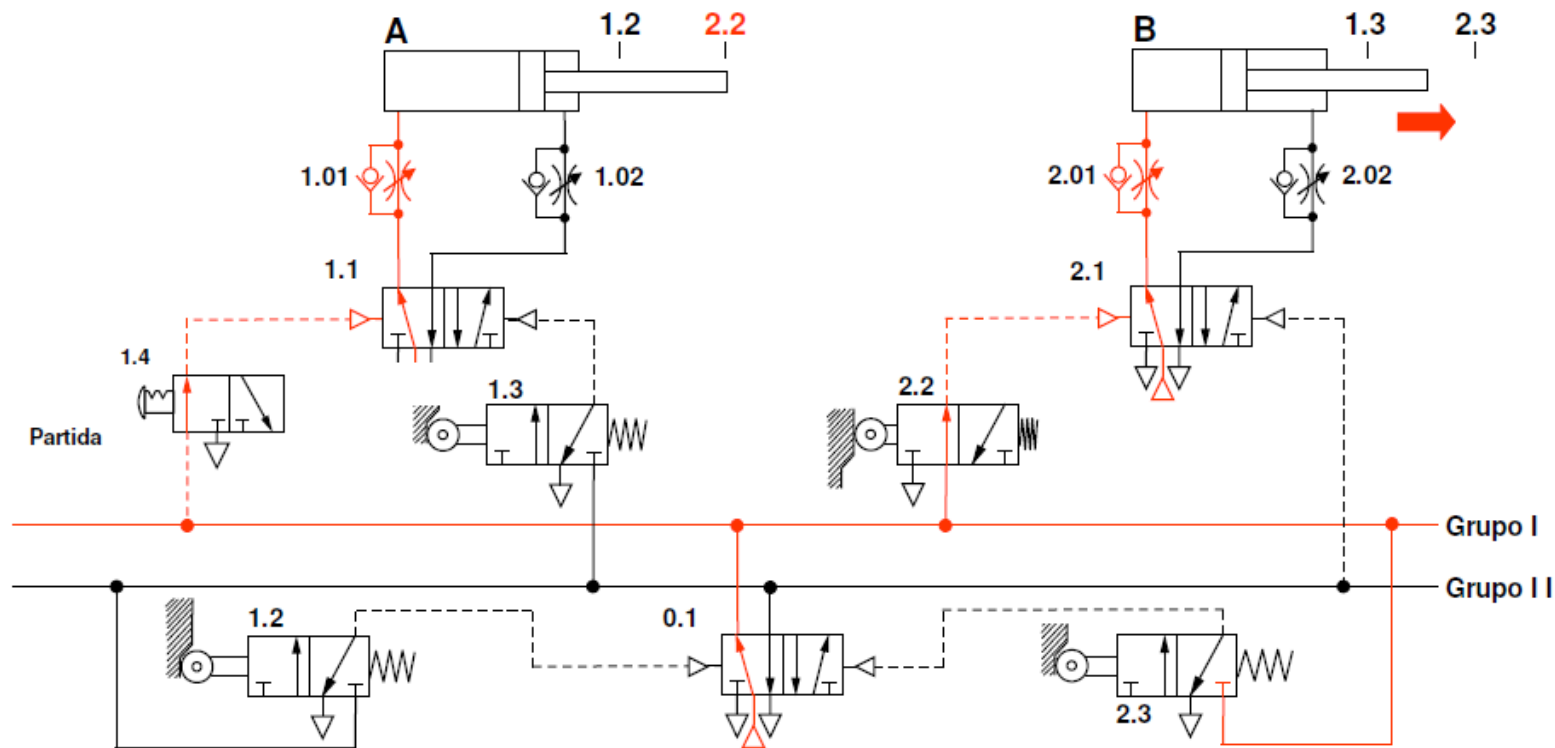
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

Partida ⇒ Avança A (válvula 1.2 é liberada)



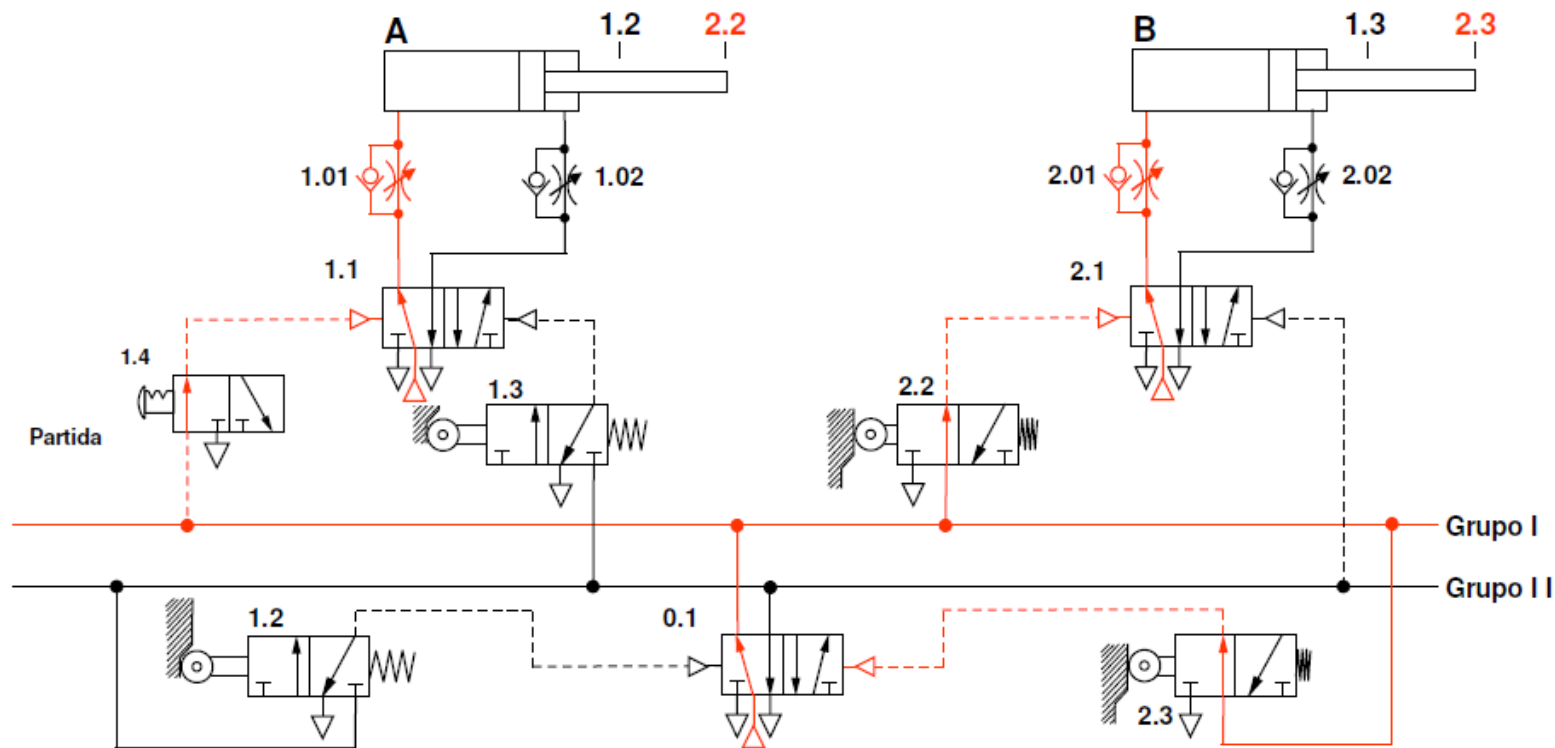
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

