

FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO
Die Casting
TECNOLOGIA DO PROCESSO

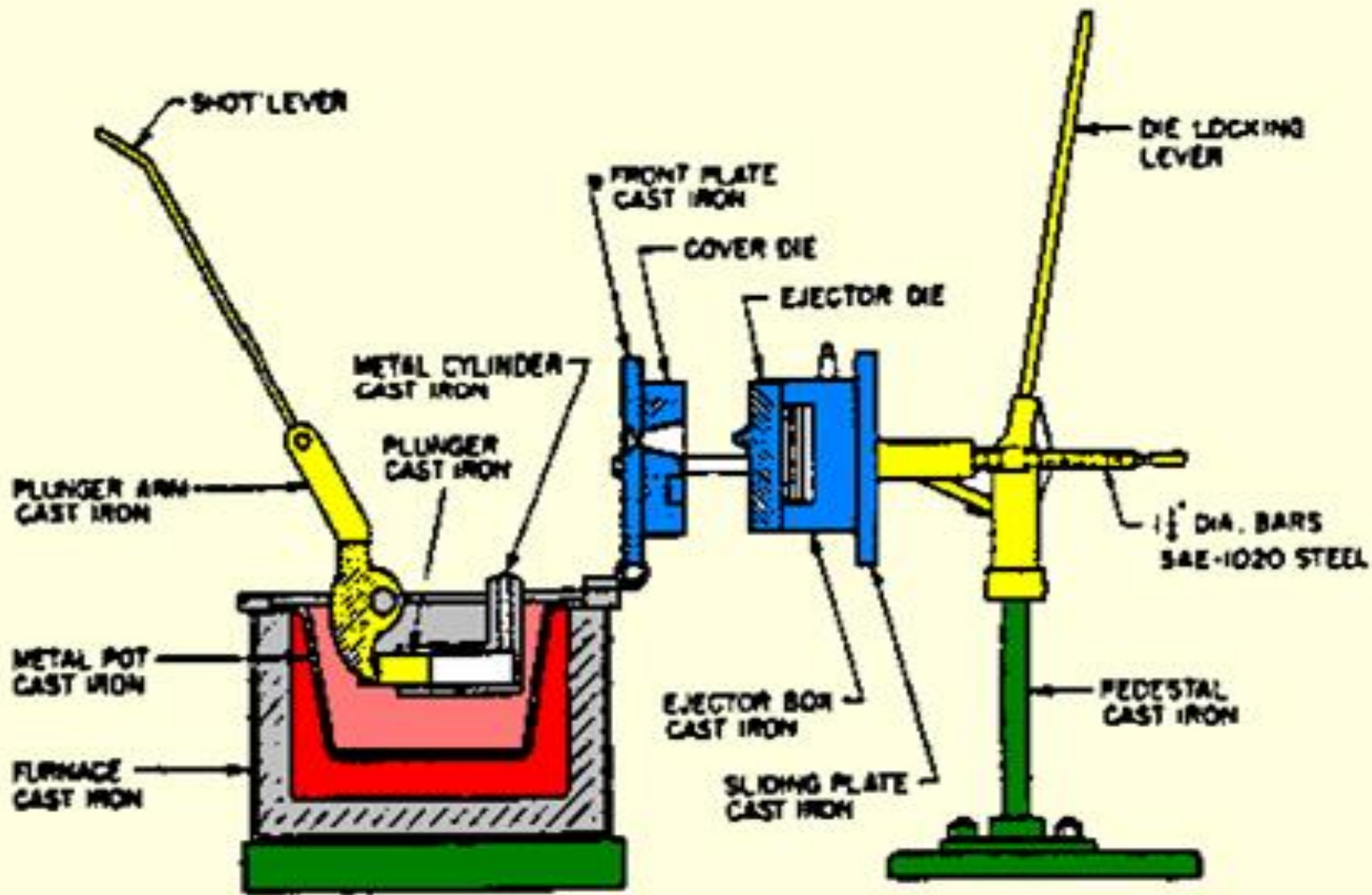
HISTÓRIA DO PROCESSO

- Os primeiros equipamentos século 19.
- Em 1849 Sturgiss patenteou a primeira máquina.
- Em 1869, Charles Babbage faz uma máquina para produzir peças para calculadoras.
- Peças para locomotivas foram produzidas a partir de 1877.
- Ligas de zinco, foram muito utilizadas em injetoras com câmara quente.

HISTÓRIA DO PROCESSO

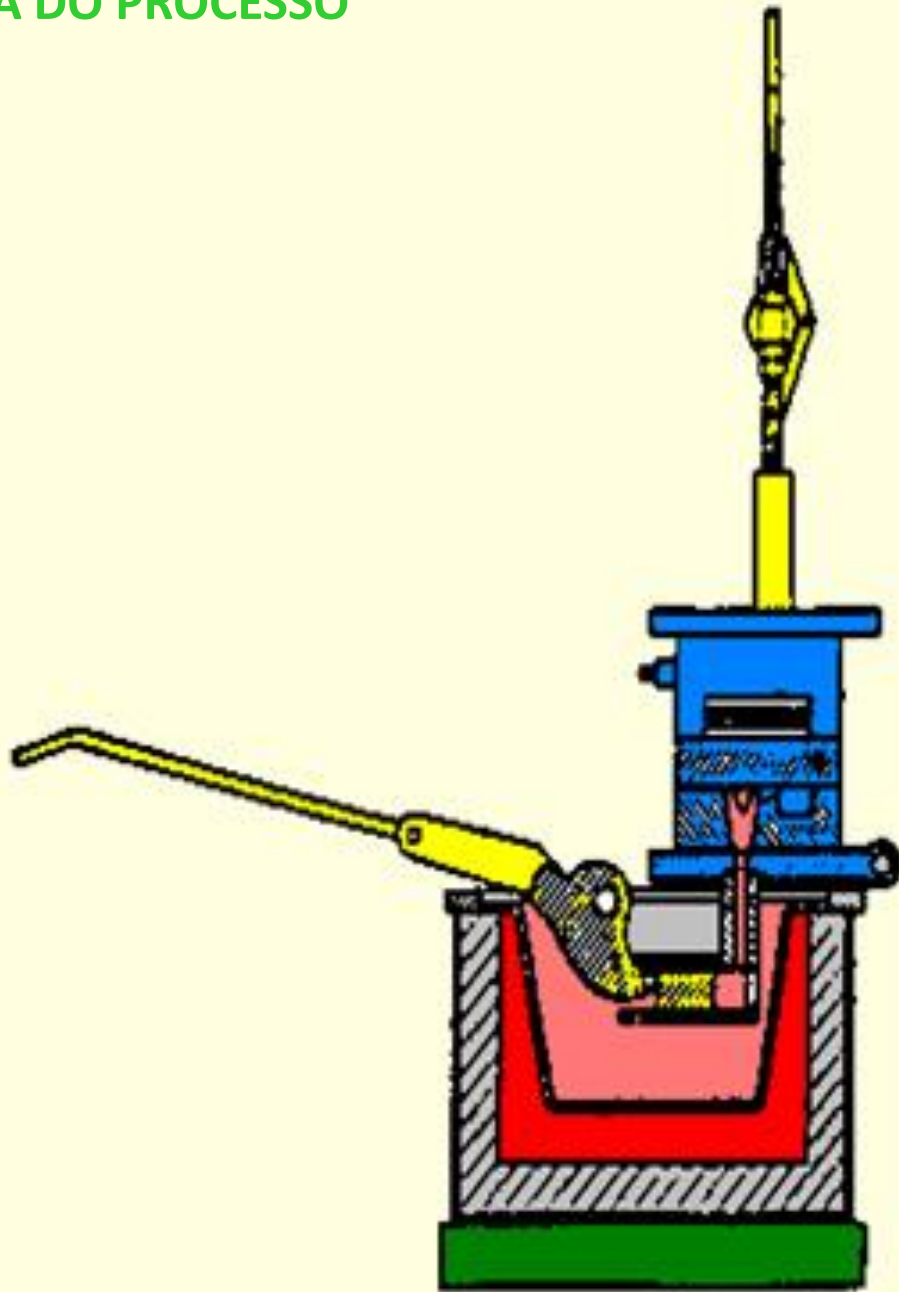
- **As ligas de alumínio em câmara fria, grandes avanços na década de 30 e com a guerra, no setor de aeronáutica.**
- **O grande apogeu nas décadas de 50 e 60 no EUA e Japão, com grande competitividade na década de 70.**
- **Na década de 80 ocorre muito investimento em pesquisas, é à saída da época do ensaio e erro.**

HISTÓRIA DO PROCESSO

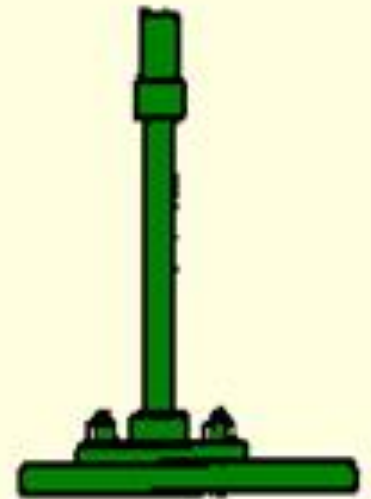


a. Open.

HISTÓRIA DO PROCESSO



b. Closed.



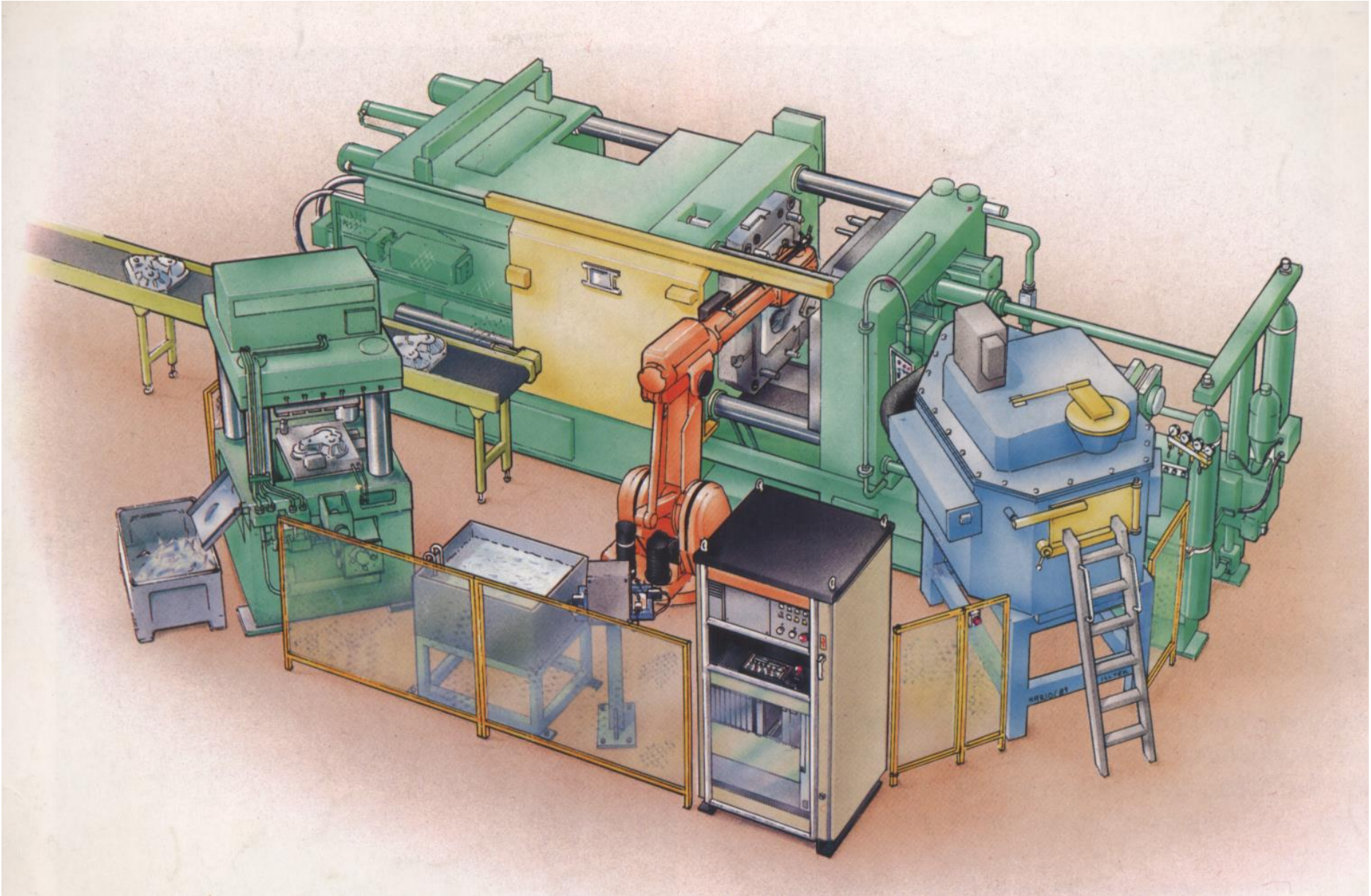
APLICAÇÕES

- Equipamentos eletrônicos
- Material bélico
- Brinquedos
- Eletrodomésticos
- Agricultura
- Transporte
- Máquinas industriais
- Equipamentos de escritório e comerciais
- Joalheria
- Equipamentos esportivos
- Máquinas fotográficas e filmadoras
- Equipamentos para construção
- Automobilística

VANTAGENS

- **Alta produção**
- **Alta precisão dimensional**
- **Redução do sobre metal para usinagem**
- **Rugosidade de 0,5 a 3 μ m**
- **Espessura de 1 a 2mm**
- **Insertos metálicos**
- **Vida útil elevada dos ferramentais**
- **Grão muito refinado**
- **Automação**
- **Menor contaminação do Meio Ambiente**

Na atualidade.....



DESVANTAGENS

- **Custo elevado das injetoras**
- **Custo elevados dos moldes/matriz**
- **Bolhas de gases**
- **Poucas ligas**
- **Não adequado para soldagem**
- **Tamanho de peças restritos**
- **Lotes mínimos em torno de 5000 peças**
- **Peso da peças entre 0,25 a 25kg**

COMPARATIVO

	Velocidade de resfriamento	Enchimento	Alimentação	Sanidade interna	Limite de resistência	Ductilidade
Sob pressão	muito alta	turbulento	sob pressão	ruim	alto (300MPa)	baixa (< 1%)
Coquilha gravidade	alta	pode ser controlado	gravidade	boa (microporosidades)	médio (270MPa)	alta (> 5%)
Coquilha basculante ou baixa pressão	alta	controlado	gravidade ou baixa pressão	boa (microporosidades)	médio (270MPa)	alta (> 5%)
Areia por gravidade	baixa	pode ser controlado	gravidade	ruim (porosidades de grande tamanho)	baixo (240MPa)	baixa (3%)

LIGAS DE ALUMÍNIO

AA	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Sn
A360	9-10	1,3	0,6	0,35	0,4-0,6	0,5	0,5	
A380	7,5-9,5	1,3	3,0-4,0	0,5	0,1	0,5	3,0	
383.0	9,5-11,5	1,3	2,0-3,0	0,5	0,1	0,3	3,0	0,15
384.0	10,5-12,0	1,3	3,0-4,5	0,5	0,1	0,5	3,0	0,35
B390.0	16,0-18,0	1,3	4,0-5,0	0,5	0,45-0,65	0,1	1,5	0,2 Ti
A413.0	11,0-13,0	1,3	1,0	0,35	0,1	0,5	0,5	0,15
C443.0	4,5-6,0	2,0	0,6	0,35	0,1	0,5	0,5	0,15
518.0	0,35	1,8	0,25	0,35	7,5-8,5	0,15	0,15	0,15

OUTRAS LIGAS

Ligas de Zn

– ZnAl; ZnAlCu e ZnAlNi.

Ligas de Mg

– MgAlZn e MgAl.

Ligas de Cu

– CuZn.

