

FERROS FUNDIDOS MALEAVEIS

Manoel A. Moraes (1)

Renato Refinetti (2)

INFORMAÇÕES GERAIS

O ferro fundido maleável apresenta-se como um estágio intermediário na escala de propriedades físicas entre o ferro fundido e o aço.

De uma maneira geral são produzidos em dois tipos principais:

1 — Ferro Maleável europeu ou de núcleo branco.

2 — Ferro Maleável americano ou de núcleo preto.

O produto americano é superior ao europeu em ductilidade, pode ser fundido em seções mais pesadas e apresenta-se com dureza Brinell mais baixa.

Para ambos os tipos o processo de fabricação se dá em 2 fases:

1 — Na primeira funde-se a peça com material branco, duro e quebradiço.

2 — Na segunda, trata-se este material em fornos especiais segundo ciclos determinados.

E' condição indispensável que o material apresente a composição química adequada ao tratamento a que vai ser submetido.

Para realização do produto tem-se que encarar as seguintes condições:

1 — MOLDAGEM.

2 — FUNDIÇÃO.

3 — ESTUDO TEÓRICO DA MALEABILIZAÇÃO.

4 — CICLO DE RECOZIMENTO.

5 — FORNOS DE RECOZIMENTO.

(1) e (2) — Engs. da Divisão de Metalurgia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo.

1 — MOLDAGEM

Considerando o caso dos ferros maleáveis em particular, segundo um critério de produção, cumpre destacar os seguintes itens:

- a) Areia.
- b) Fluidez e Retração.
- c) Sistema de alimentação.
- d) Placas.

a) AREIA

- 1 — Areia de moldagem.
- 2 — Areia de machos.

1 — *Areia de moldagem*

Em geral as peças em ferro maleável não devem ultrapassar 25mm de espessura, o que condiciona pesos relativamente pequenos.

Dietert aconselha para moldagem areias sintéticas com as seguintes características:

Peças finas:

Umidade	6 a 8%
Permeabilidade	20 a 30
Compressão a verde	6,5 a 7,5 lbs/pol ²
Argila	8 a 13
Finura	120 a 92
Ponto de sinterização	2500° F

Peças grossas:

Umidade	5,5 a 7,5%
Permeabilidade	40 a 60
Compressão a verde	6,5 a 7,5 lbs/pol ²
Argila	8 a 13
Finura	85 a 70
Ponto de sinterização	2500° F

São dadas abaixo duas análises granulométricas de areias usadas para ferro maleável:

Paneiras	Tipo A	Tipo B
10	—	0,11
20	0,04	0,00
30	2,80	0,60
40	6,08	1,71
50	22,60	6,69
60	22,60	14,50
70	3,40	16,74
80	28,28	27,34
90	8,32	20,08
100	1,20	7,73
200	3,40	9,32
Fundos	0,96	0,29
Porcentagem retirada	76,88	73,66
Bentonita	3%	3%
Carvão em pó Cardiff	2%	3%
Umidade	4-4,5%	4-4,5%

Estas areias utilizadas sem carvão não apresentaram bons resultados. Com adição de 2%, obteve-se bom acabamento superficial.

O uso da areia sintética permite obter os benefícios de uma alta permeabilidade, de um leve aumento de resistência à compressão a verde e de uma baixa umidade, ao lado de um melhor acabamento superficial.

2 — Areia de macho

Para os machos o módulo de finura da areia usada deve ser da ordem de 100 com distribuição granulométrica comparável com as seguintes:

MÓDULO DE FINURA

Peneira N.º	Porcentagem retida	
6	—	—
12	—	—
20	0,2	—
30	0,25	0,2
40	0,5	0,8
50	0,6	5,0
70	2,1	14,0
100	17,2	29,0
140	45,05	36,0
200	21,45	10,0
270	10,4	4,3
Fundo	1,0	0,3
Argila A. F. A. %	1,25	0,7
Classe de argila A. F. A.	B	B
Módulo de finura A. F. A.	114	90
Classe de grão A. F. A.	3	4
Permeabilidade	37	45

A finura deverá variar de acôrdo com o tamanho da peça.