Fim do avanço de A \Rightarrow válvula 2.2 é acionada
(Avança B e libera 1.3)



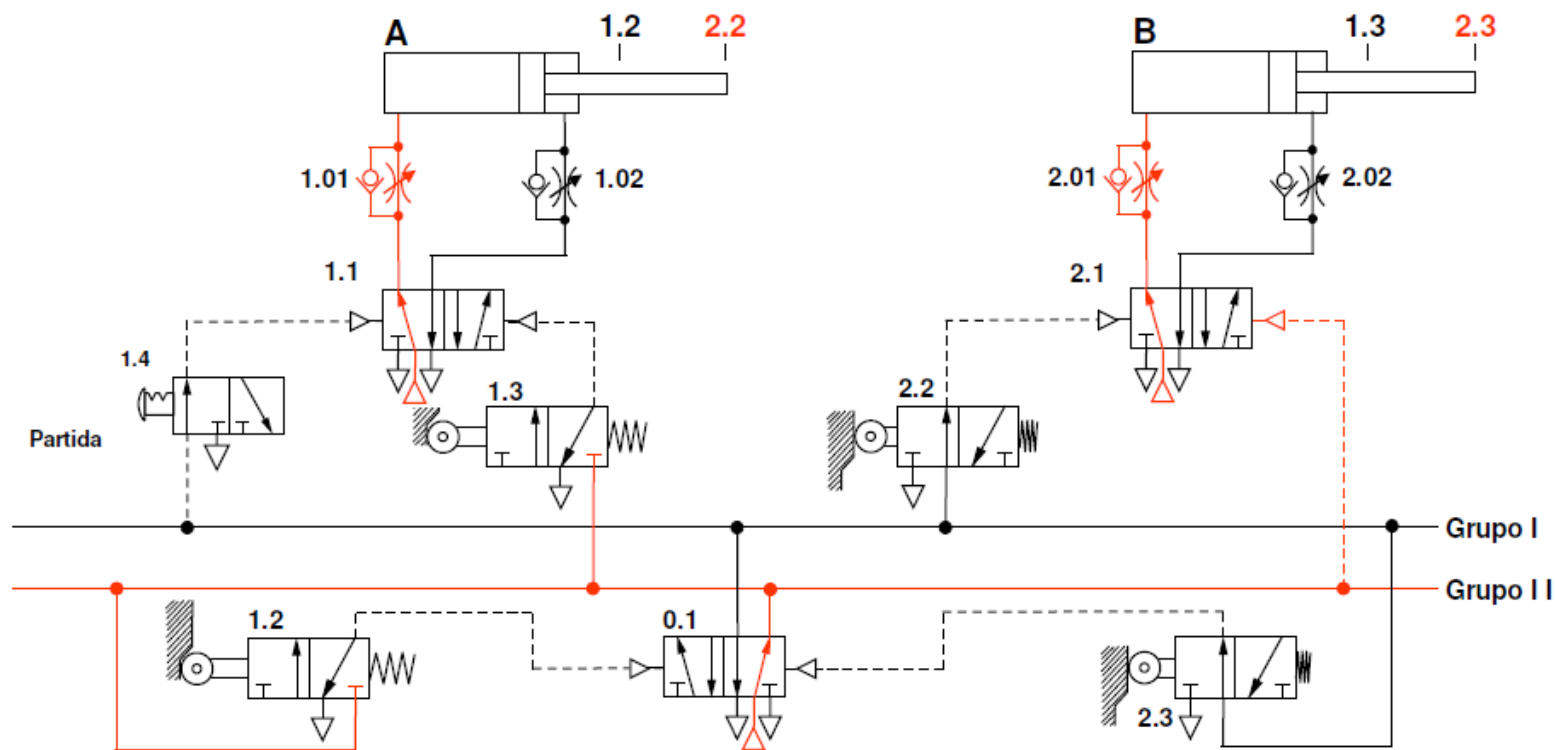
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