MÁQUINA INJETORA E SUAS PARTES

1-Válvulas do sistema de fechamento do molde

2-Motor e bomba hidráulica

3-Válvula do sistema de extração de peças

4-Válvula do sistema de extração de peças

5-Válvula de distribuição

6-Válvula intermediária do sistema de injeção

7-Válvula do sistema de injeção

8-Vaso do intensificador ou acumulador de pressão

9-Vaso da segunda fase de injeção

10-Estrutura de fixação do sistema de injeção

11-Pistão hidráulico de injeção

12-Barra controladora da injeção

13-Haste do pistão de injeção

14-Placa fixa

15-Barras

16-Placa móvel

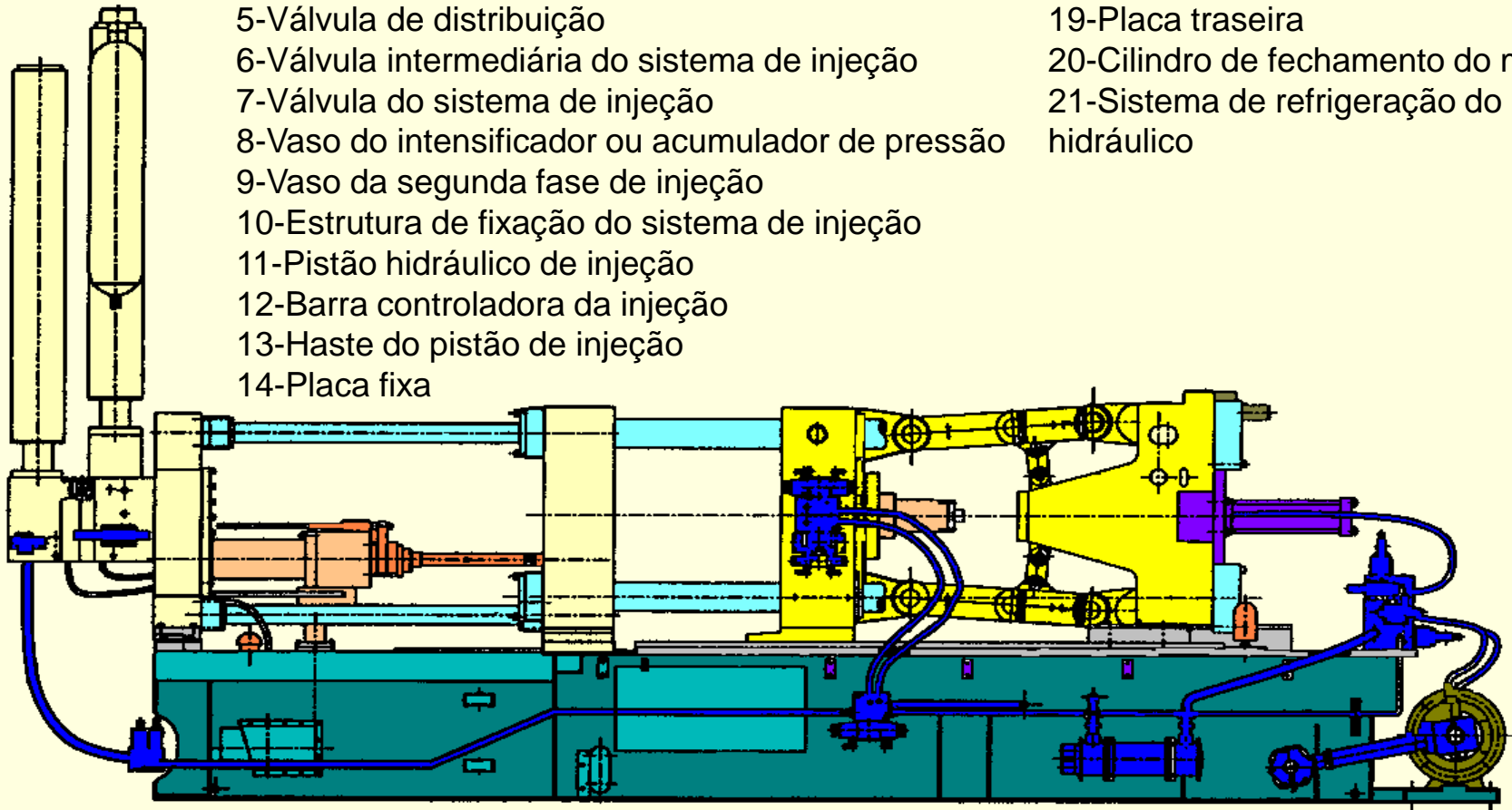
17-Sistema de travamento do molde

18-Sistema de extração da peça

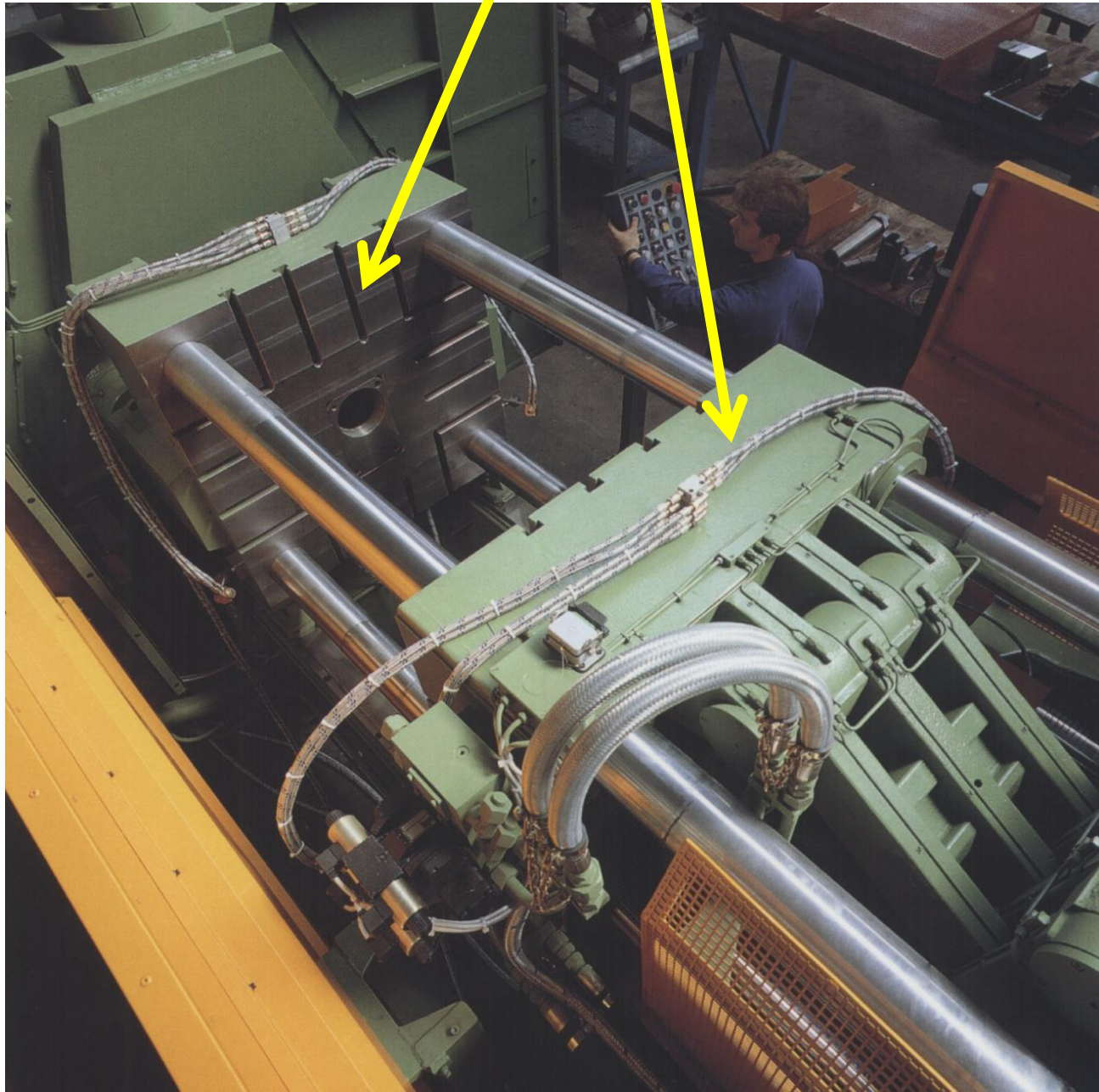
19-Placa traseira

20-Cilindro de fechamento do molde

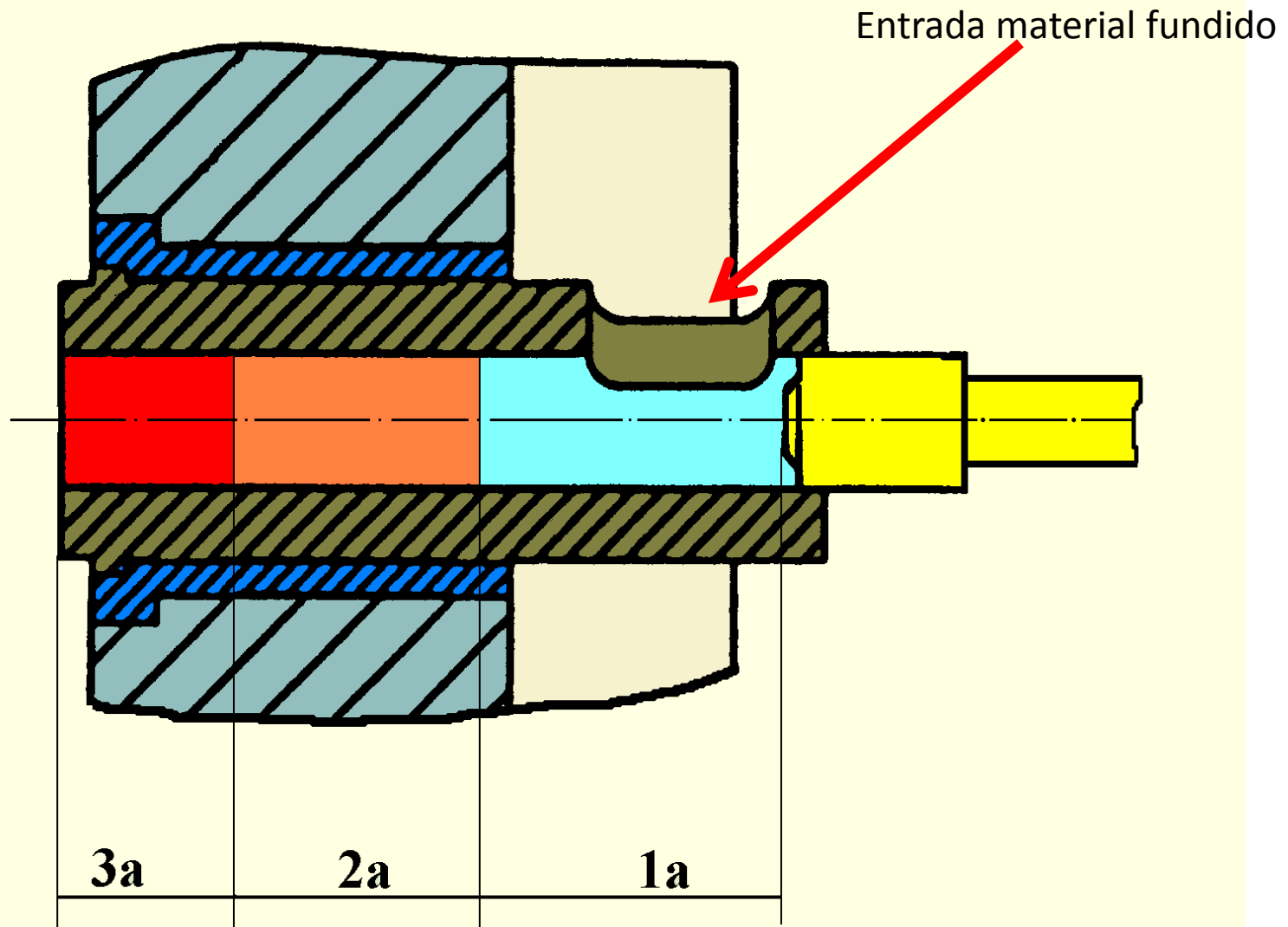
21-Sistema de refrigeração do óleo hidráulico