Para os machos a distribuição granulametrica da areia deverá ser tal que pelo menos 75% dos grãos estejam retidos em 3 peneiras consecutivas.

A forma do grão deverá ser de redondos para sub-angulares, pois não se tem necessidade de grandes resistências, mas sim de boa permeabilidade e bom acabamento.

As areias para macho, necessitando alta colapsibilidade, devem conter ligadores tipos cereal. Assim é comum o uso de relações de 0,75 a 1,25% dêste ligador ao lado de óleos de milho ou linhaça na relação de 80 para 1 em pêso.

A umidade, nos casos gerais de trabalho em bancada, varia de 4 a 6%.

Após a confecção, os machos são secos em estufas, para garantir o controle perfeito da umidade.

b) FLUIDEZ E RETRAÇÃO

O ferro fundido branco apresenta-se com baixa fluidez e alto coeficiente de retração, fatores êstes muito nocivos as características de moldabilidade.

1) FLUIDEZ

A fluidez é definida como a propriedade que o metal apresenta em fluir (correr) livremente e encher inteiramente as cavidades do molde.

O estudo, desta propriedade, é feito com o auxílio da placa espiral. Como logo resulta da observação do processo utilizado, a fluidez é diretamente proporcional ao comprimento da espiral medido em cms. ou polegadas. Figs. 1 e 2 e 2a e 2b.

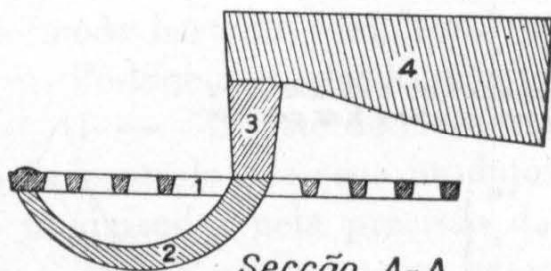
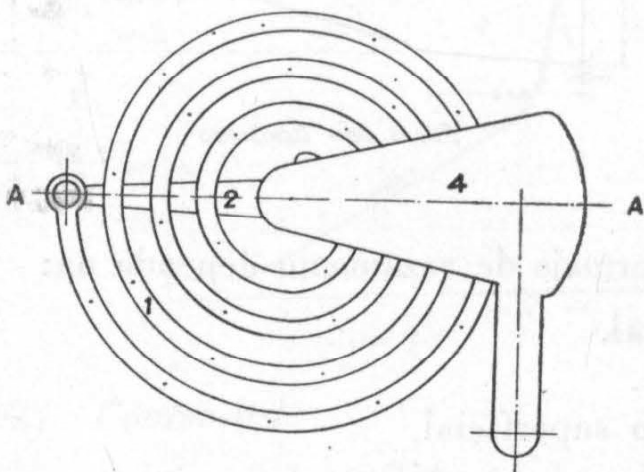
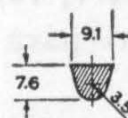
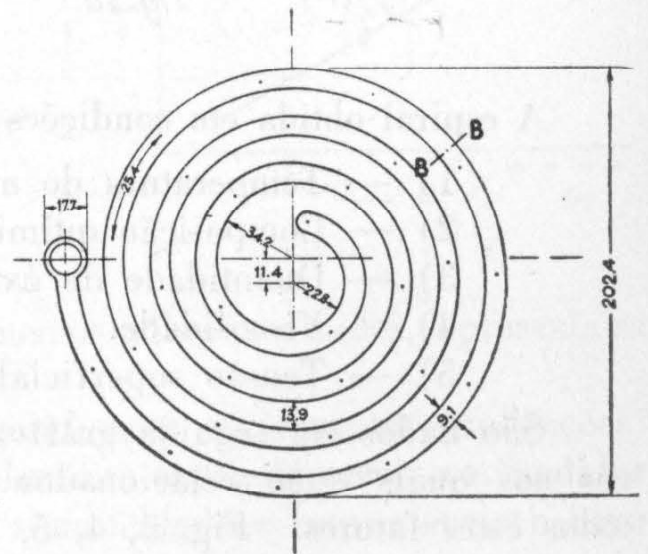