Fim do avanço de B \Rightarrow válvula 2.3 é acionada



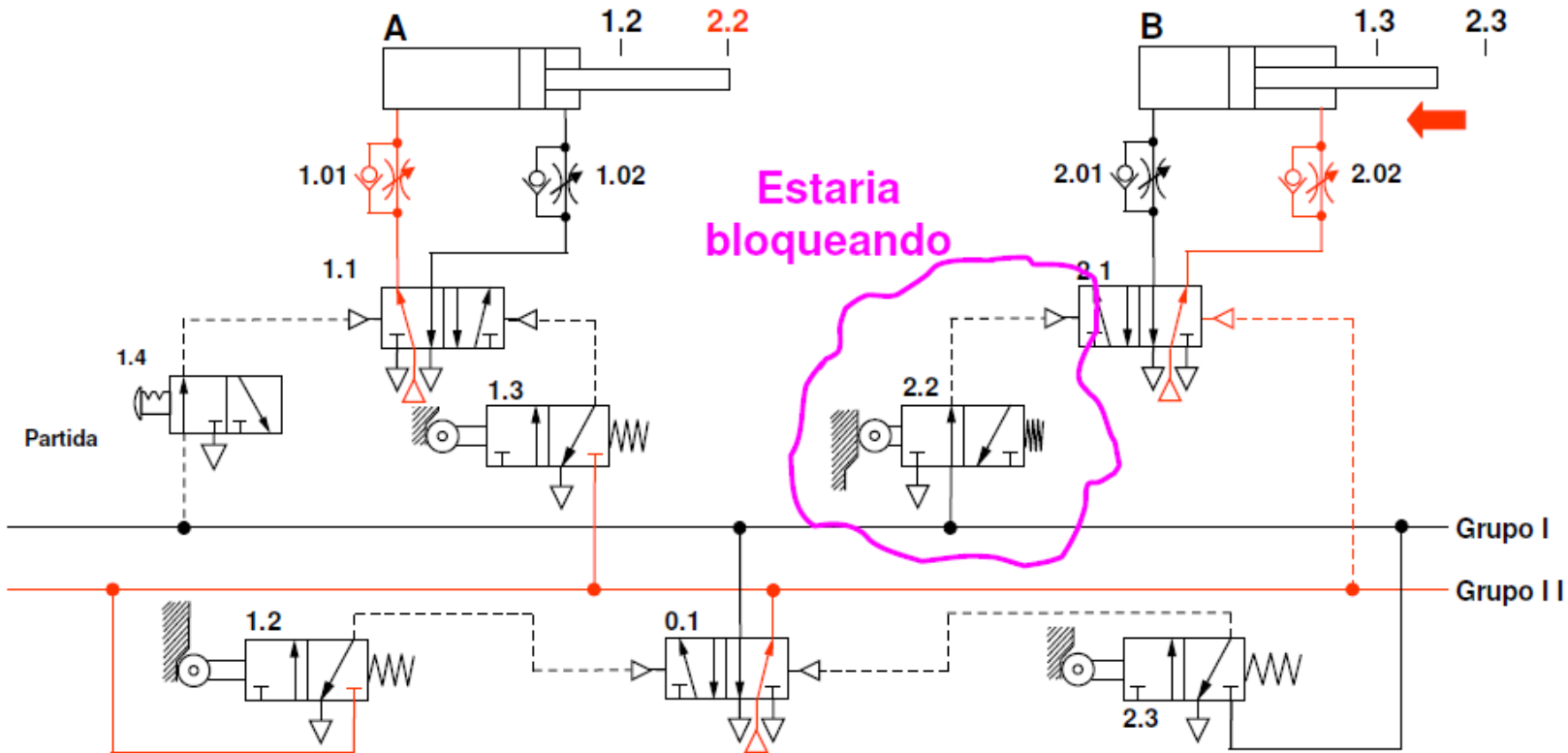
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

Fim do avanço de B \Rightarrow válvula 2.3 é acionada
(desativa grupo I e ativa grupo II)



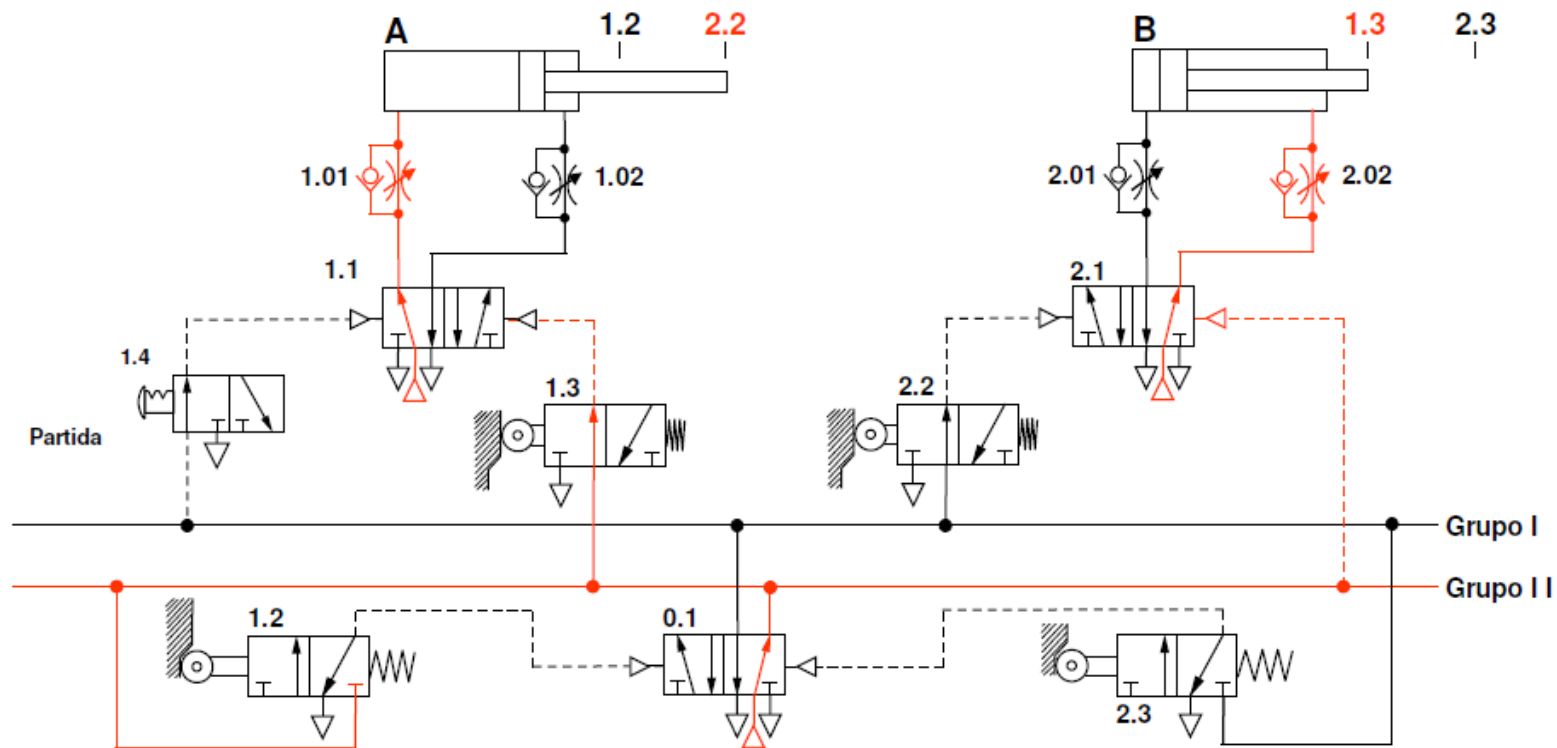
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