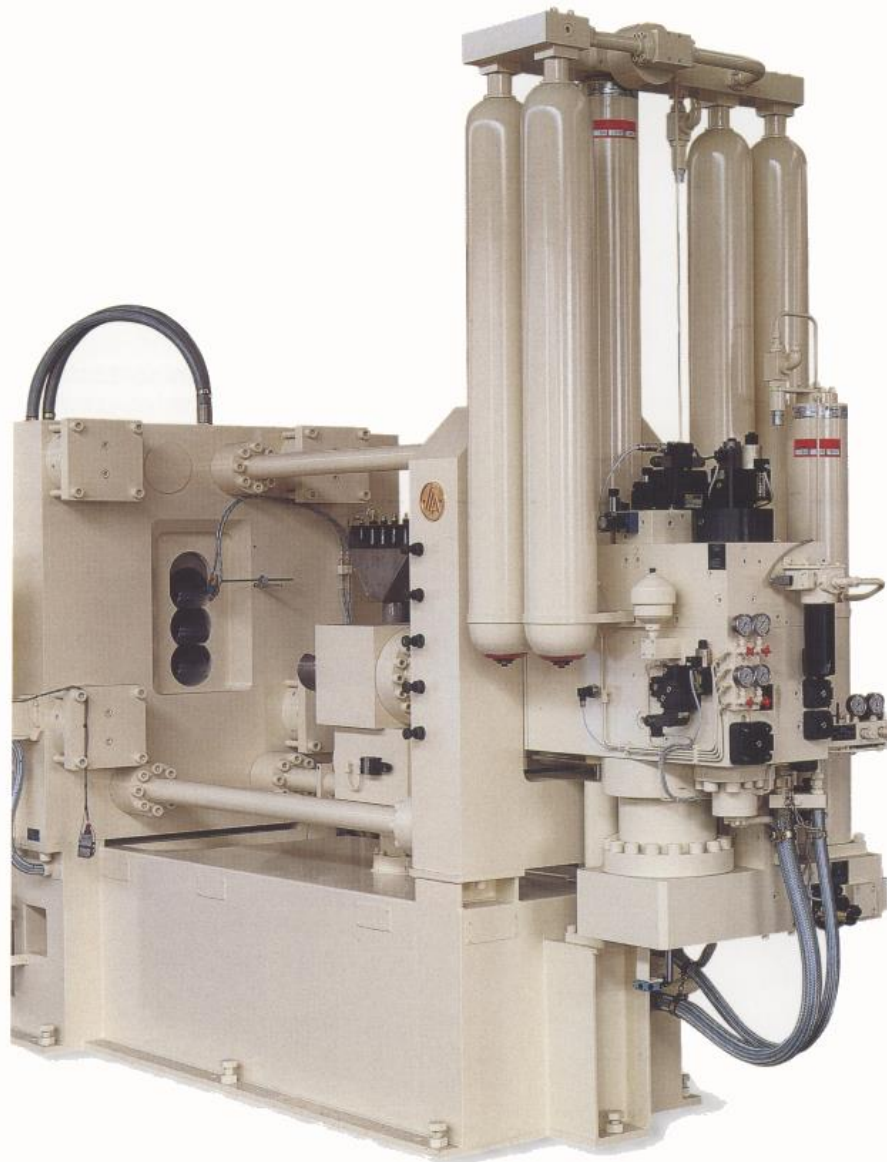
PLACA FIXA E MÓVEL



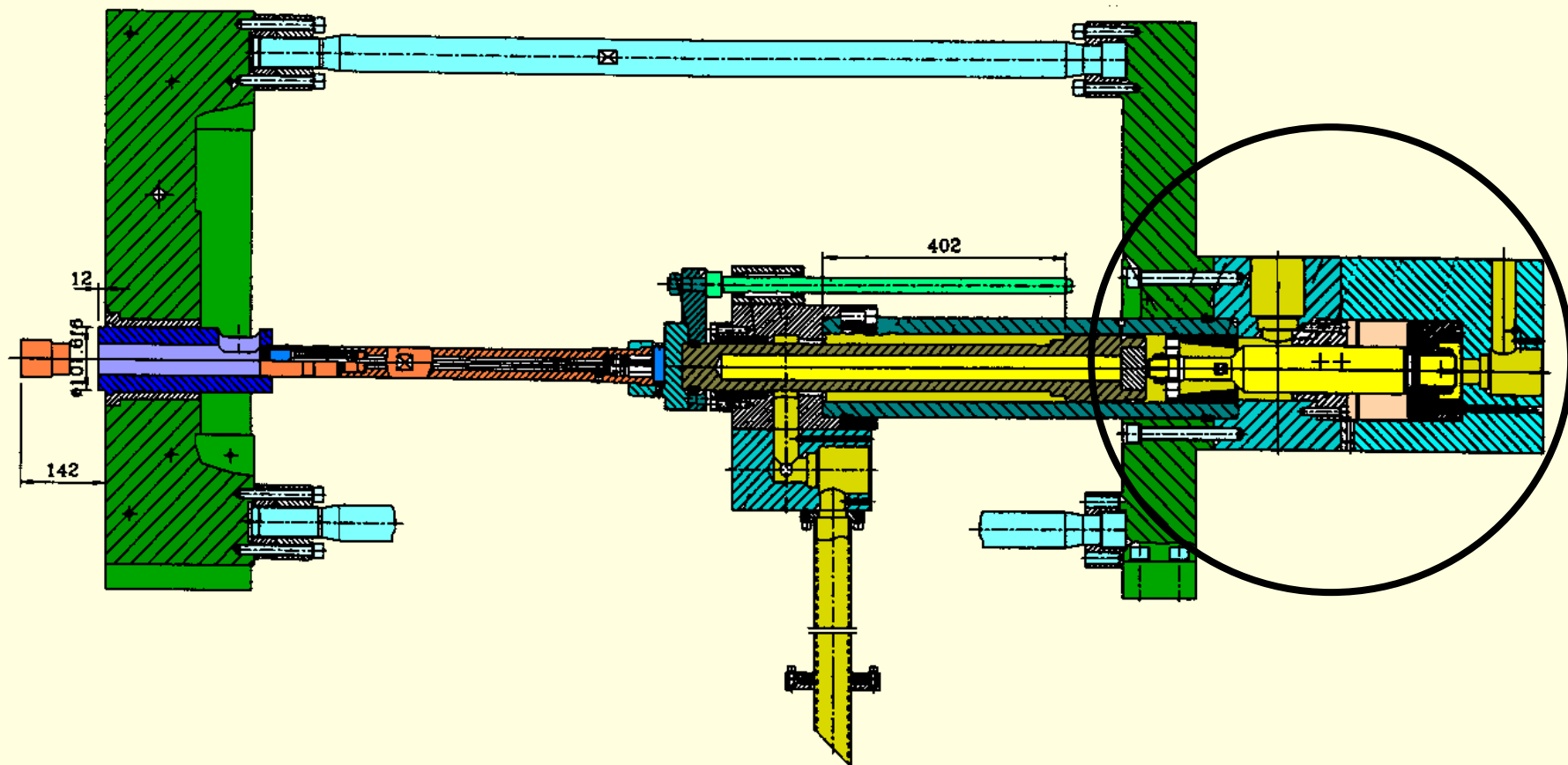
FASES DE INJEÇÃO

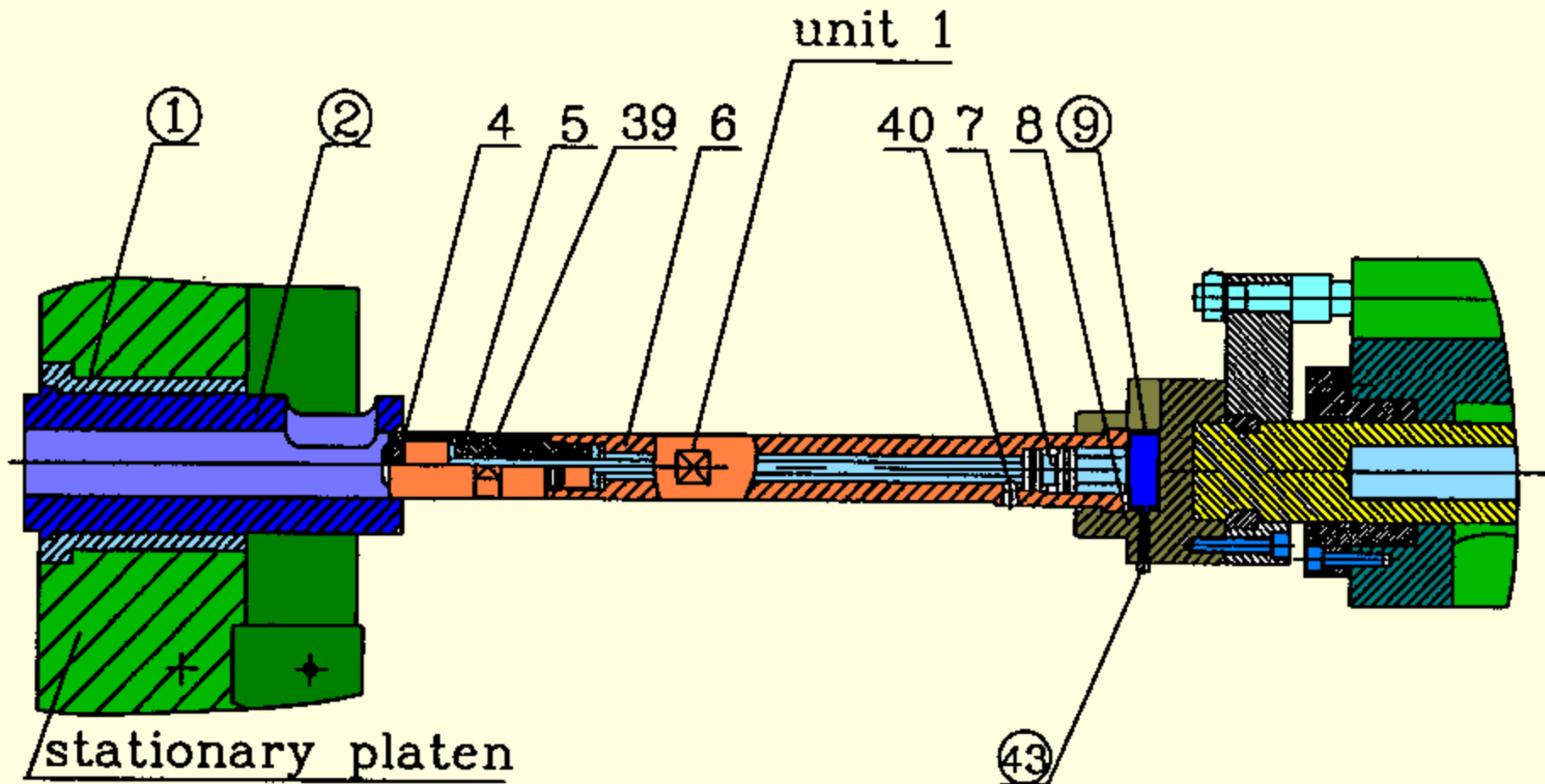


ACUMULADORES



MUPLICADOR





- 1-Assento da bucha
- 2-Bucha de injeção
- 4-Pistão de injeção
- 5-Acoplamento
- 6-Haste do pistão de injeção
- 7-Tubo para água
- 8-Acoplamento

- 9-Encosto da haste do pistão de injeção
- 39-Anel de vedação – “oring”
- 40-Junta de cobre
- 43-Parafuso

PARTES DO SISTEMA DE INJEÇÃO

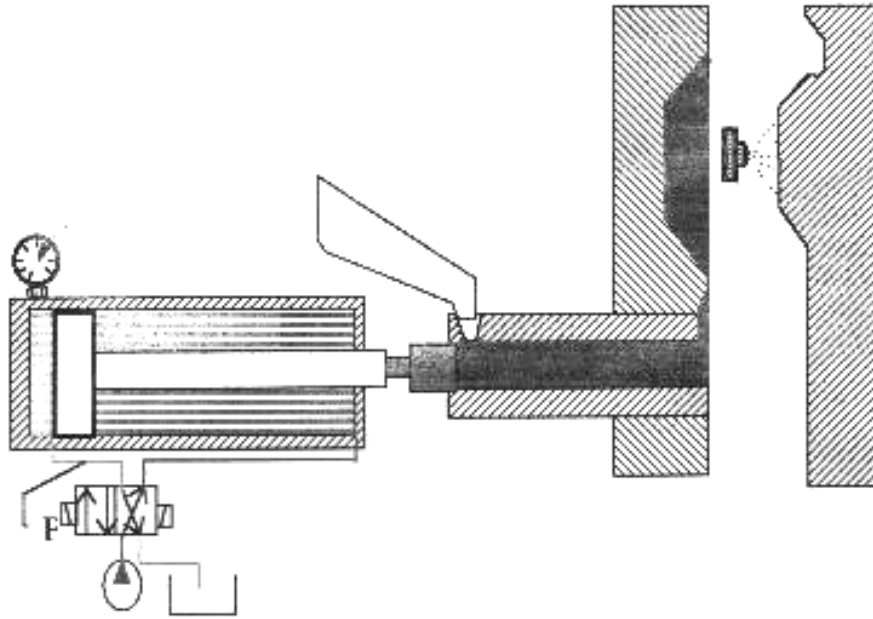
CARREGADOR DE METAL



PULVERIZADOR



DESMOLDANTE



Podemos dizer que um ciclo de injeção começa com aplicação do desmoldante.

A escolha do produto a ser usado na desmoldagem bem como sua aplicação é muito importante pois ele pode ser responsável por defeitos como manchas, junta fria, aderência e embora raramente porosidade causada por gás.

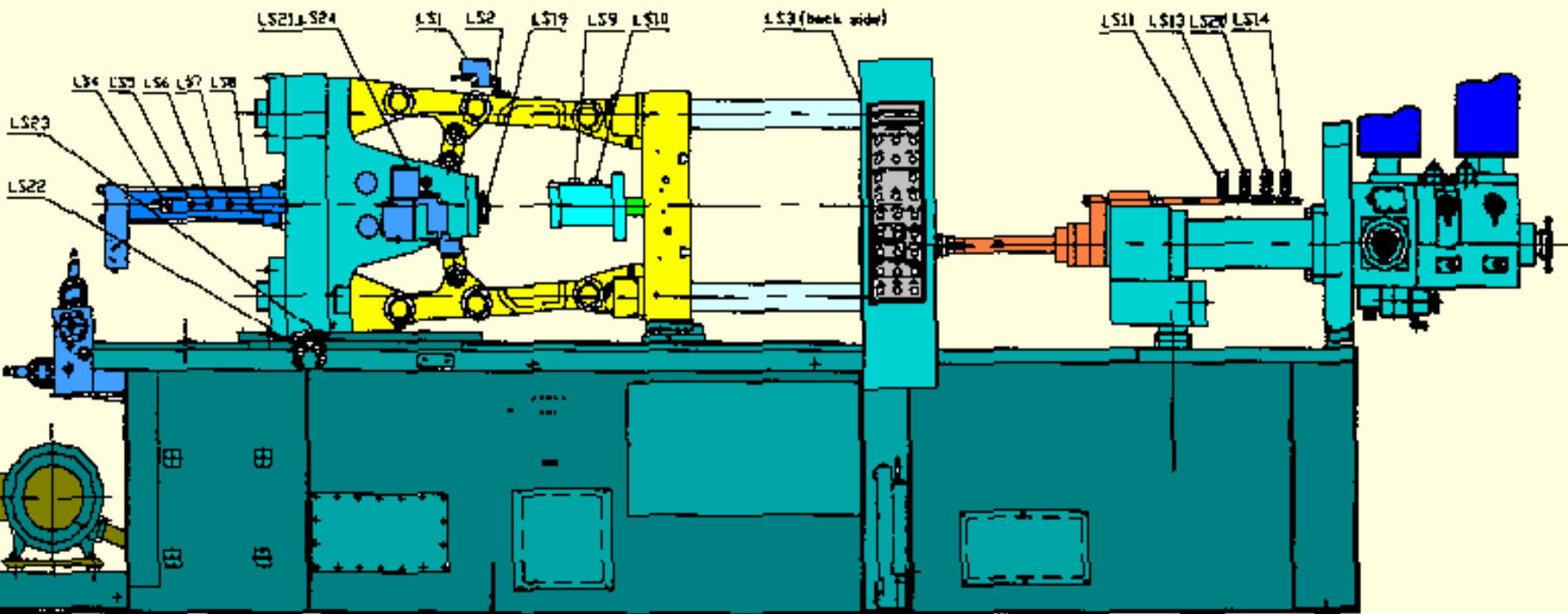
Devemos considerar o que esperamos no produto

Condutividade elétrica

- Pintura**
- Isenção de manchas**
- Reutilização dos refugos**

É também importante conhecer o tipo de água usado na diluição.

SENSORES DA MÁQUINA INJETORA



SV 15-Válvula proporcional

S1-Válvula de fechamento do molde

S2-Válvula de abertura do molde

S3-Válvula de avanço da extração (FWD) da peça

S4-Válvula de retorno da extração (BWD) da peça

S5-Válvula da 1ª fase de injeção

S6-Válvula da 2ª fase de injeção

S7-Válvula da fase de intensificação ou recalque

S8-Válvula de retorno do pistão de injeção (BWD)

S9-Válvula do retorno do óleo do pistão de injeção

S10-Válvula da velocidade rápida

S11-Válvula de avanço do macho 1

S12-Válvula de retorno do macho 1

S13-Válvula dupla da bomba

S14-Válvula do lubrificador do pistão de injeção

S15-Válvula de regulagem da espessura do molde, abertura.