Fig. 1

- 1 - Espiral
- 2 - Canal em chifre
- 3 - Canal inferior
- 4 - Bacia com descanso



Secção -"BB"

Espirai para medida de fluidez

Fig. 2

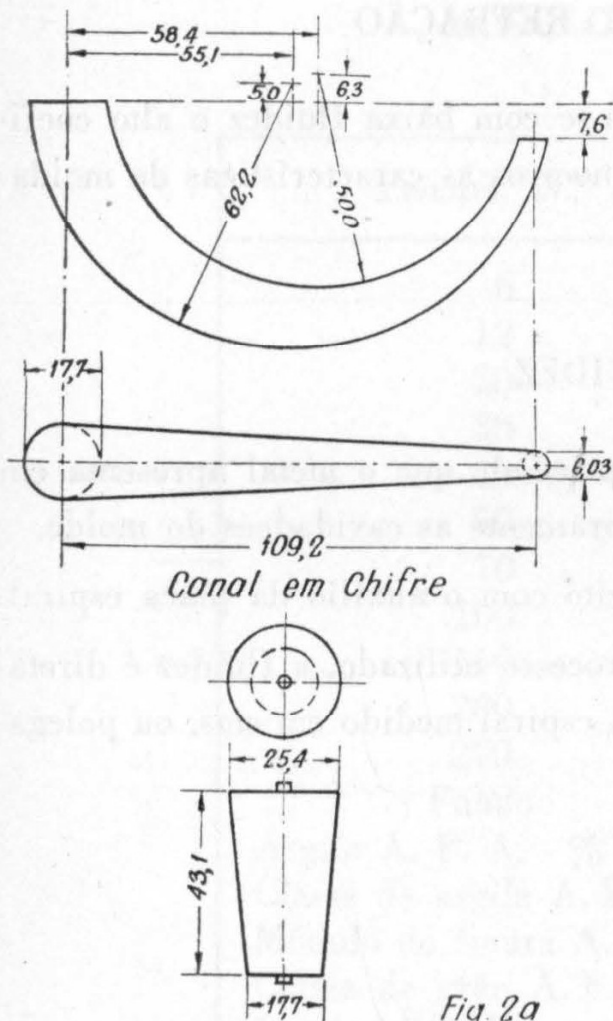
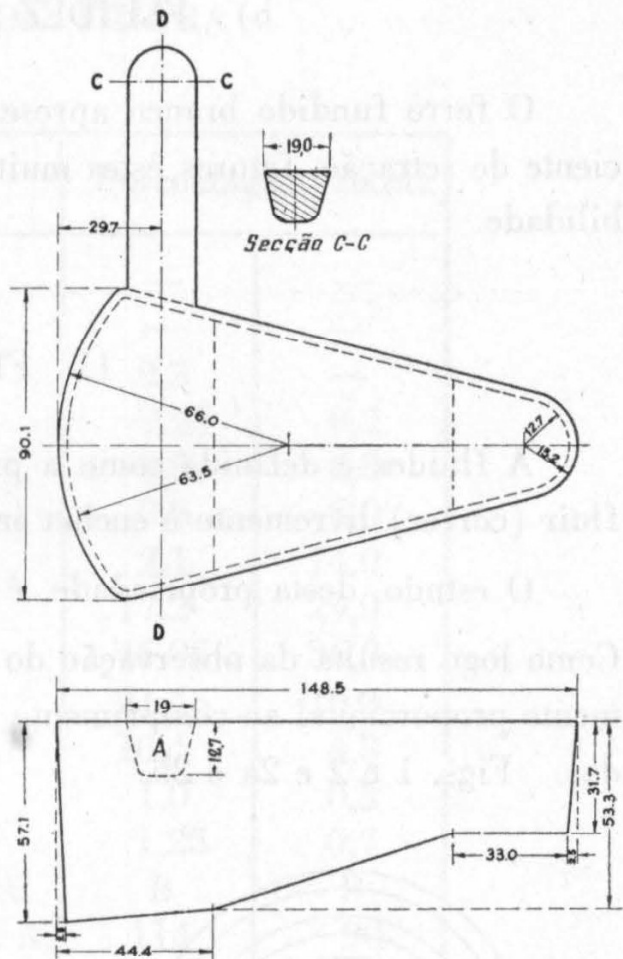