**Grupo II ativado \Rightarrow alterna 2.1 \Rightarrow inicia recuo de B
(libera 2.3)**



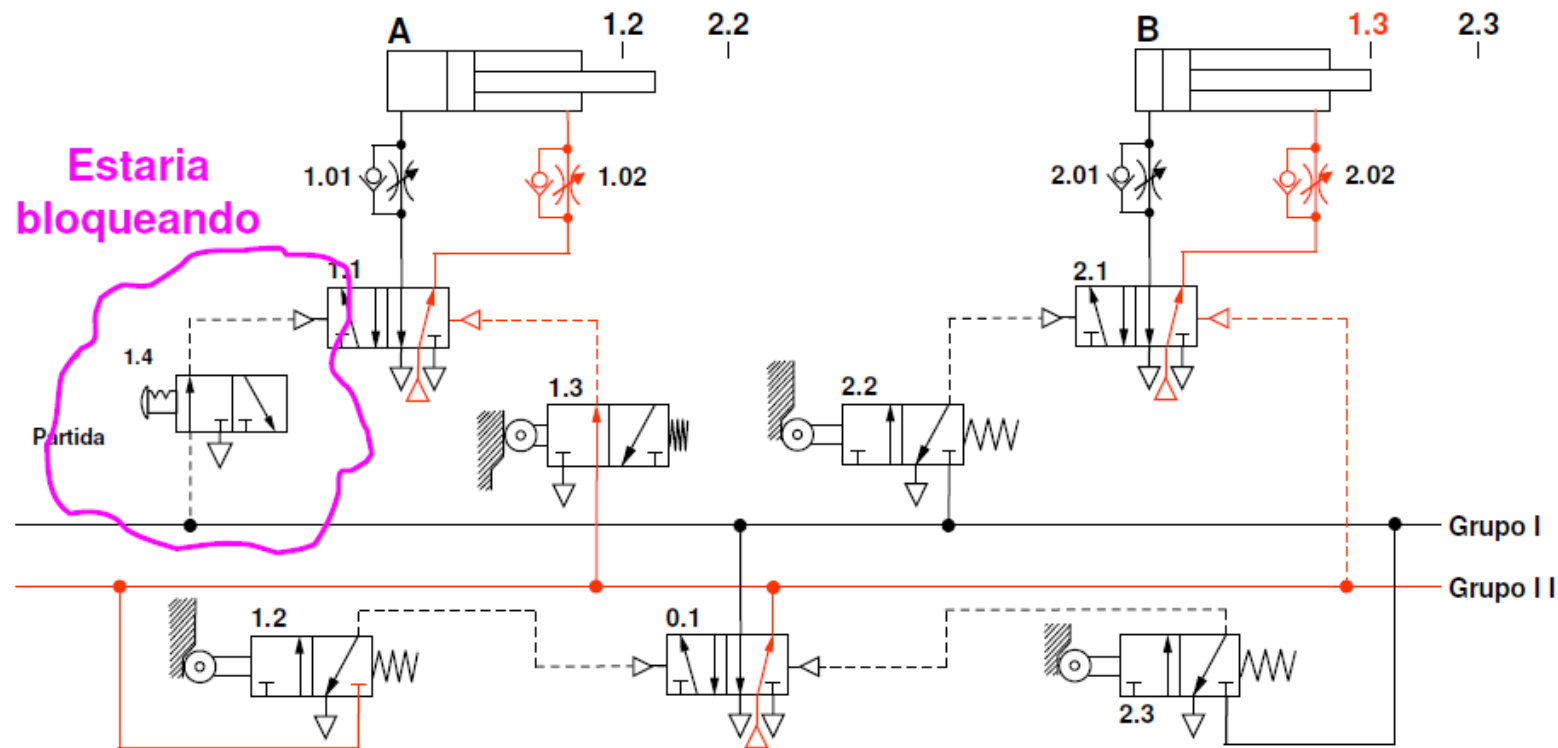
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