S16-Válvula de regulagem da espessura do molde, fechamento

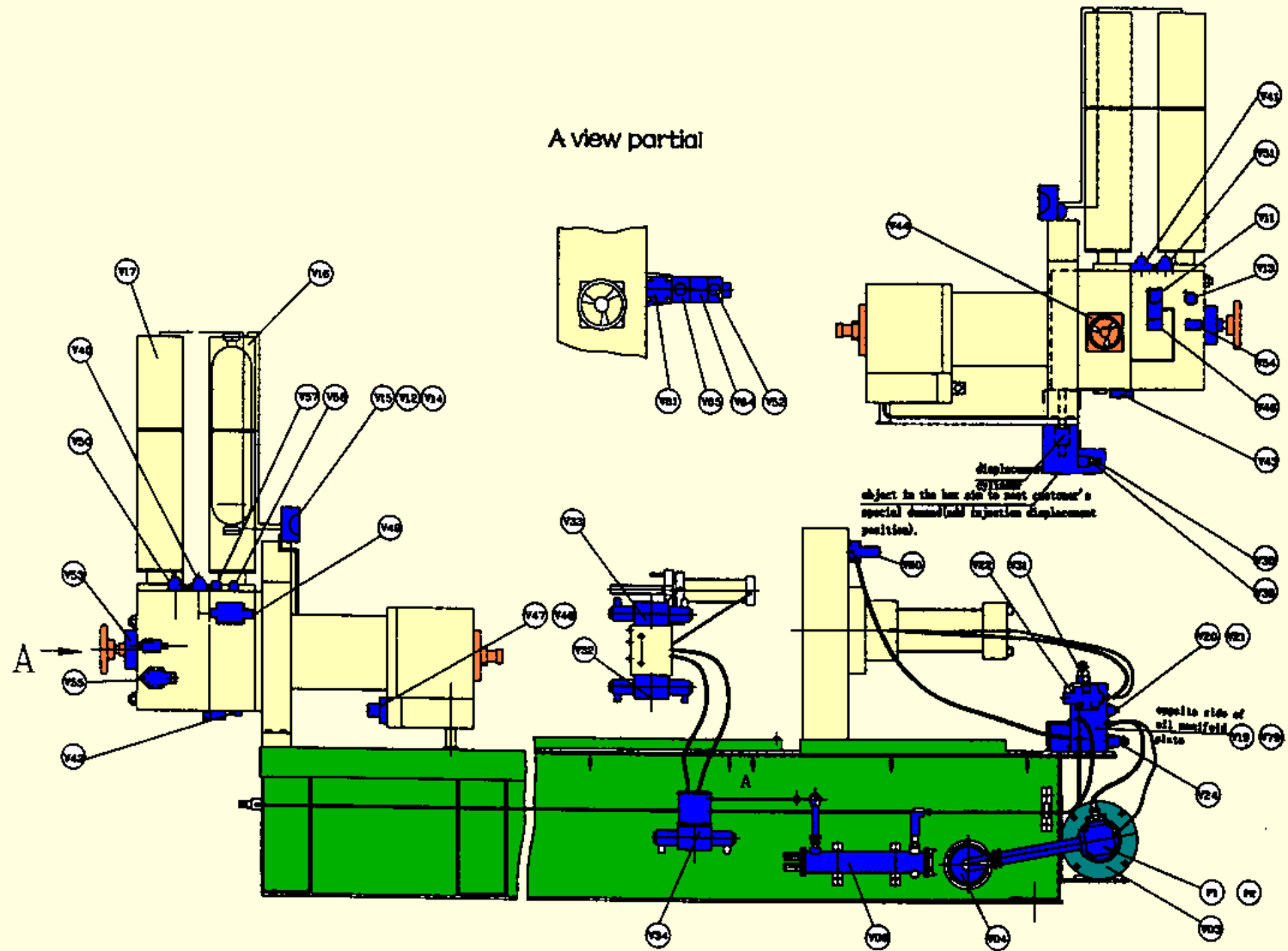
S18-Válvula da primeira velocidade

S19-Válvula de ajuste da plataforma

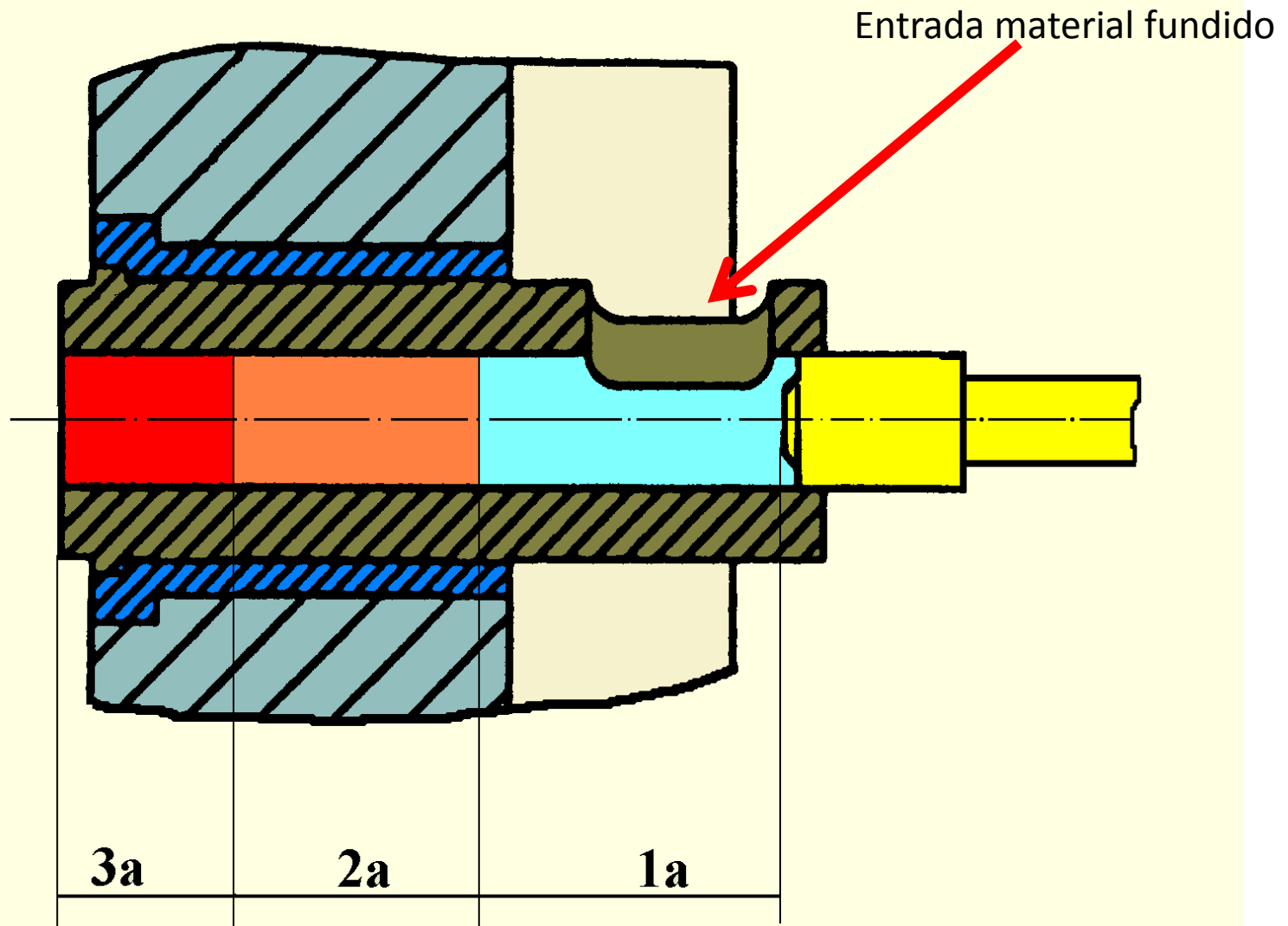
S21-Válvula de avanço do macho 2

S22-Válvula de retorno do macho 2

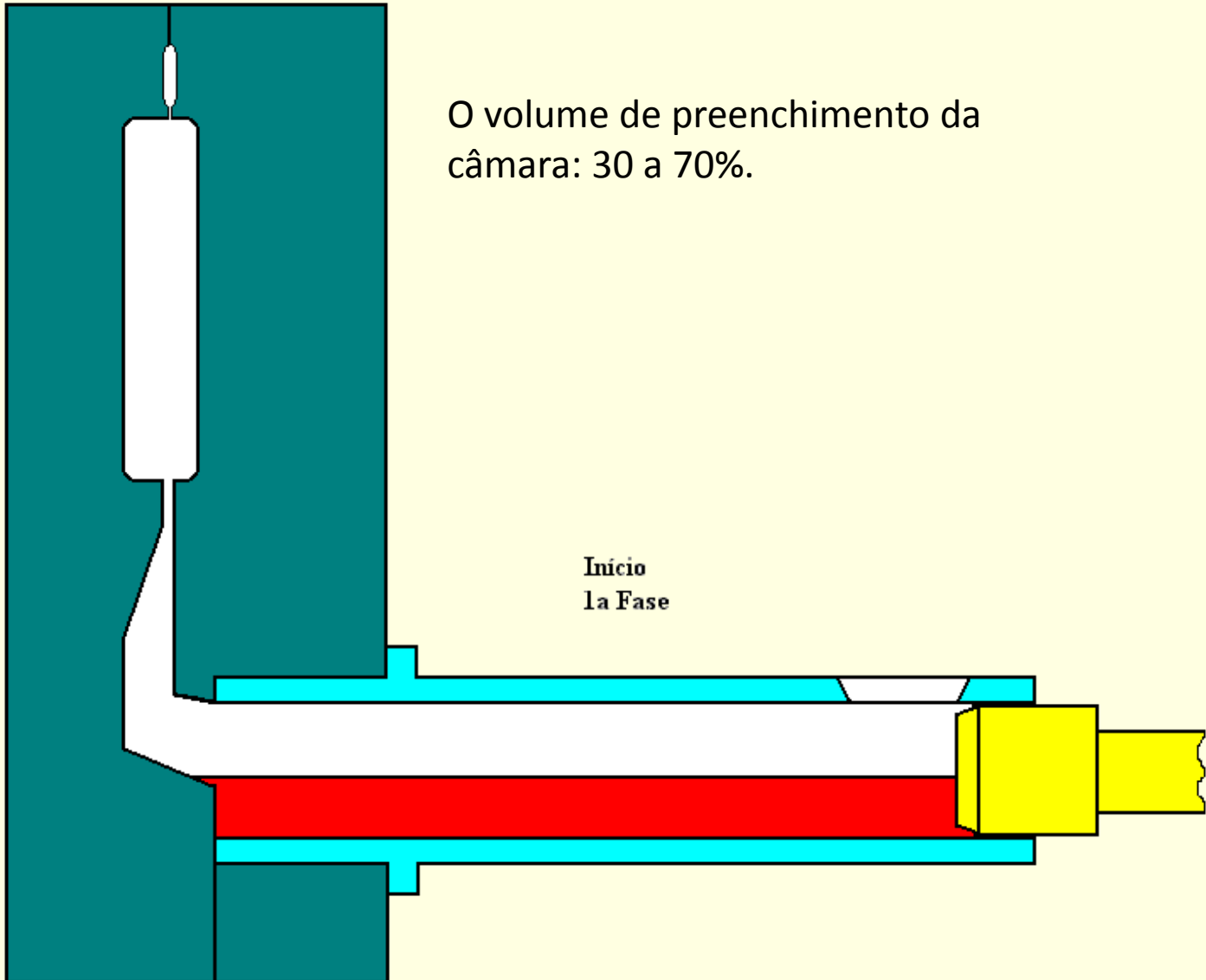
VÁLVULAS DO SISTEMA HIDRÁULICO



FASES DE INJEÇÃO

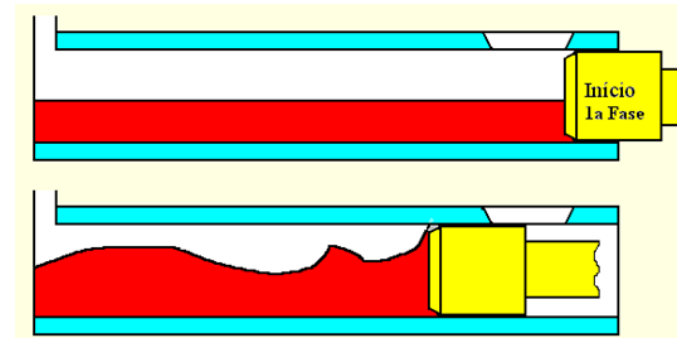


FASES DE INJEÇÃO – 1a FASE



FASES DE INJEÇÃO – 1a FASE

- Baixa velocidade de injeção.
- Serve para permitir a saída do ar e levar o metal até o pé do canal.
- Deve evitar o enchimento da cavidade prematuramente, para evitar ondas, gases e turbulência.
- Serve para deixar parte da bucha de injeção cheia de metal, sem ar, se algum ar ficar retido no metal, ele irá fazer parte da peça depois.
- É uma fase com velocidade lenta, a velocidade do pistão nesta fase varia de 2 a 5 m/s.



FASES DE INJEÇÃO – 1ª FASE

- A primeira fase de injeção termina quando todo o volume de metal da câmara está todo preenchido pelo metal líquido e pode ser calculado para facilitar na definição dos parâmetros de injeção.
- **O curso da primeira fase de injeção pode ser calculado,** para isto é necessário conhecer a massa total de metal que vai ser injetado e a partir desta informação pode-se calcular o volume total de metal a ser injetado.

FASES DE INJEÇÃO – 1a FASE

CALCULANDO O CURSO DA 1a FASE

Exemplo:

Dados:

- **Densidade da liga de alumínio fundido:** $d = 2,4\text{g/cm}^3$
- **Diâmetro da câmara de injeção:** $D = 60\text{mm}$
- **Peso de metal a ser injetado:** $P = 1550\text{g}$
- **Espessura do biscoito:** $B = 3\text{cm}$
- **Curso total do pistão:** $LT = 300\text{mm}$