Fig. 2a



Bacia com Descanso

Fig. 2B

A espiral obtida em condições normais de vazamento depende da:

- 1) — Temperatura do metal.
- 2) — Composição química.
- 3) — Quantidade de óxido superficial.
- 4) — Viscosidade.
- 5) — Tensão superficial.

São dados em seguida gráficos nos quais estão relacionados todos êstes fatores. Fig. 3, 4, 5, 6 e 7. As figs. 4, 5, 6, 7, foram tiradas da fig. 3, apenas para facilitar a consulta.

A enumeração dêstes fatores autoriza a considerar como errônea a idéia e conseqüente avaliação da fluidez pelo inverso da viscosidade.

DIAGRAMA MOSTRANDO A RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA, FLUIDEZ E % DE CARBONO

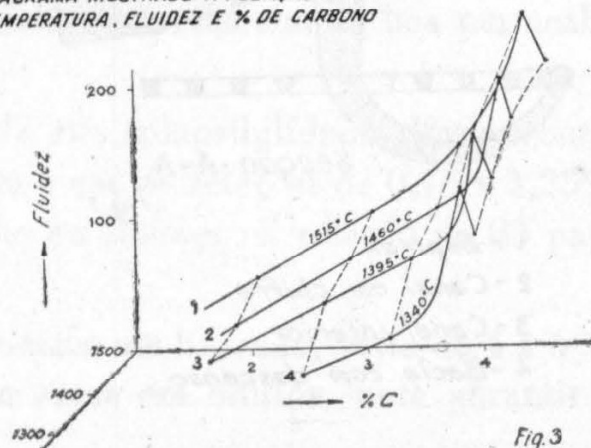
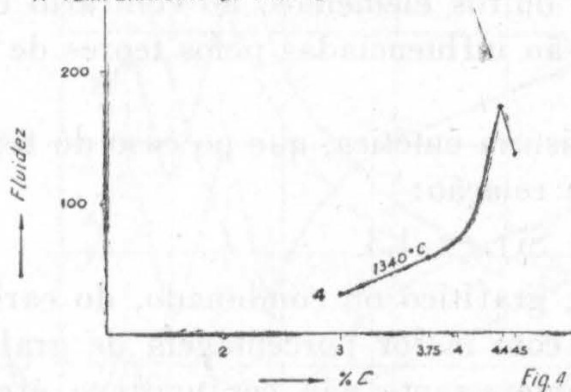
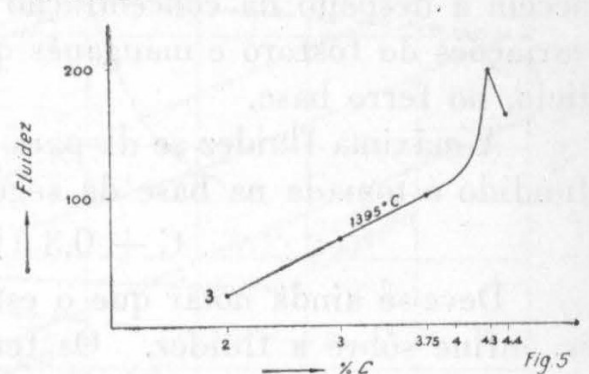
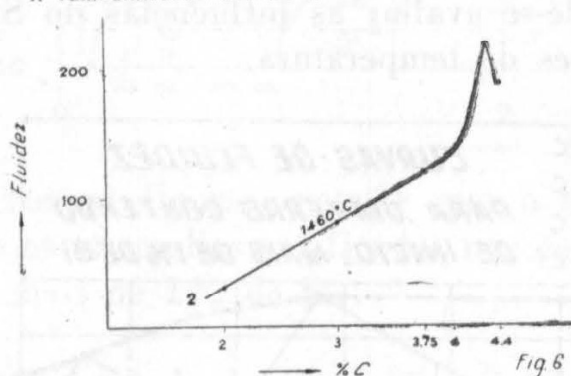
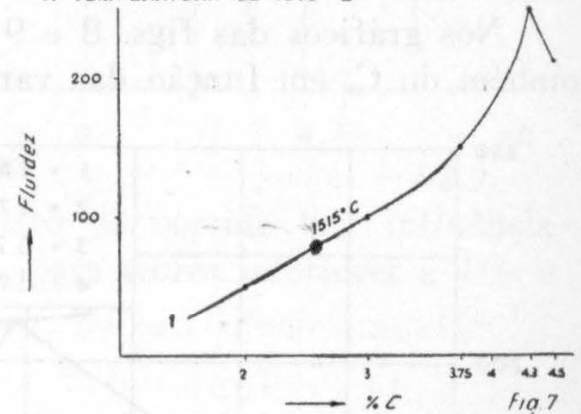