Fim do recuo de B \Rightarrow válvula 1.3 é acionada



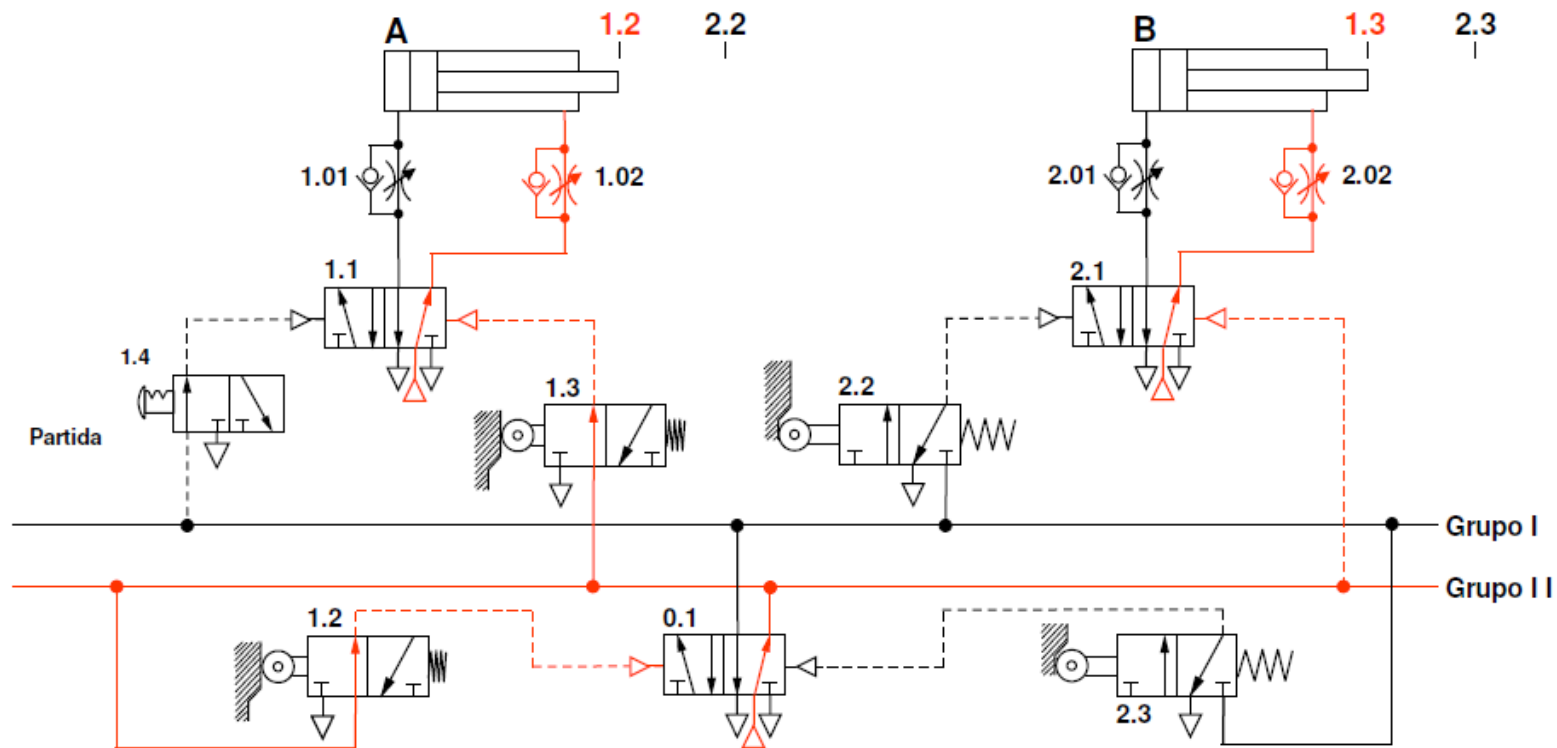
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

Válvula 1.1 é comutada \Rightarrow inicia retorno de A
(libera válvula 2.2)



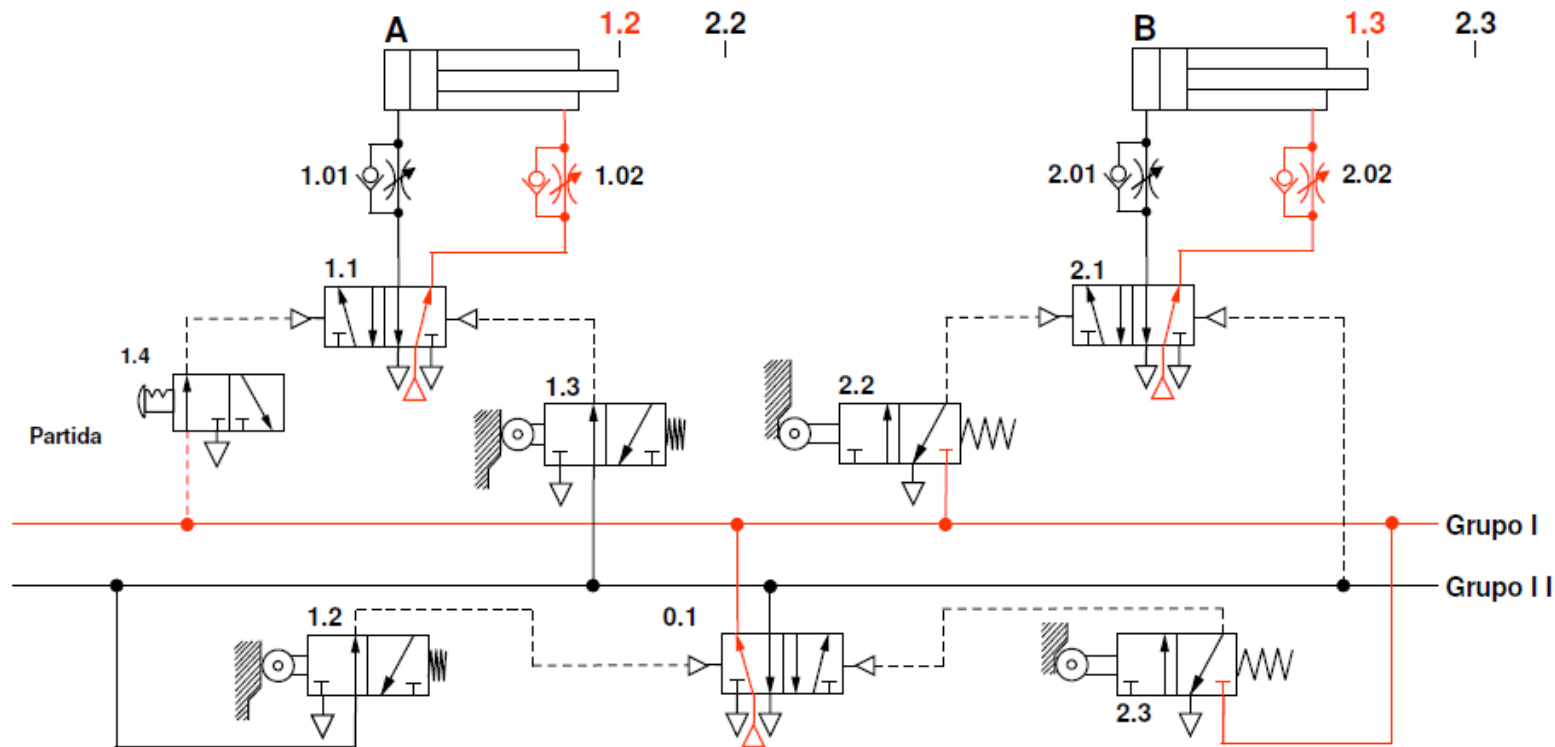
Método Cascata (A+ B+ B- A-)