FASES DE INJEÇÃO – 1a FASE

a) Volume de metal que será injetado - V_i

$$V_i = P/d \quad V_i = 1550/2,4 = 645,8\text{cm}^3$$

b) Comprimento ($L + B$) da bucha cheia após o curso da primeira fase

$$V_i = ((\pi D^2)/4)(L+B)$$

$$L+B = V_i/((\pi D^2)/4)$$

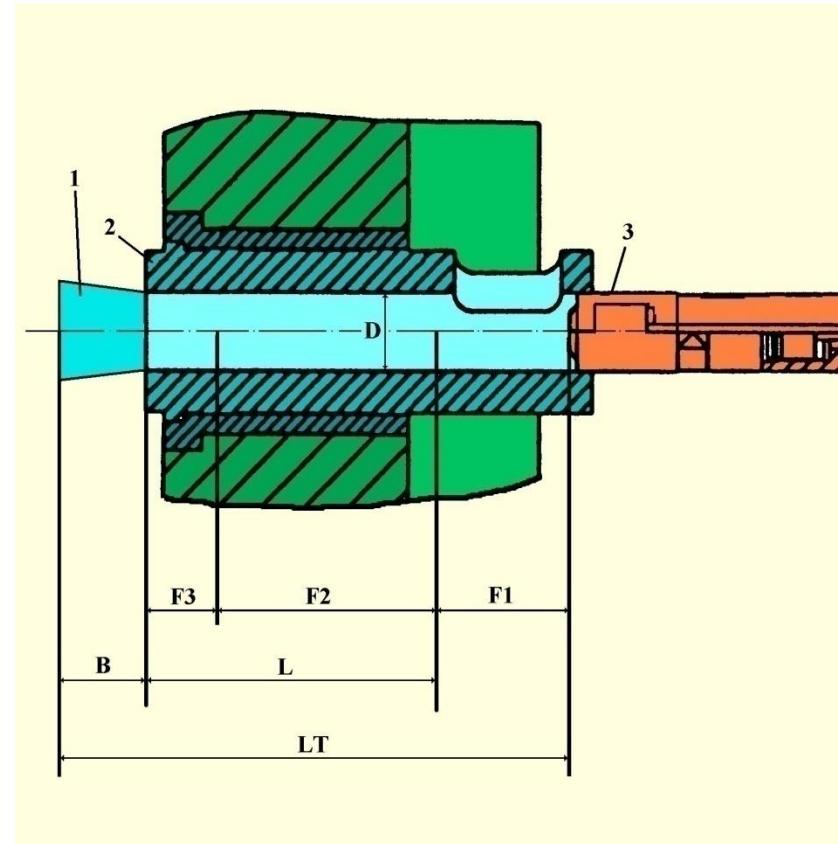
$$L+B = 645,8/((\pi 6^2)/4)$$

$$L+B = 22,8\text{cm}$$

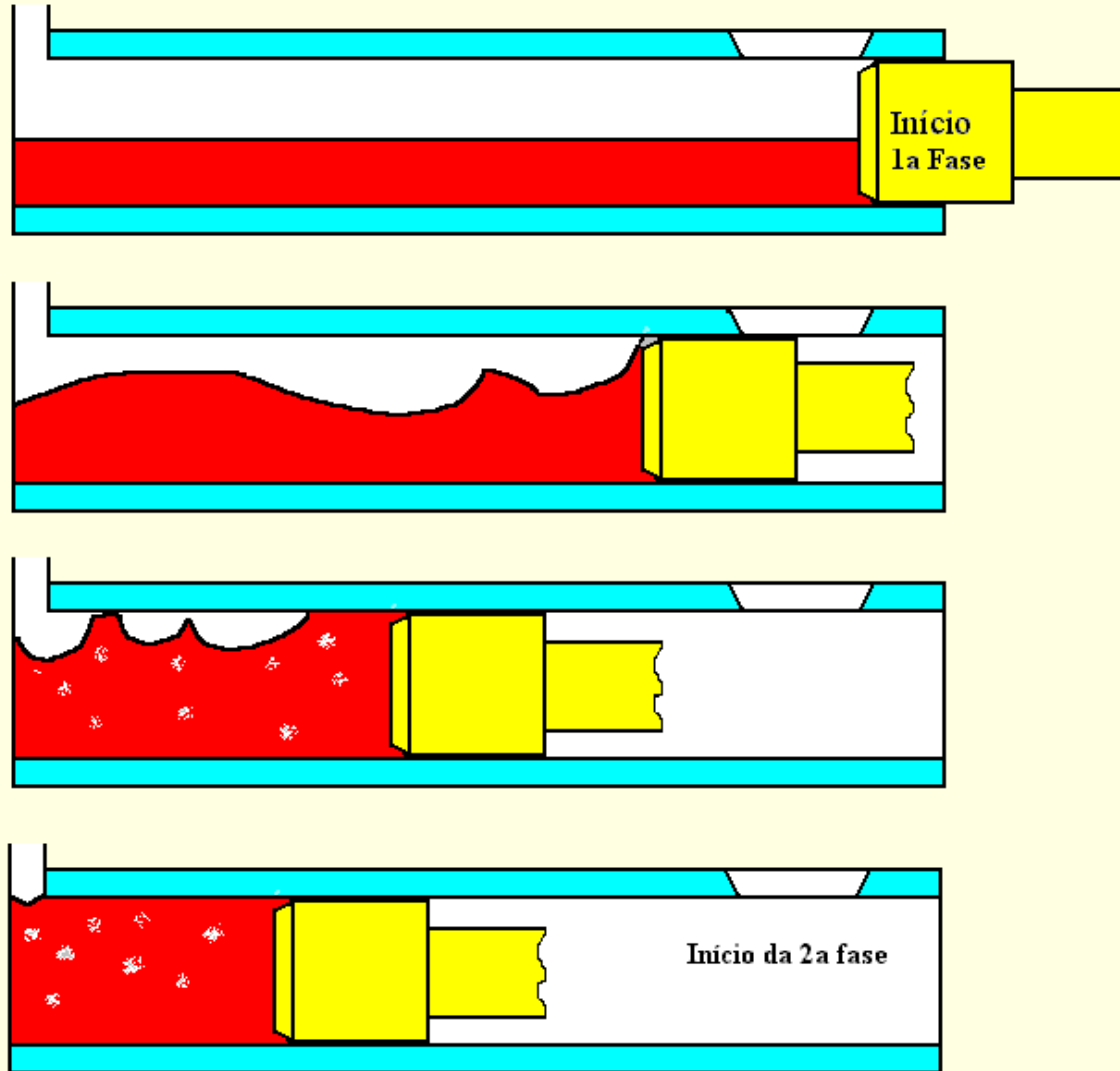
c) Comprimento $F1 = LT - (L + B)$

$$F1 = 30 - (19,8 + 3)$$

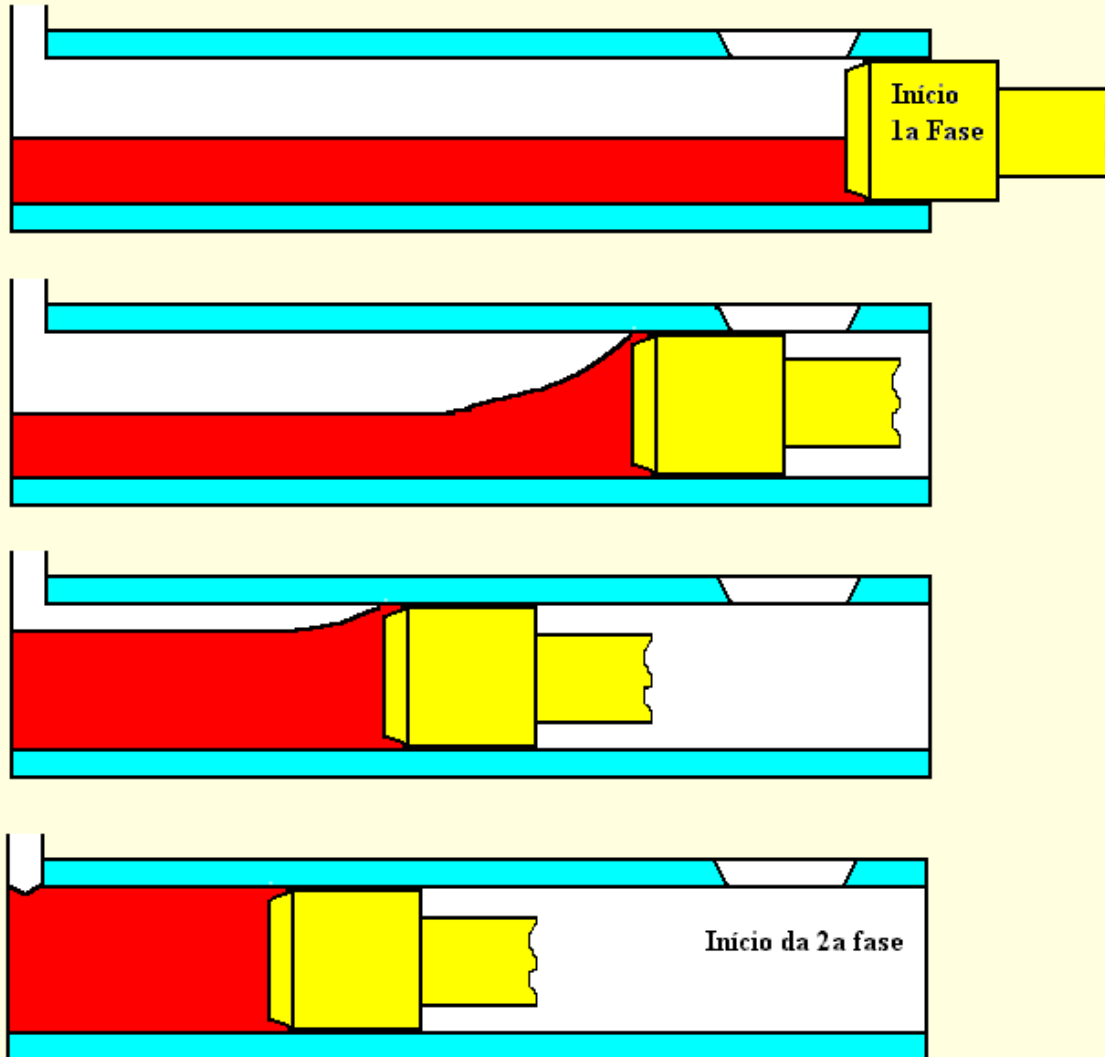
$$F1 = 7,2\text{cm}$$



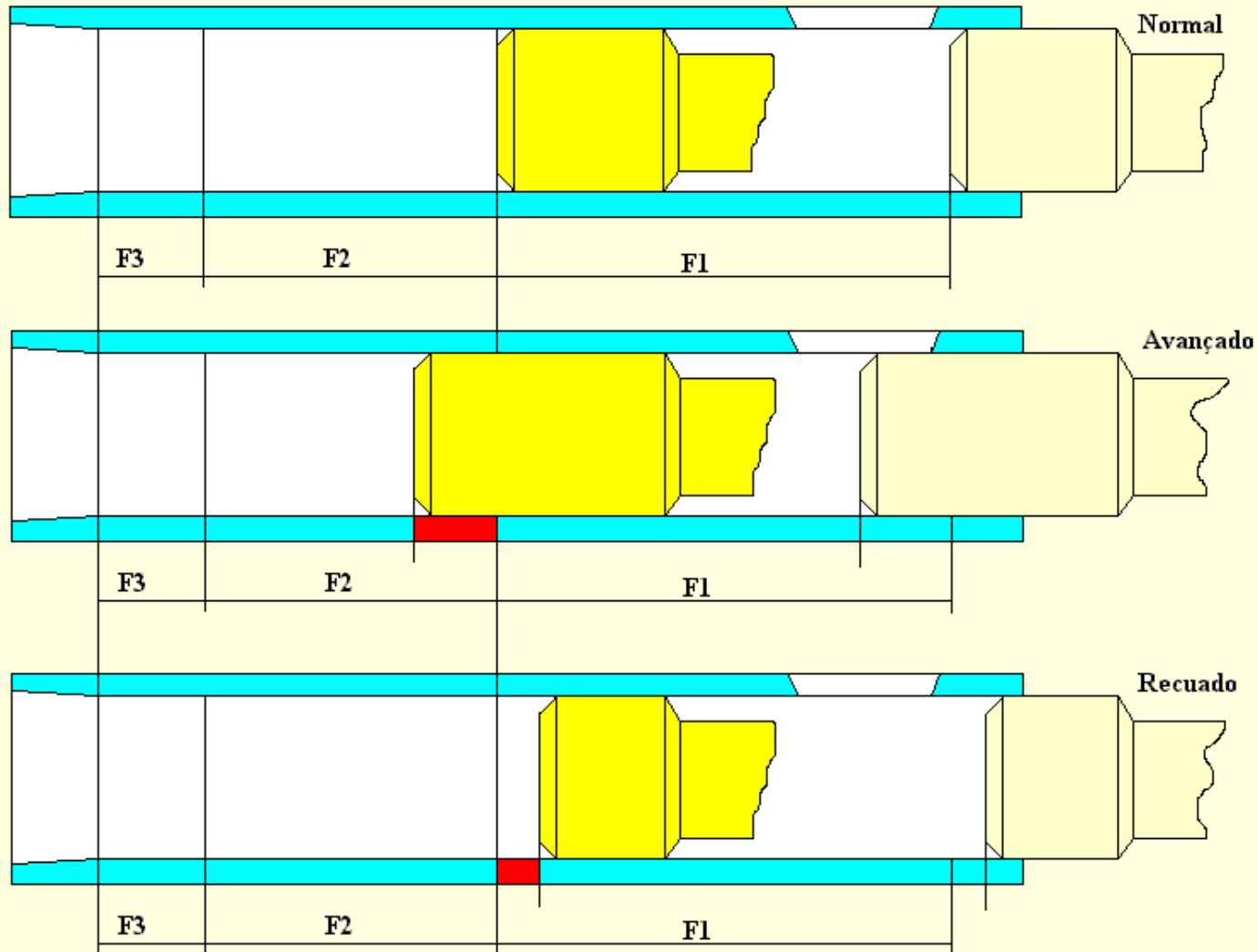
FASES DE INJEÇÃO – 1a FASE ERRADO



FASES DE INJEÇÃO – 1a FASE CORRETO



FASES DE INJEÇÃO – 1a FASE



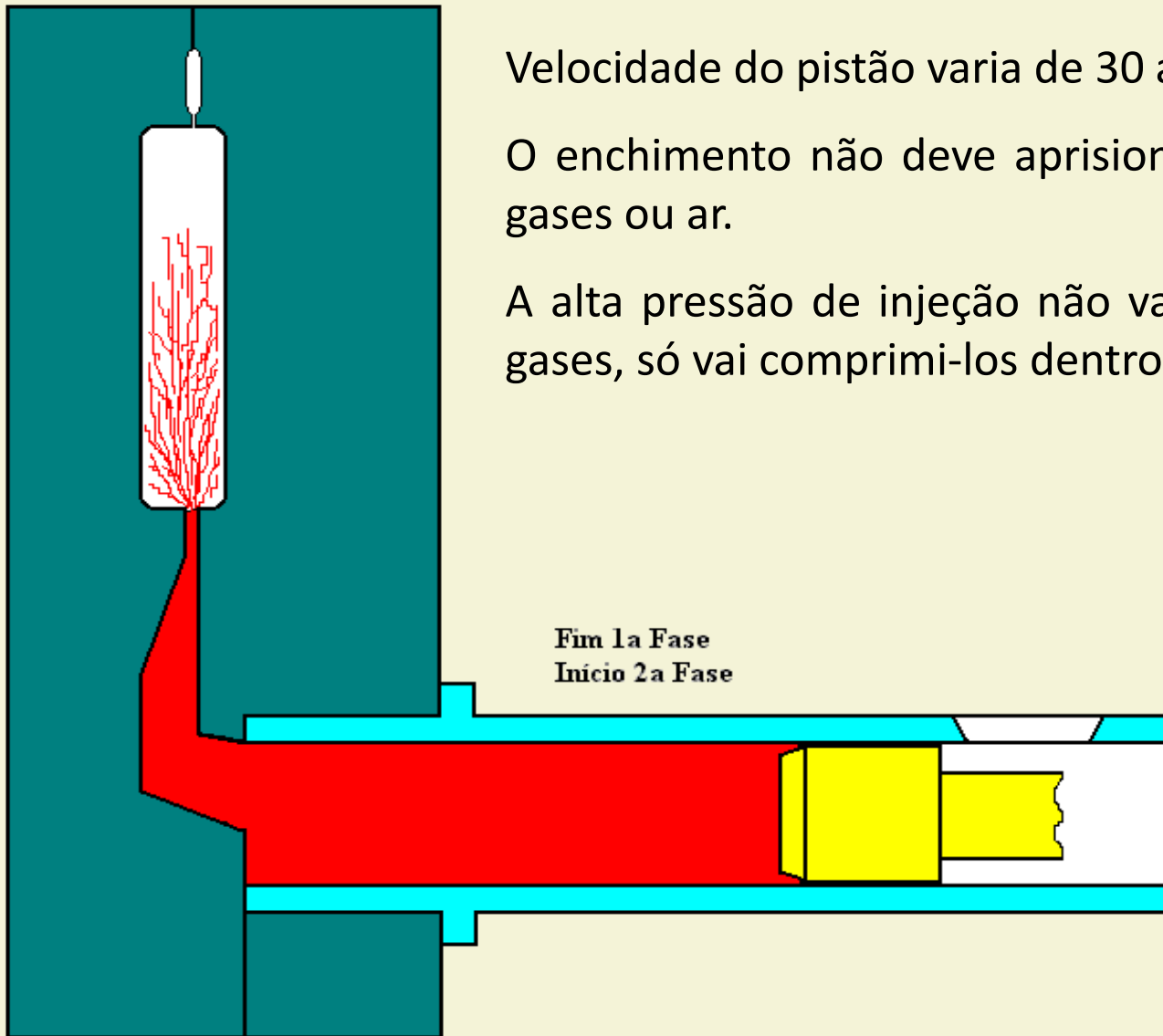
FASES DE INJEÇÃO – 2ª FASE

Enchimento do molde.

Velocidade do pistão varia de 30 a 60 m/s.

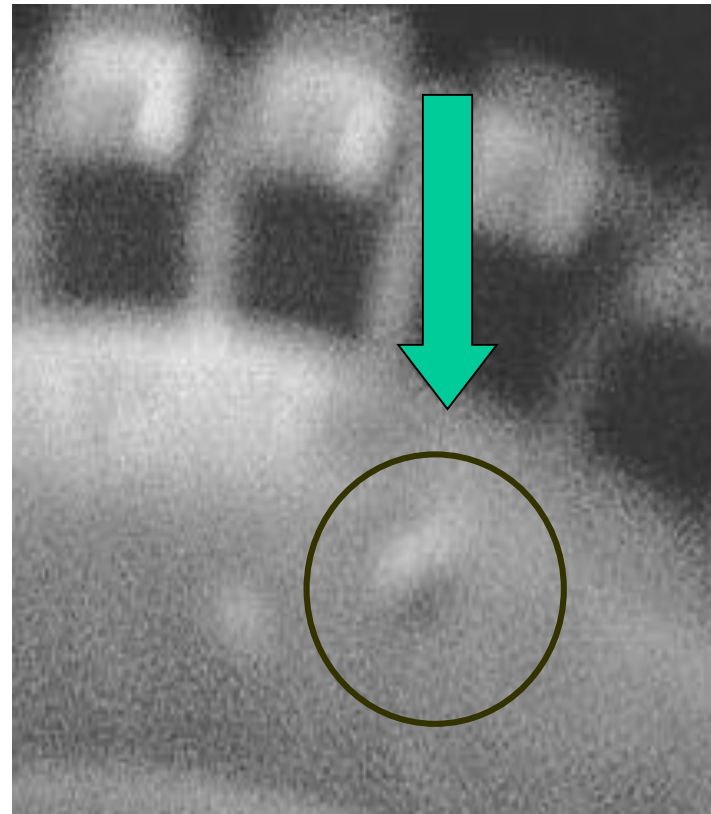
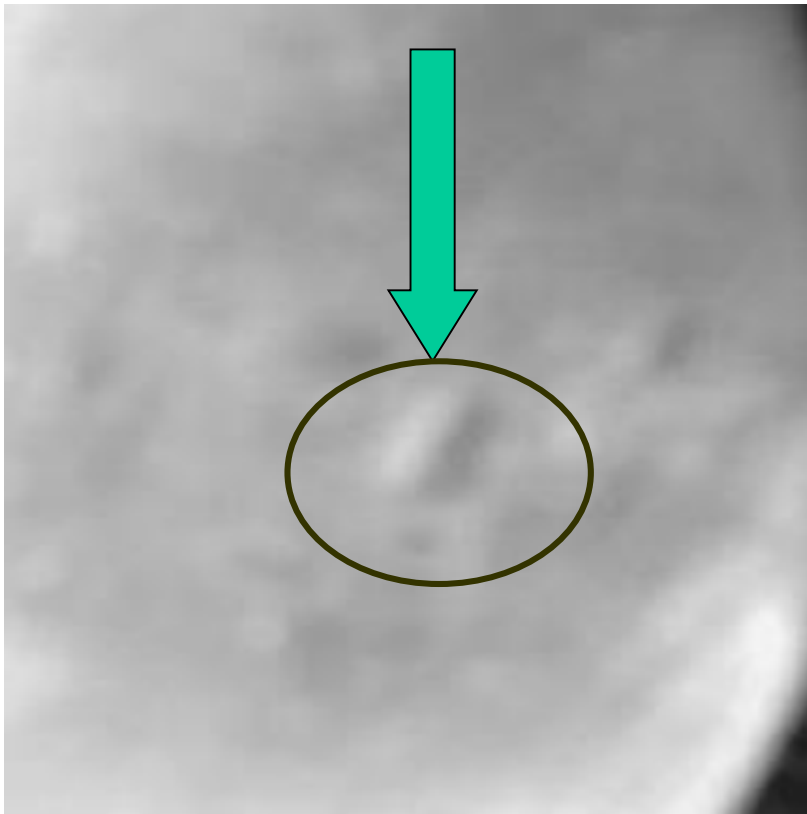
O enchimento não deve aprisionar bolhas de gases ou ar.

A alta pressão de injeção não vai expulsar os gases, só vai comprimi-los dentro da peça.

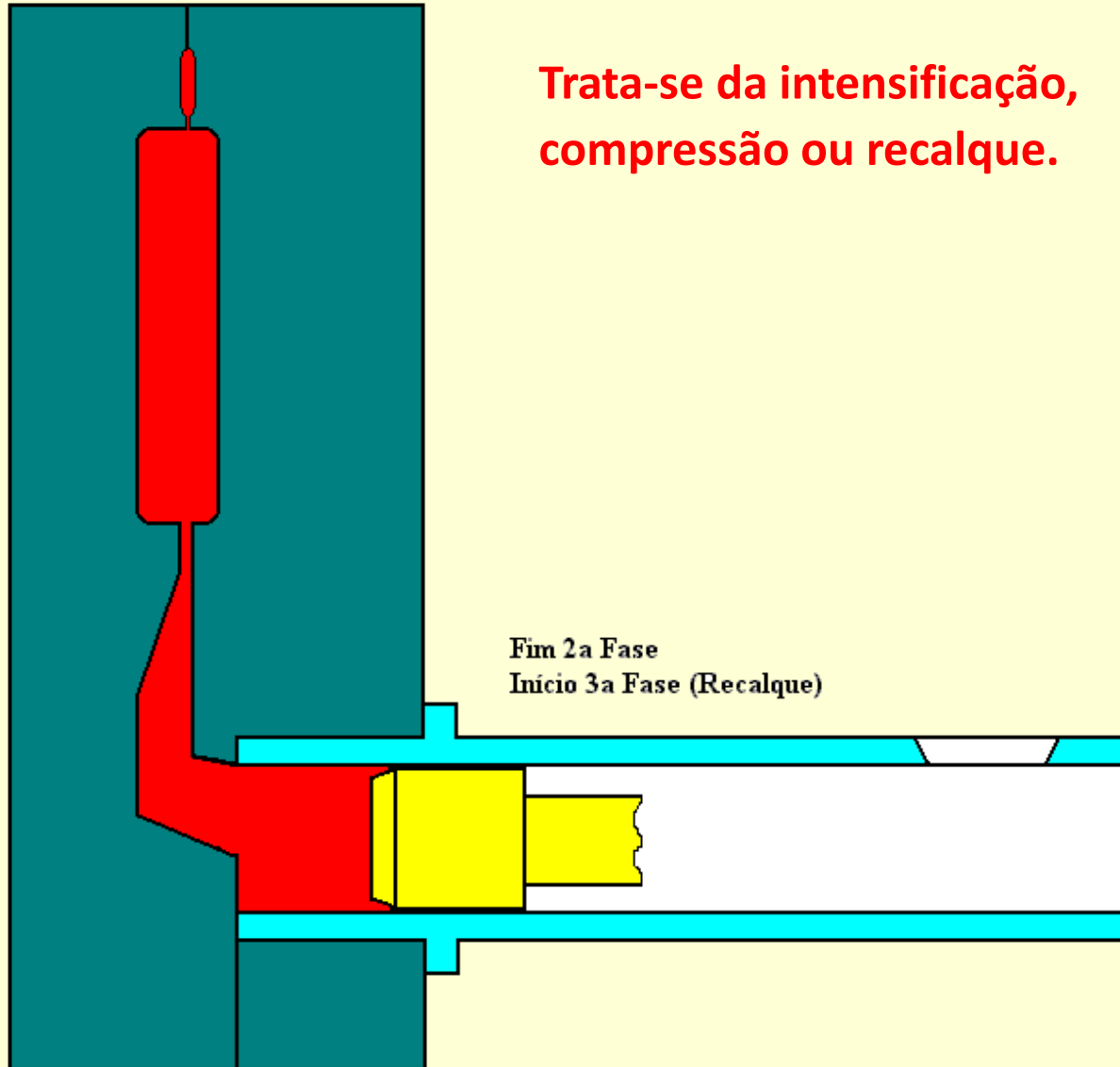


FASES DE INJEÇÃO – 2ª FASE

Se bolhas de ar ficarem presas no metal que está na câmara de injeção, elas irão fazer parte do metal durante a fase de enchimento, aquecimento da peça a 450°C por uma hora pode revelar a presença de ar aprisionado na peça.



FASES DE INJEÇÃO – 3a FASE



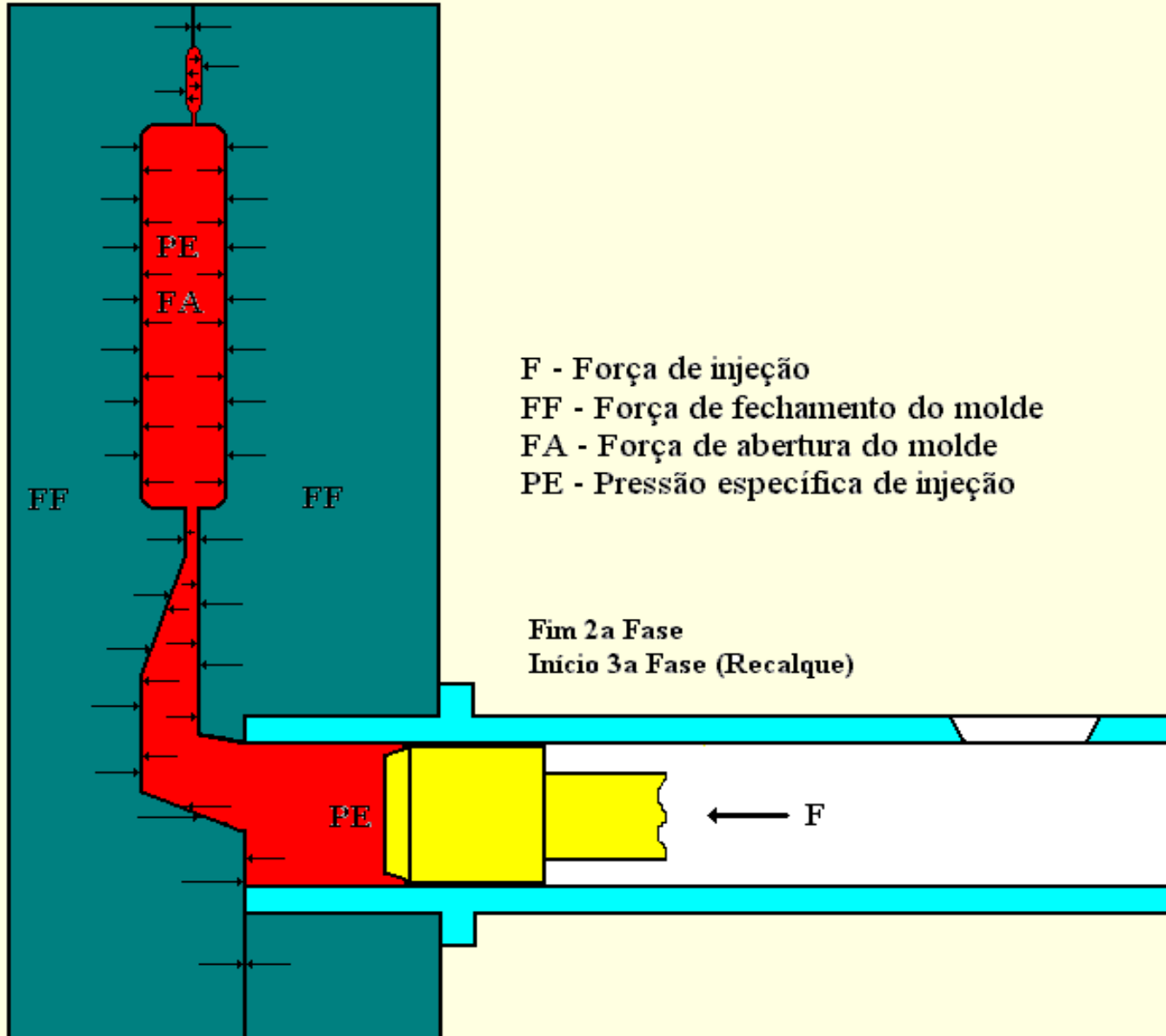
FASES DE INJEÇÃO – 3ª FASE

- **A terceira fase determina a força de injeção da máquina e a pressão específica de injeção.**
- É responsável pela compactação final do metal injetado imediatamente após a segunda fase de injeção, compensando a contração de metal, diminuindo a presença de porosidades.
- É utilizada em peças com paredes grossas e que sejam alimentadas por canais generosos a fim de permitir a transmissão de pressão.