Fig. 3

1) *Temperatura*

E' o fator que mais afeta a fluidez. Quando se funde ferro branco, se tem que apelar para as altas temperaturas de vazamento (1 500°C ou seja 2640° F) no sentido de obter fluidez suficiente para enchimento das peças.

CURVA DE FLUIDEZ EM FUNÇÃO DE C PARA
A TEMPERATURA DE 1340°CCURVA DE FLUIDEZ EM FUNÇÃO DE C PARA
A TEMPERATURA DE 1395°CCURVA DE FLUIDEZ EM FUNÇÃO DE C PARA
A TEMPERATURA DE 1460°CCURVA DE FLUIDEZ EM FUNÇÃO DE C PARA
A TEMPERATURA DE 1515°C2) *Composição*

O estudo da influência dos elementos sôbre a fluidez, apresenta-se de modo bastante complexo.

Pode-se dar apenas uma idéia geral, com as seguintes explicações:

1 — O teste de fluidez é um elemento capaz de servir ao fundidor para controle dos seus produtos pela simplicidade e conveniência e para o pesquisador pela precisão da medida que pode fornecer.

2 — Para os que se interessam pelo estudo dos ferros, se pode formular a seguinte lei geral:

As misturas eutéticas são aquelas que possuem maior fluidez e assim fornecem as peças mais perfeitas. Si se considerar sômente as ligas hipoeutéticas, por serem as mais usadas, é possível dizer que o elemento regulador da fluidez é o carbono, em seguida o fósforo e em certos casos (abaixo de 1%) o silício.

O manganês apresenta pouca influência. A quantidade e direção de sua influência é essencialmente função da composição do metal considerado.

3 — As barras para teste de fluidez têm permitido o alcance de certos fenômenos até agora desconhecidos.

Com relação as anomalias do silício, deve-se notar que elas permanecem a despeito da concentração dos outros elementos, ao contrário das variações do fósforo e manganês que são influenciadas pelos teores de silício, no ferro base.

A máxima fluidez se dá para a mistura eutética, que no caso do ferro fundido é tomada na base da seguinte relação:

$$C + 0,3 (P + Si) = 4,3$$

Deve-se ainda notar que o estado, grafítico ou combinado, do carbono influe sobre a fluidez. Os ferros com maior porcentagem de grafita apresentam mais baixa fluidez. É interessante não confundir o efeito do carbono grafítico diminuindo o fluidez, com o aumento causado nos ferros cinzentos, cuja análise satisfaz as condições do eutético.