Final do retorno de A \Rightarrow válvula 1.2 é acionada



Método Cascata (A+ B+ B- A-)

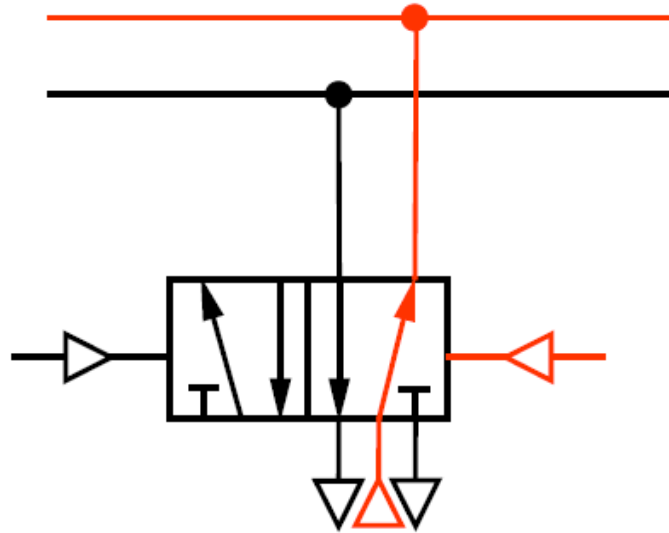
Comutação de 0.1 \Rightarrow desativa grupo II e ativa grupo I (reinicia o ciclo)