FASES DE INJEÇÃO – 3ª FASE

- Geralmente a terceira fase é empregada em peças que exigem estanqueidade.
- Em ligas eutéicas é mais difícil o recalque, não existe a zona pastosa comum das ligas hipoeutéicas.
- O recalque é mais indicado para peças com secções mais espessas, efeito de massalote.
- Caso não haja a fase de recalque a espessura do biscoito pode ser menor.

FORÇAS NO MOLDE



FORÇAS NO MOLDE

FORÇA DE INJEÇÃO – F

$$F = PO (\pi D^2/4) (\text{kg})$$

PO = Pressão do óleo hidráulico (kg/cm²)

D = Diâmetro do pistão hidráulico (cm)

FORÇAS NO MOLDE

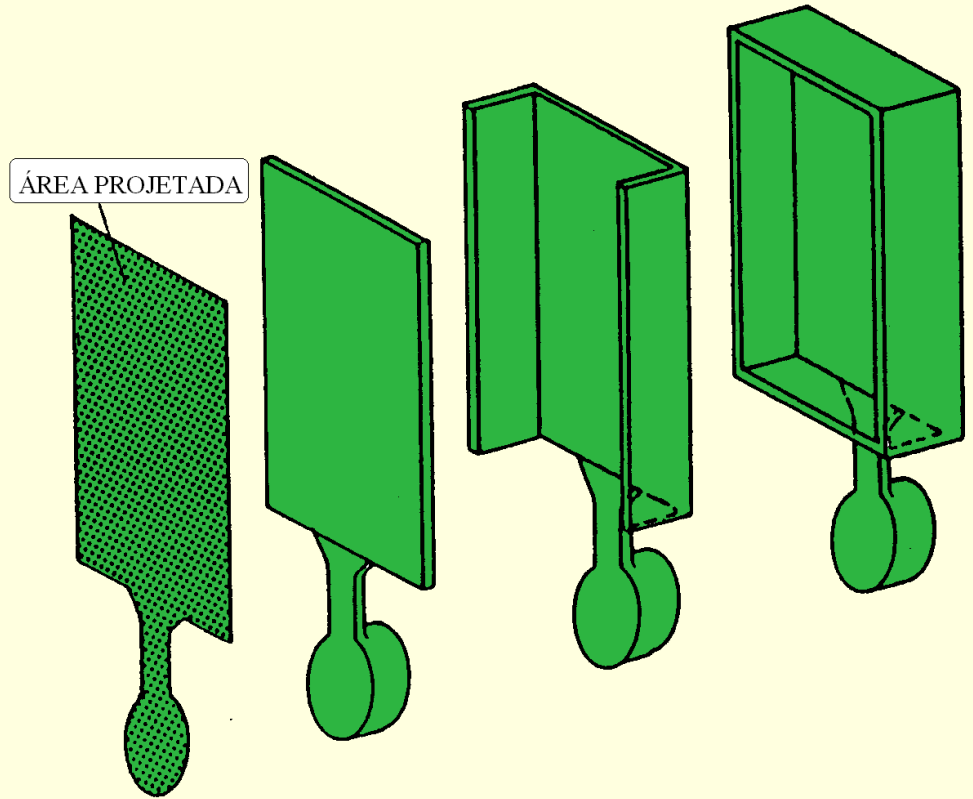
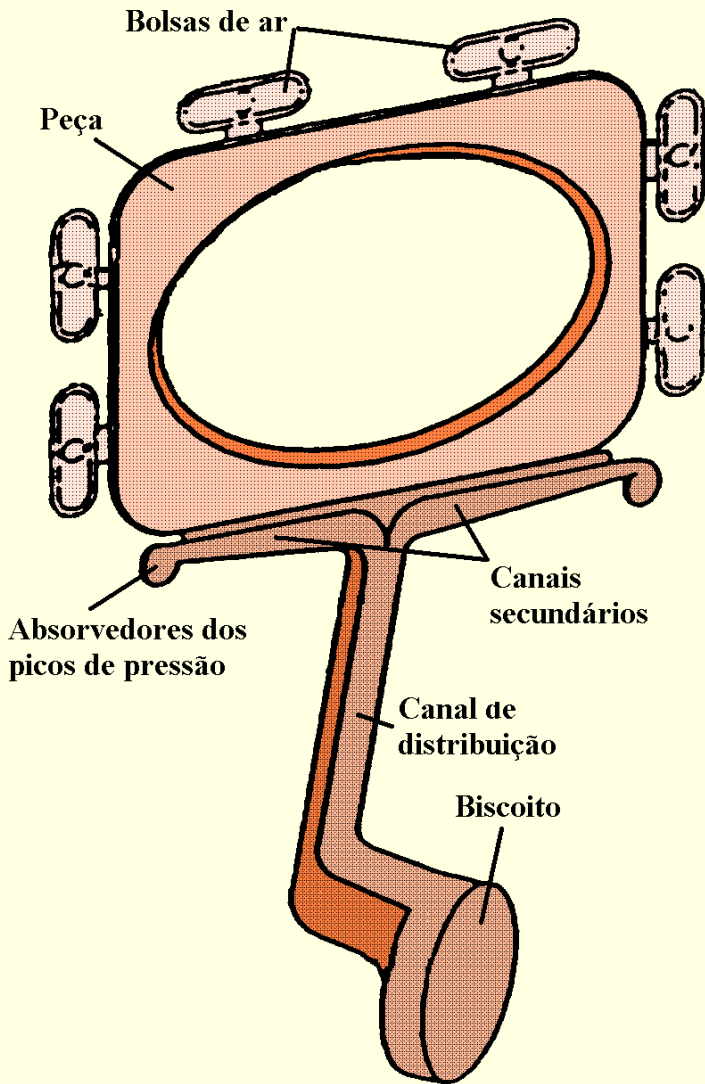
PRESSÃO ESPECÍFICA DE INJEÇÃO – PE

$$PE = F/(\pi.d^2/4) \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

F = Força de injeção (kg)

d = Diâmetro do pistão de injeção (cm)

FORÇAS NO MOLDE



FORÇAS NO MOLDE

FORÇA DE ABERTURA DO MOLDE – FA

$$FA = PE \cdot AP \text{ (kg)}$$

PE = Pressão específica de injeção (kg/cm²)

AP = Área projetada (cm²)

FORÇAS NO MOLDE

FORÇA DE FECHAMENTO DO MOLDE – FF

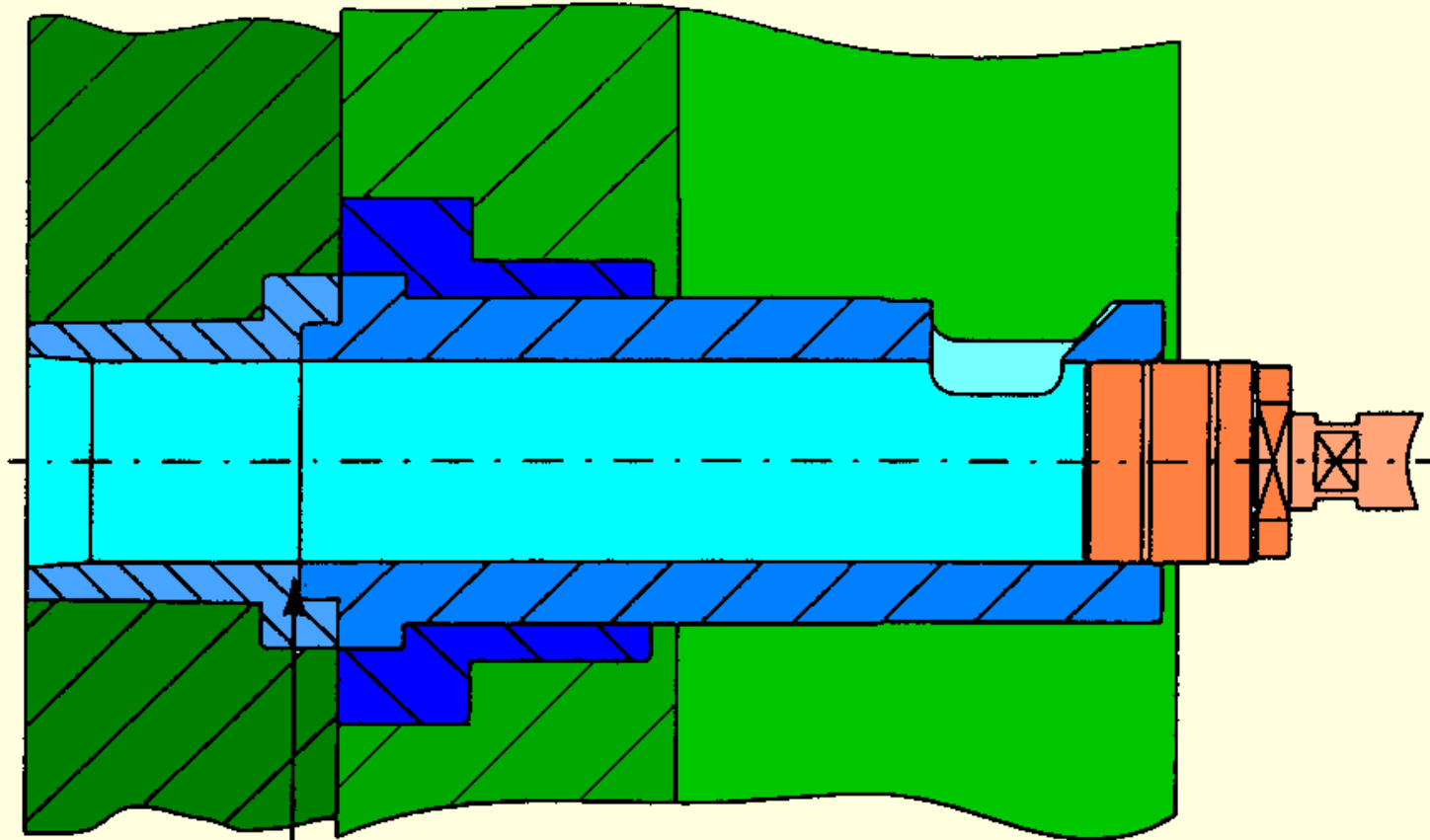
$$FF = FA \cdot CS \text{ (kg)}$$

FA = Força de abertura do molde (kg)

CS = Coeficiente de segurança = 1,2

SISTEMA DE ENCHIMENTO

CAMISA DA CÂMARA DE INJEÇÃO EM DUAS PARTES

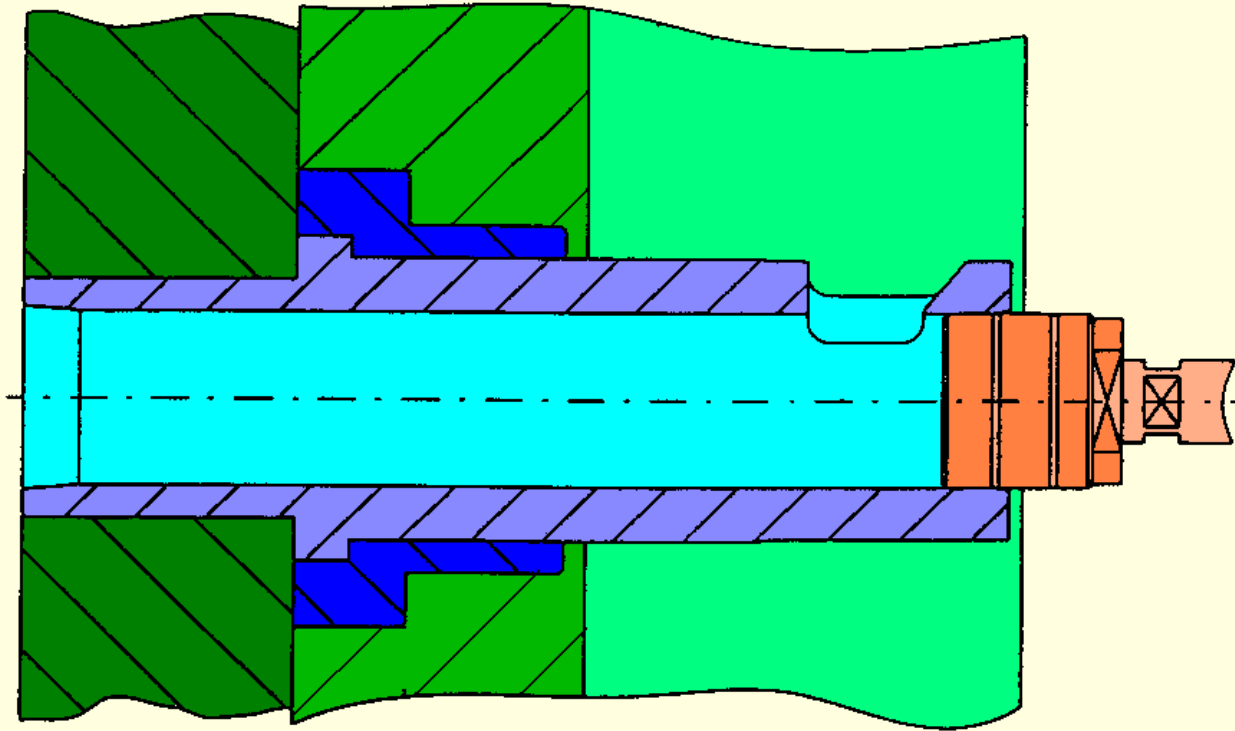


Advantages:
Low cost, easy to set up

Drawback:
Discontinuity between sleeve and sprue bush

SISTEMA DE ENCHIMENTO

CAMISA DA CÂMARA DE INJEÇÃO CONTÍNUA



Advantage:

There is less wear, since there are no transitions.

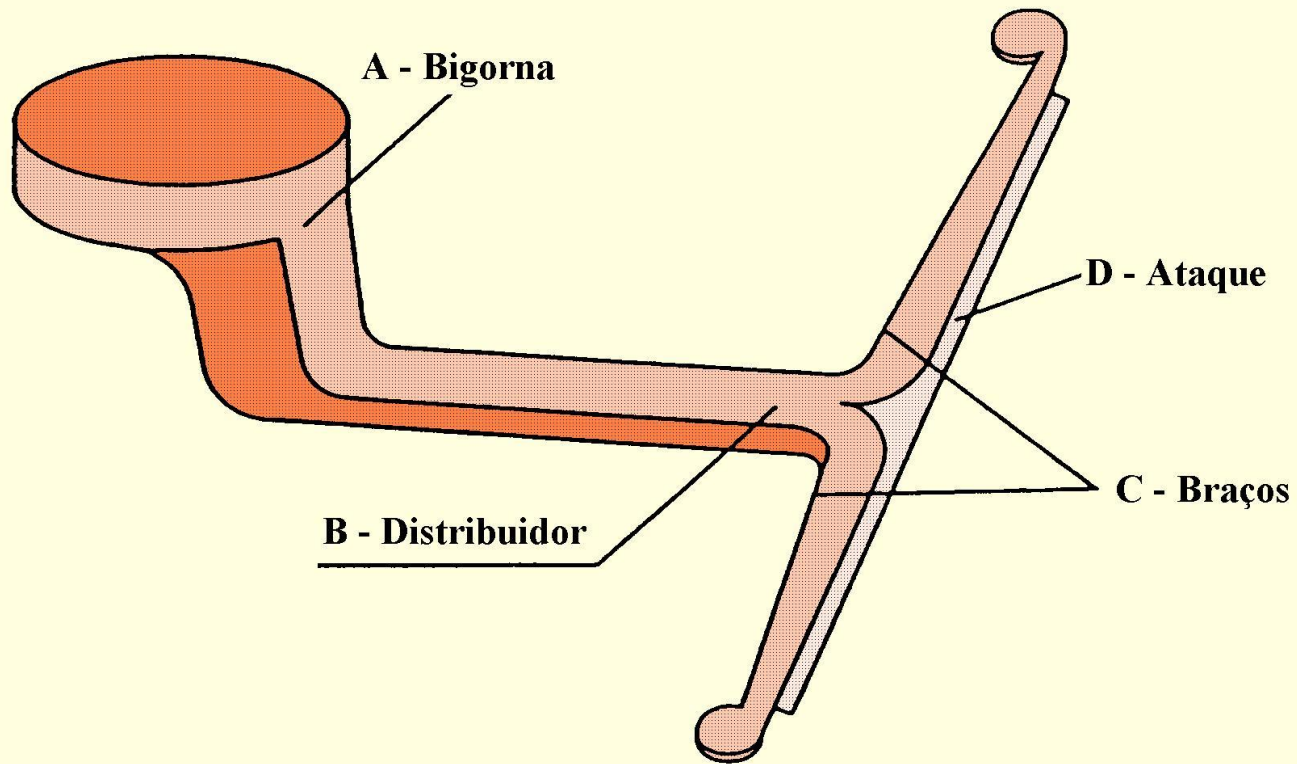
Drawbacks:

The component parts are expensive (a complete continuous sleeve is required for each tool.)