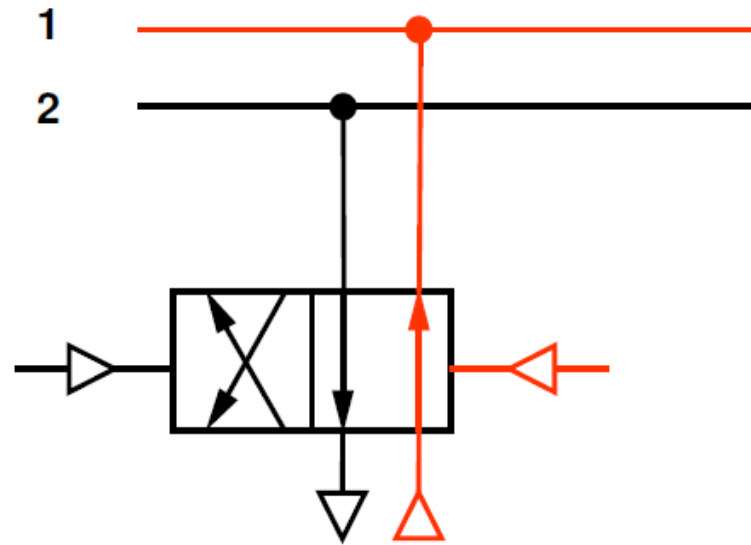
Método Cascata

2 Grupos

Válvula 5/2 vias



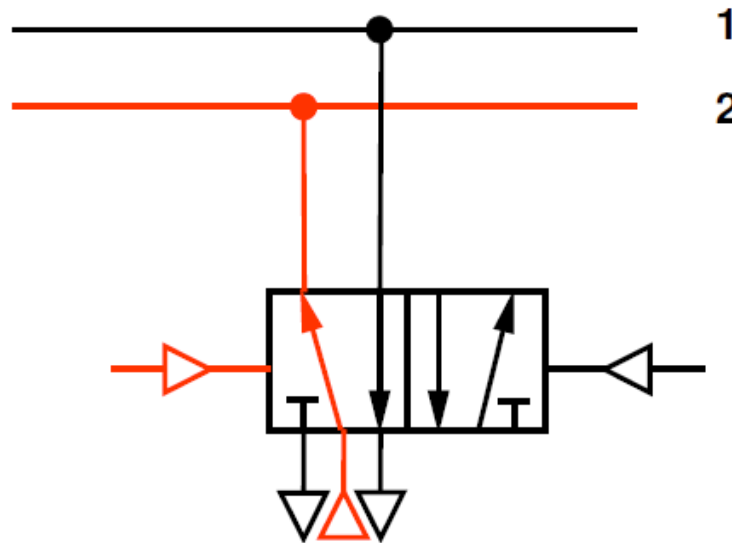
Válvula 4/2 vias



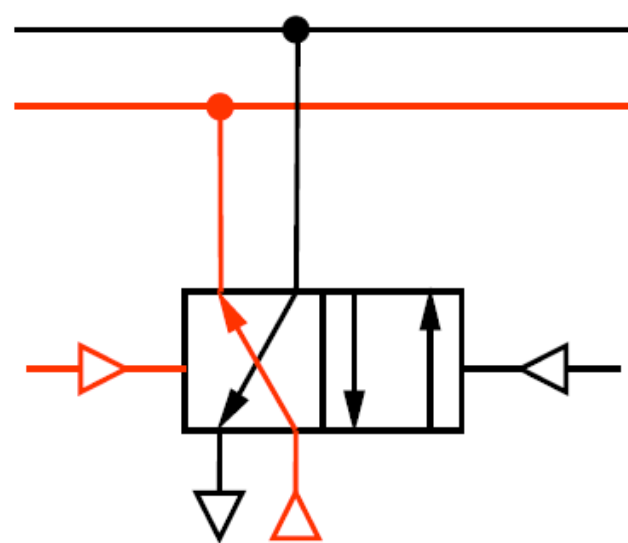
Método Cascata

2 Grupos

Válvula 5/2 vias

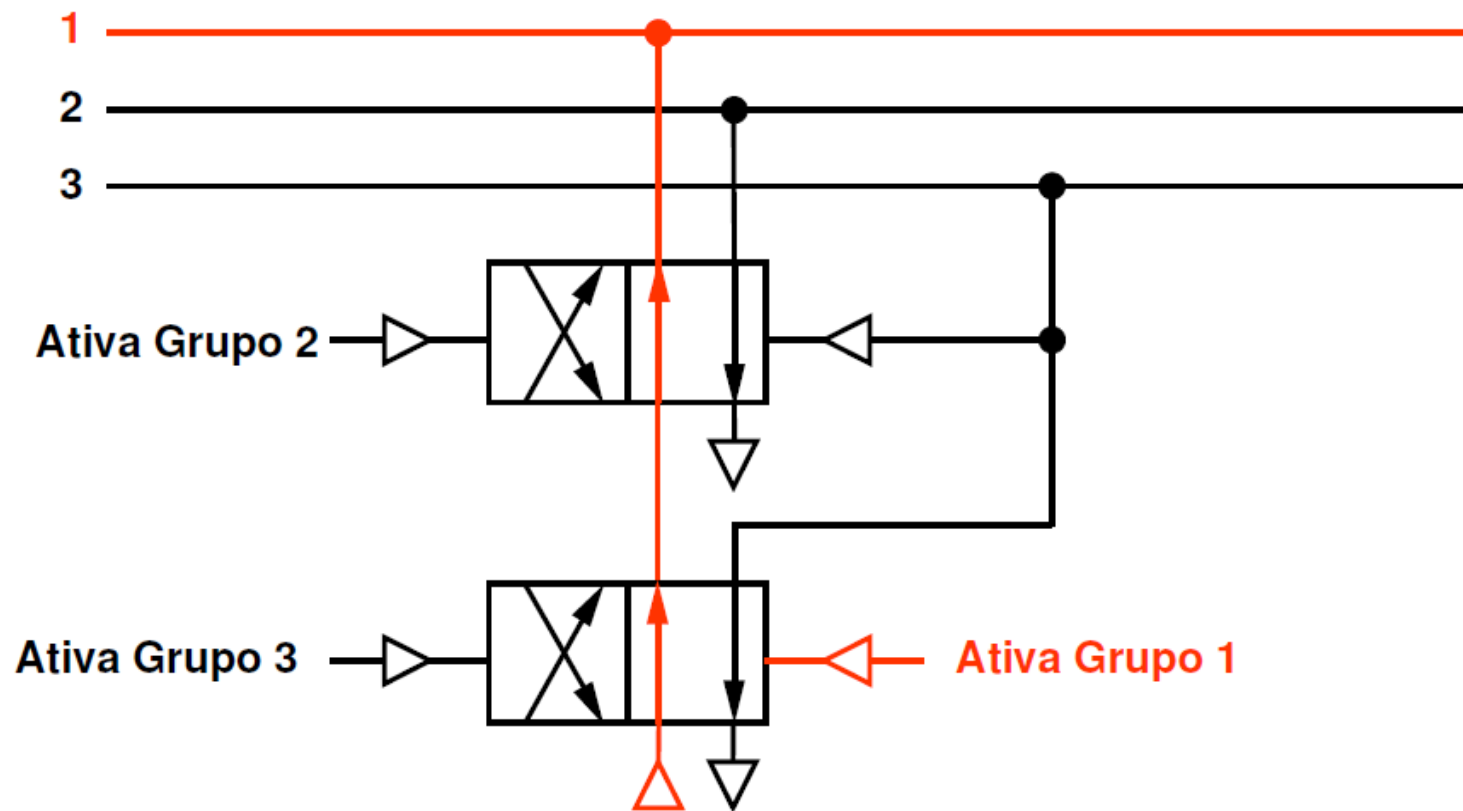


Válvula 4/2 vias



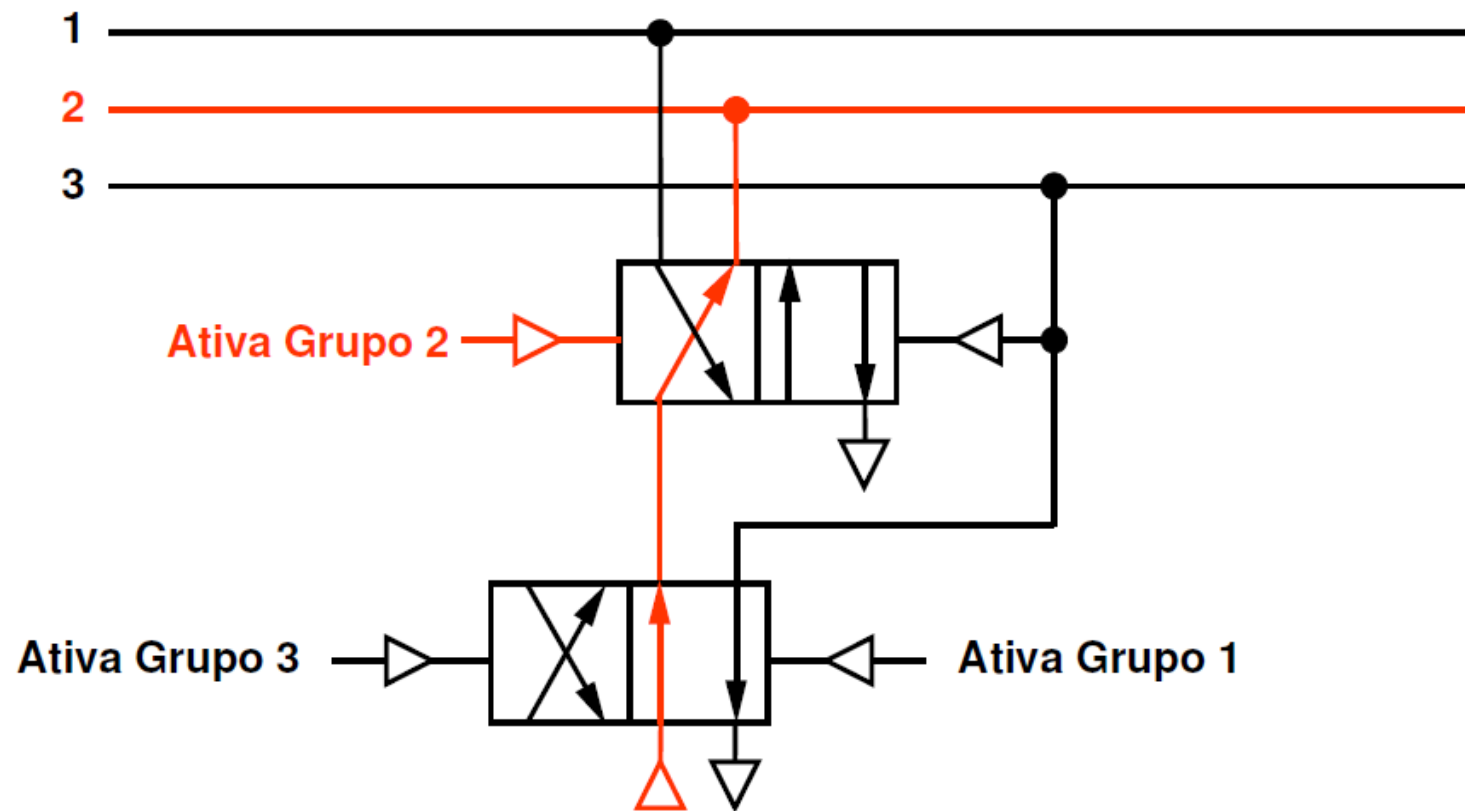
Método Cascata

3 Grupos com válvula 4/2 vias



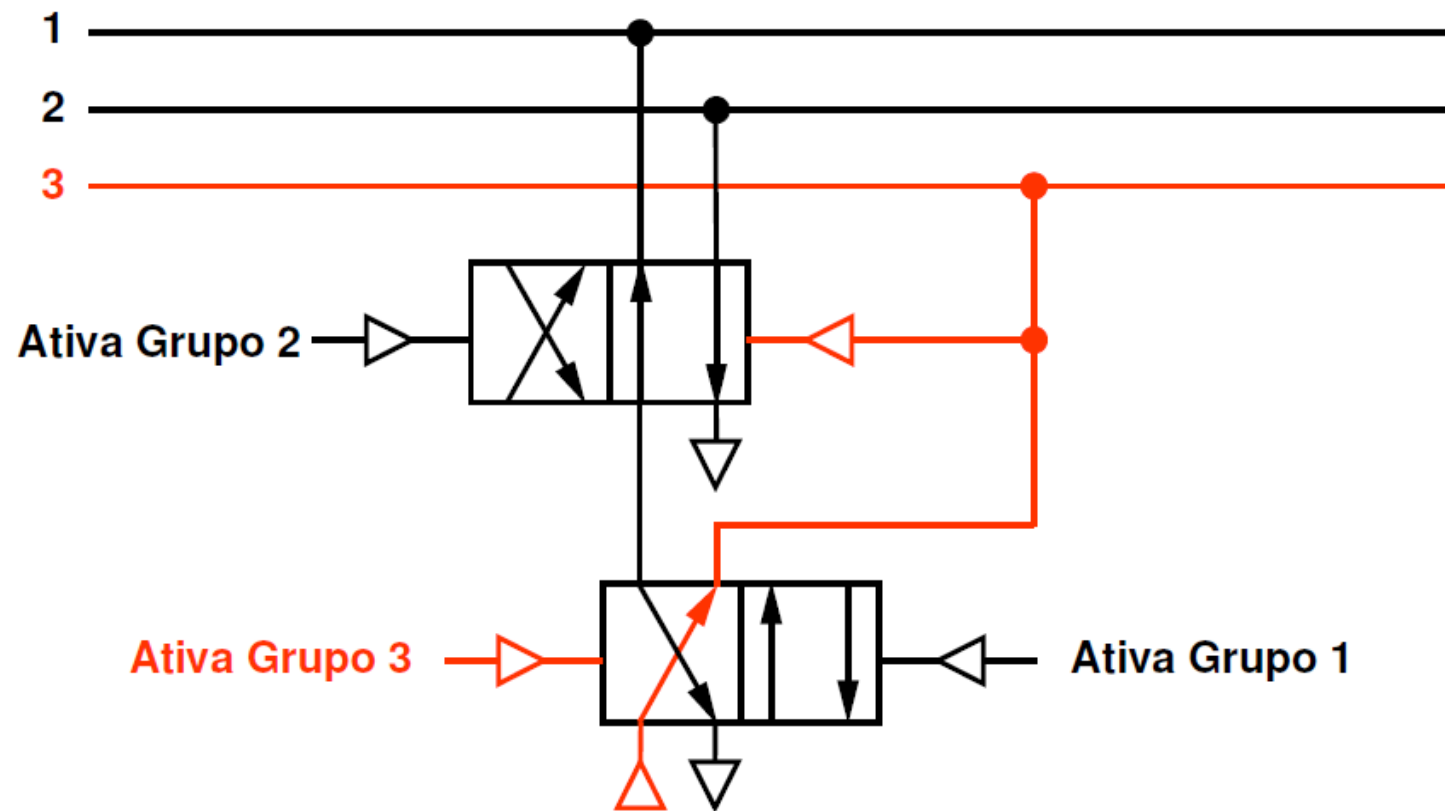
Método Cascata

3 Grupos com válvula 4/2 vias



Método Cascata

3 Grupos com válvula 4/2 vias





OBRIGADO!

LOREM IPSUM DOLOR SIT AMET, CONSECTETUER ADIPISCING ELIT. MAECENAS PORTTITOR CONGUE
MASSA. FUSCE POSUERE, MAGNA SED PULVINAR ULTRICIES, PURUS LECTUS MALESUADA LIBERO