More difficult to set up.

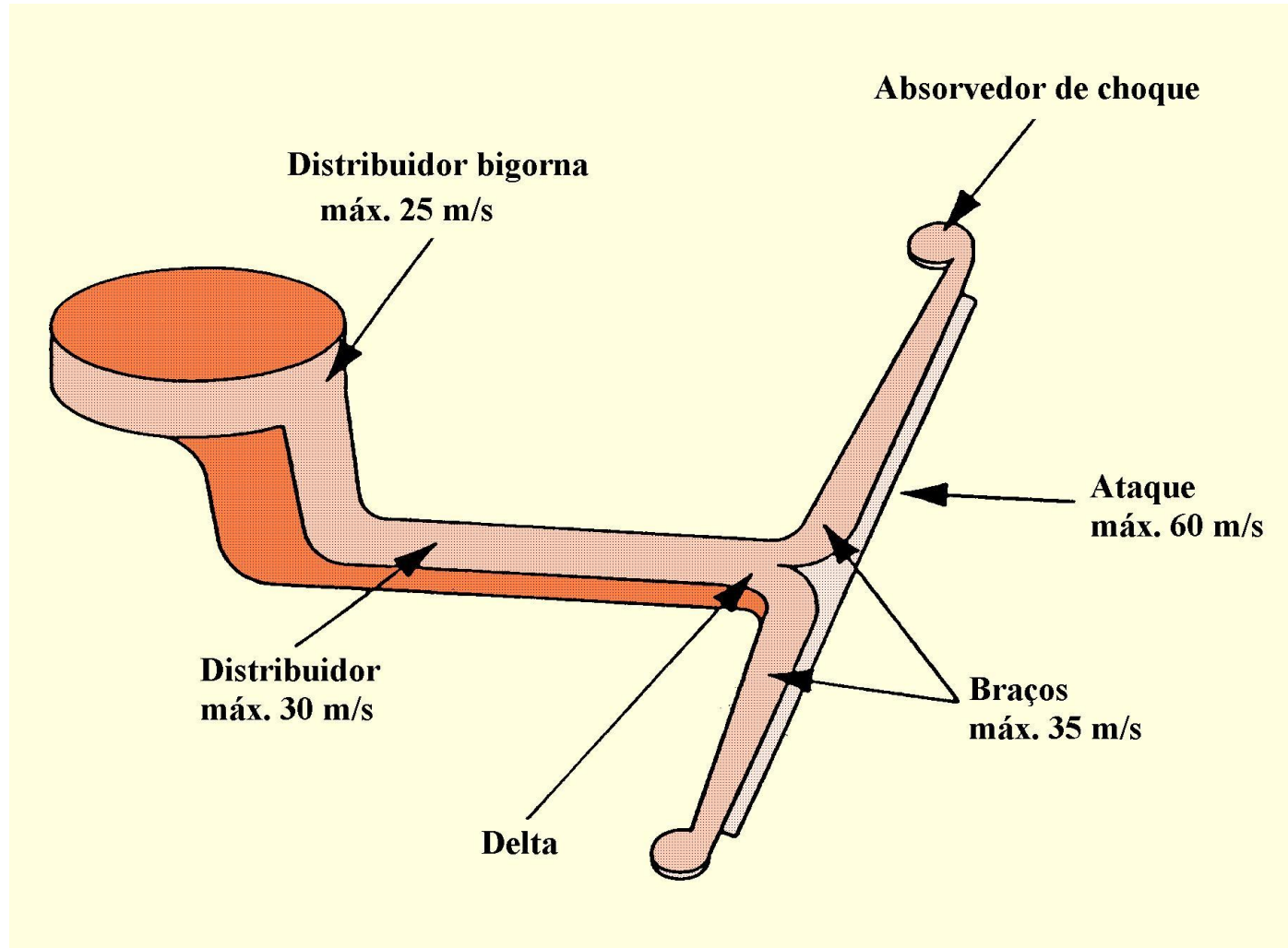
SISTEMA DE ENCHIMENTO

SUBDIVISÕES DO SISTEMA DE ENCHIMENTO



SISTEMA DE ENCHIMENTO

VELOCIDADES NO SISTEMA DE ENCHIMENTO



SISTEMA DE ENCHIMENTO

VELOCIDADES NOS ATAQUES

Relação entre a espessura de parede da peça e a velocidade de enchimento segundo a SDCE (Society Die Cast Engineer).

ESPESSURA DA PEÇA (mm)	VELOCIDADE NO ATAQUE (m/s)
0,762	46 a 55
1,270 a 1,525	43 a 52
1,905 a 2,286	40 – 49
2,540 a 2,794	37 a 46
2,858 a 3,810	34 a 43
4,560 a 5,080	31 a 40
6,350	28 a 35

SISTEMA DE ENCHIMENTO

ORIENTAÇÕES: FORMATO PARA OS CANAIS

Unfavourable for
flow



flat

- large surface
- high heat loss
- high flow resistance

Optimal for
flow



round

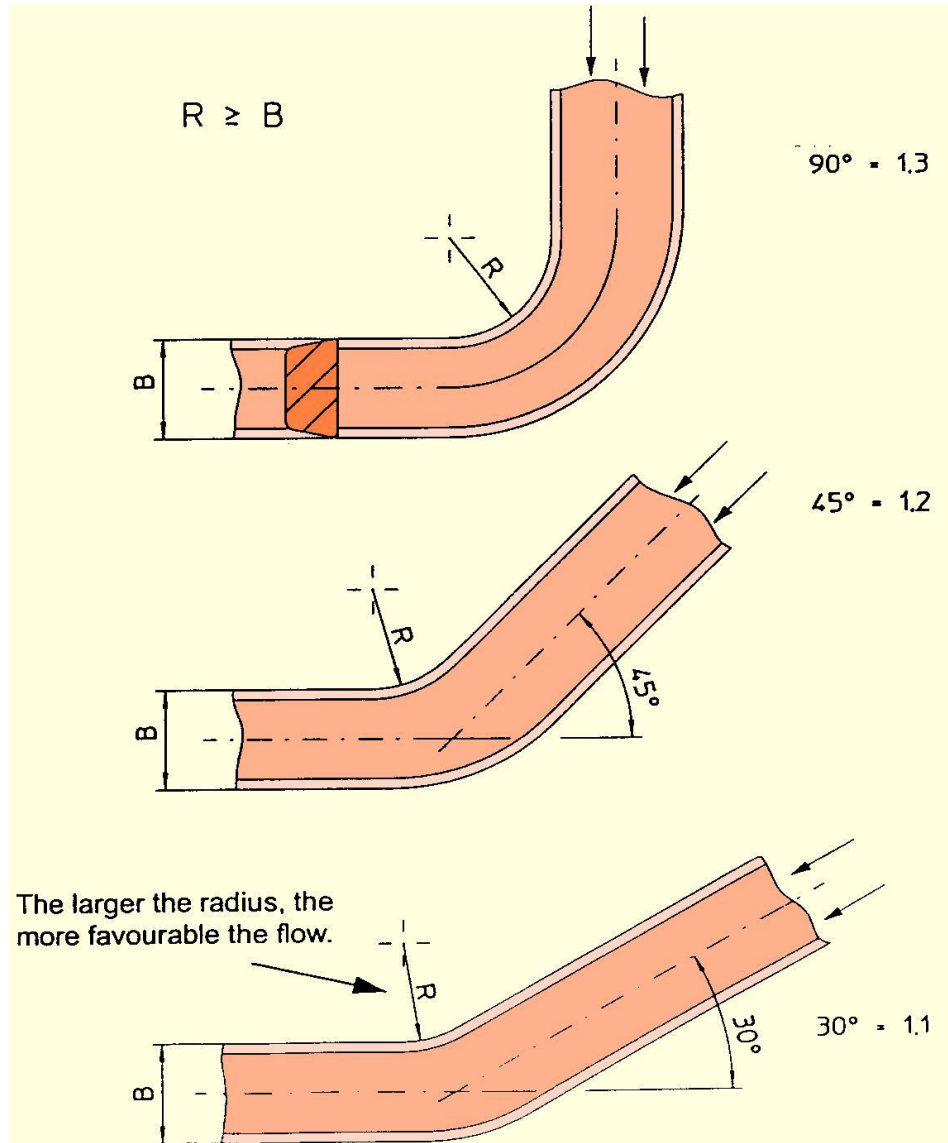
Optimal for
flow and production



trapezoidal

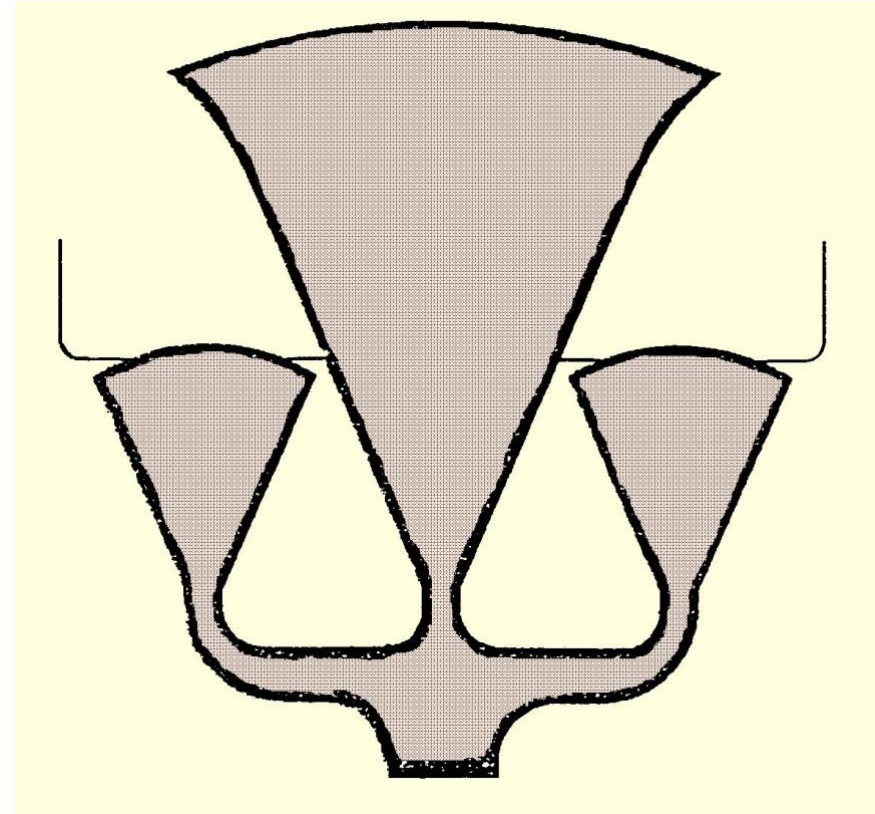
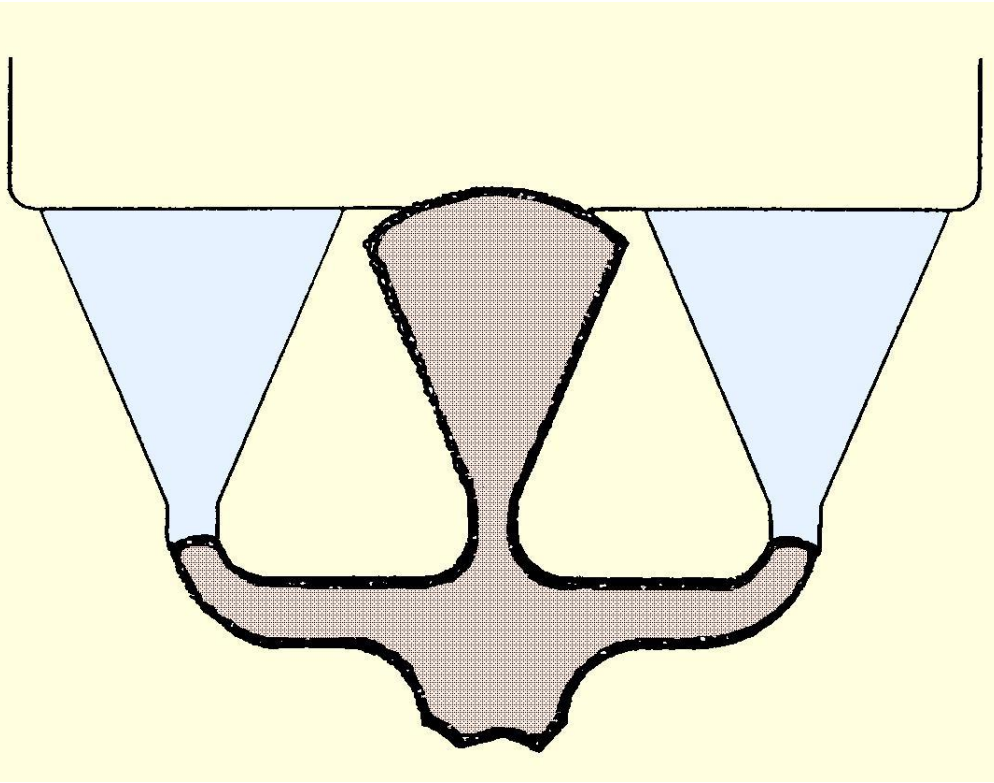
SISTEMA DE ENCHIMENTO

ORIENTAÇÕES PARA REDUÇÃO DE SECÇÃO EM FUNÇÃO DE MUDANÇA DE DIREÇÃO DOS CANAIS



SISTEMA DE ENCHIMENTO

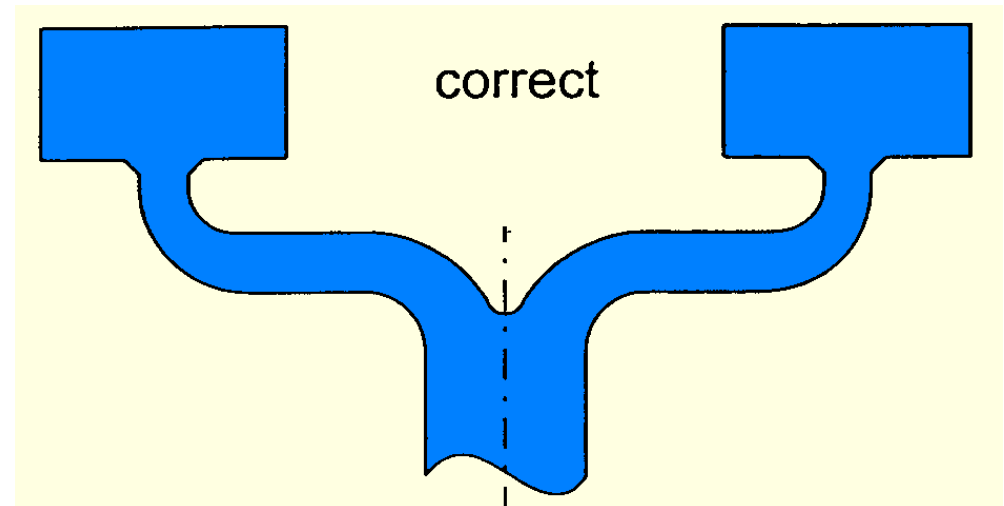
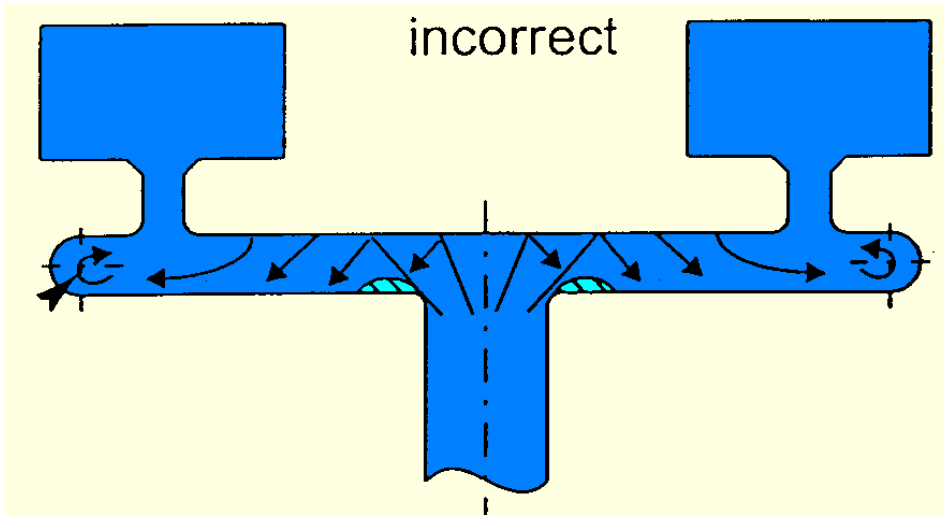
ORIENTAÇÕES PARA OS CANAIS



Os braços laterais serão enchidos somente quando ocorrer uma pressão no meio do leque.

SISTEMA DE ENCHIMENTO

ORIENTAÇÕES PARA OS CANAIS



SISTEMA DE ENCHIMENTO - DIMENSIONAMENTO

CALCULO DA SECÇÃO DE ATAQUE – A

$$A = \frac{P}{t \cdot v \cdot d} \quad (\text{cm}^2)$$

A = área da secção do ataque (cm²)

P = peso do metal que vai passar no ataque (g)

t = tempo de enchimento da cavidade (s)

v = velocidade do metal no canal de ataque (cm/s)

d = densidade do metal líquido (g/cm³)

SISTEMA DE ENCHIMENTO - DIMENSIONAMENTO

Densidade de varias ligas no estado liquido

LIGAS	DENSIDADE (g/cm ³)
Zinco	6,2
Alumínio	2,4
Magnésio	1,6
Chumbo	10,3
Latão	7,7
Estanho	6,6

SISTEMA DE ENCHIMENTO - DIMENSIONAMENTO

RECOMENDAÇÕES PARA O ATAQUE

L – Comprimento do ataque - 1,5 a 2,0 mm

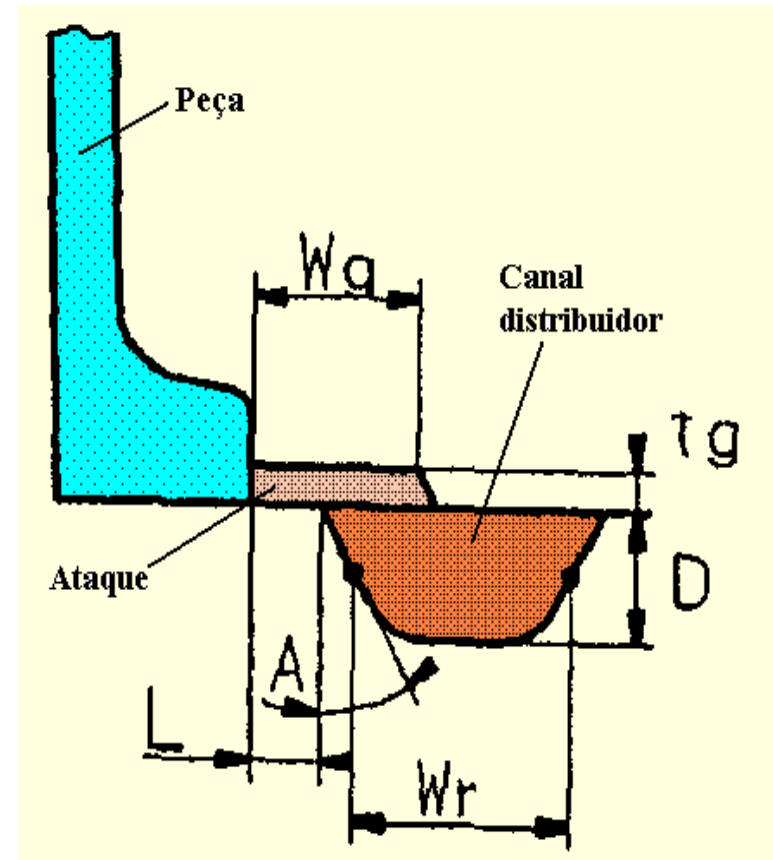
A – Ângulo de alimentação - 30° a 60°

tg – Espessura do canal de ataque

wg – Comprimento total do canal de ataque
- $L + 2$ a 5 mm

D – Profundidade do canal de distribuição
- 5 a 15 mm

Wr – Largura do canal de distribuição - 5 a 5D



SISTEMA DE ENCHIMENTO - DIMENSIONAMENTO

RECOMENDAÇÕES PARA O ATAQUE

Orientação quanto a espessura do canal de ataque em relação a espessura da peça na região onde vai o ataque.

ESPESSURA DA PEÇA (mm)	tg (mm)
2,0	1,8 a 2,0
2,5	1,8 a 2,0
3,0	2,0 a 2,5
3,5	2,5 a 3,0
4,0	3,0 a 4,0

Posicionar os ataques preferencialmente em local que vai ser usinado e que proporcione fluxo que facilite o enchimento da cavidade.

SISTEMA DE ENCHIMENTO - DIMENSIONAMENTO

TEMPO DE ENCHIMENTO

$$t = 0,0063 \cdot e^2$$

$$t = 0,0047 \cdot e^2 \text{ (para peças finas)}$$

$$t = 0,0051 \cdot e^2 \text{ (para peças grossas)}$$

$$t = 0,01 \text{ a } 0,02 \cdot e^2$$

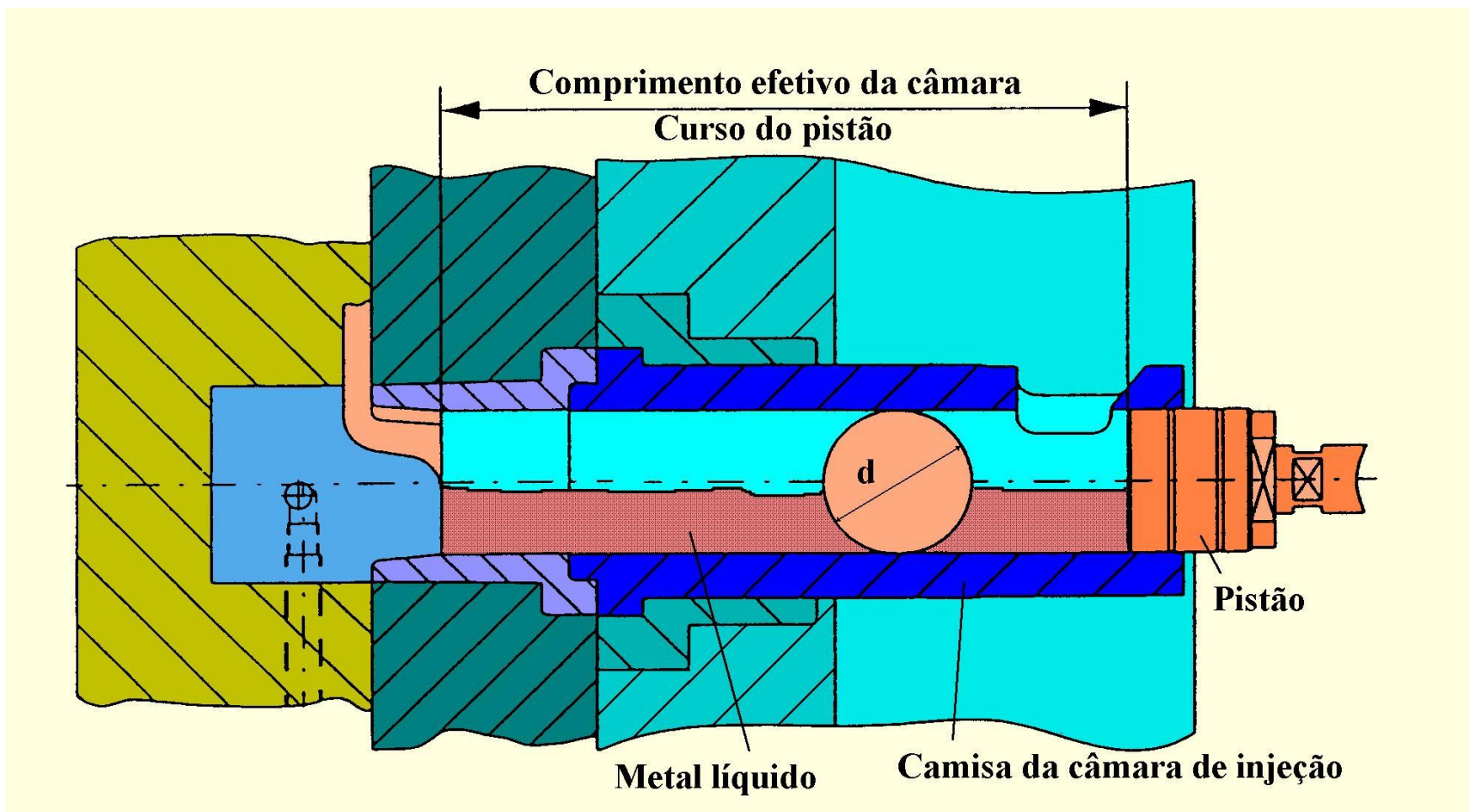
$$t = 0,013 \cdot e^2$$

ESPESSURA (mm)	TEMPO (s)
1,5	0,01 a 0,03
1,8	0,02 a 0,04
2,0	0,02 a 0,06
2,3	0,03 a 0,07
2,5	0,04 a 0,09
3,0	0,05 a 0,10
3,8	0,05 a 0,12
5,0	0,06 a 0,20
6,4	0,08 a 0,30

ESPESSURA (mm)	TEMPO (s)
0,90	0,012 a 0,017
1,30	0,017 a 0,025
1,80	0,026 a 0,038
2,50	0,035 a 0,050
3,20	0,042 a 0,060
3,50	0,055 a 0,085
4,00	0,080 a 0,115
4,50	0,110 a 0,140

SISTEMA DE ENCHIMENTO

TAXA DE OCUPAÇÃO DA CÂMARA DE INJEÇÃO - TOCI



Vol. câmara de injeção – VCI (cm³).....100 (%)

Vol. De metal a ser injetado – VMI (cm³).....TOCI (%)

BOLSAS DE AR

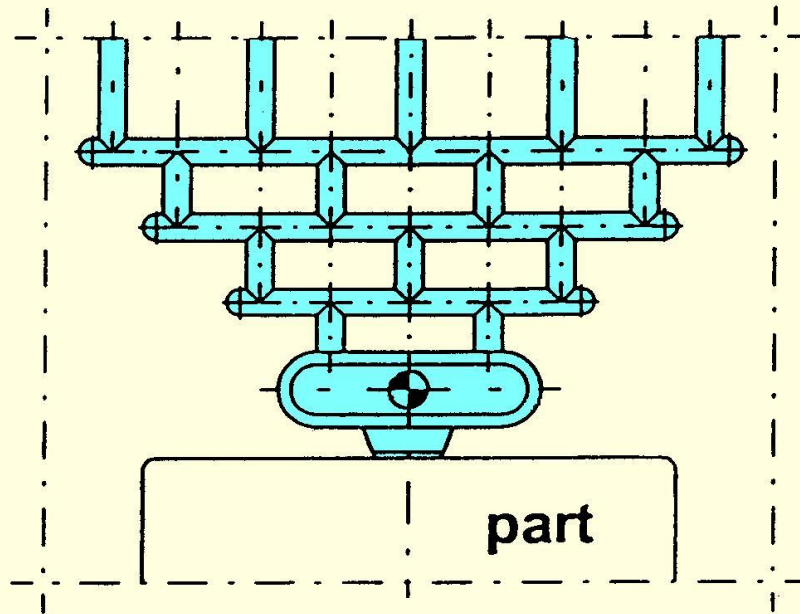
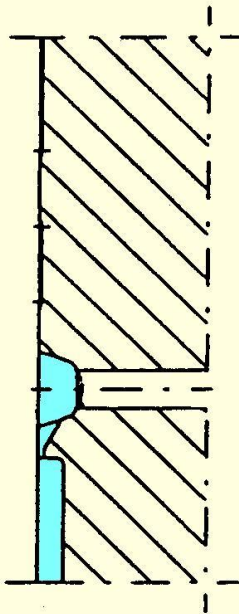
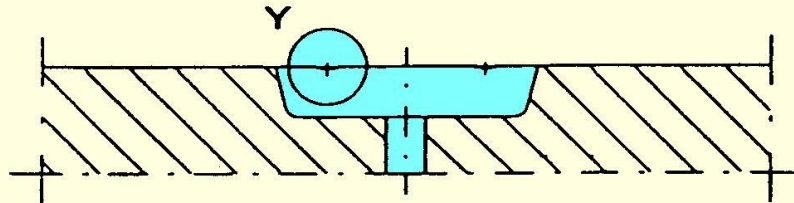
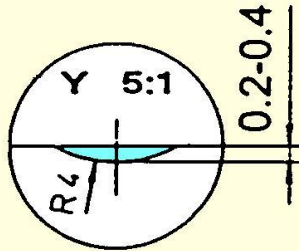
Também são conhecidas como “overflows”, são ligadas as peças por um canal fino. Estas bolsas de ar servem para acumular de uma forma rápida o ar que vai ser expulso da cavidade do molde durante o enchimento do mesmo.

Recomendações para as saídas de ar.

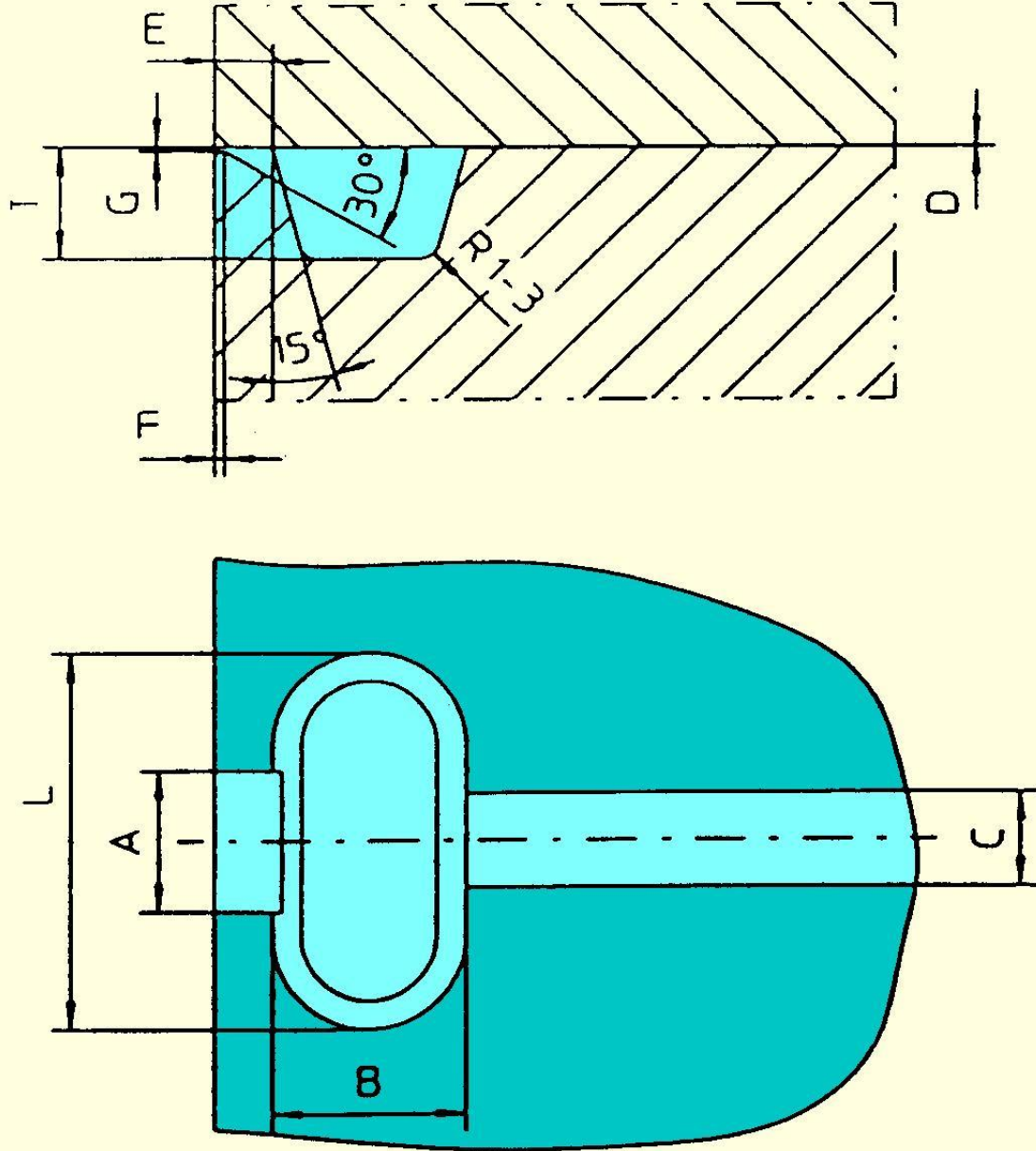
	Alumínio	Magnésio
Espessura do canal (mm)	0,6 a 1,0	0,6 a 1,0
Espessura da ventilação com 6 a 10 mm de largura (mm)	0,06 a 0,1	0,06 a 0,1
Espessura da ventilação (meander) (mm)	0,2 a 0,4	0,2

BOLSAS DE AR E SAÍDAS

Meander ventilation



BOLSAS DE AR



BOLSAS DE AR

Referência de dimensões que orienta o dimensionamento da bolsa de ar.

Tamanho	1	2	3	4	5	6	7
Volume (cm ³)	4,7	3,2	2,1	0,87	0,5	0,4	0,17
T	12	10	8	6	5	4	3
L	40	36	32	24	20	16	12
A	Cerca de 10 a 20% do canal de ataque da peça						
B	20	18	16	12	10	8	6
C	8 a 20						
D	Al = 0,1 a 0,15 mm Zn = 0,06 a 0,1 mm						
E	3 a 8 mm						
F	0,5 a 1 mm						
G	Al = 0,6 a 1,2 mm Zn = 0,3 a 0,8 mm						

BIBLIOGRAFIA

ALAR – The Association of Light Alloy Refiners, British and European Aluminium Casting Alloys, Birmingham, 1996.

AFS – The American Foundrymen’s Society, Aluminum Casting Technology – 2nd Edition, Des Plaines, Illinois, 1993.

Oskar Frech GmbH + Co., D-73614 Schorndorf, Seminar on Die Casting, 2000.

ASM – American Society for Metals, Metals Handbook 8th edition, vol. 5, Forging and Casting, Metals Park, Ohio, 1970.

L. K. MACHINERY – Cold Chamber Die Casting Machine, Instruction Manual, Model DCC 280E AB PLC, Hong Kong.

L. K. MACHINERY – Cold Chamber Die Casting Machine, Catálogo nº E01/006, Hong Kong.

WEG – Injeção de Alumínio, Módulo II, Máquinas de Injeção Sob Pressão.

CETEF – Centro Tecnológico de Fundição Marcelino Corradi, Teoria Fundamental do Processo de Fundição Sob Pressão, Itaúna – MG.

CETEF – Centro Tecnológico de Fundição Marcelino Corradi, Fundição Sob Pressão – Tecnologia, 03/2000, Itaúna – MG.