Nos gráficos das figs. 8 e 9 pode-se avaliar as influências do Si e também do C, em função das variações de temperatura.

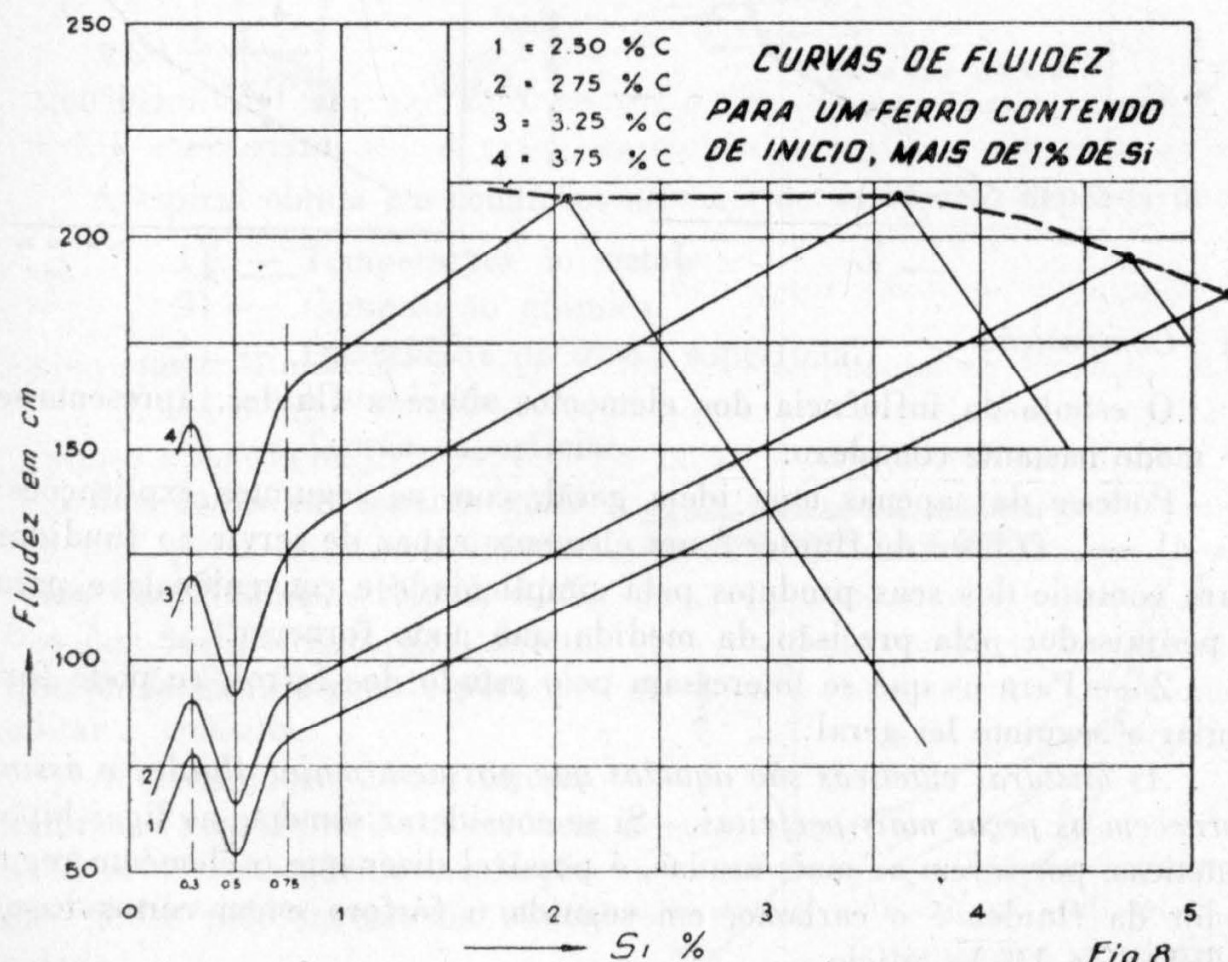
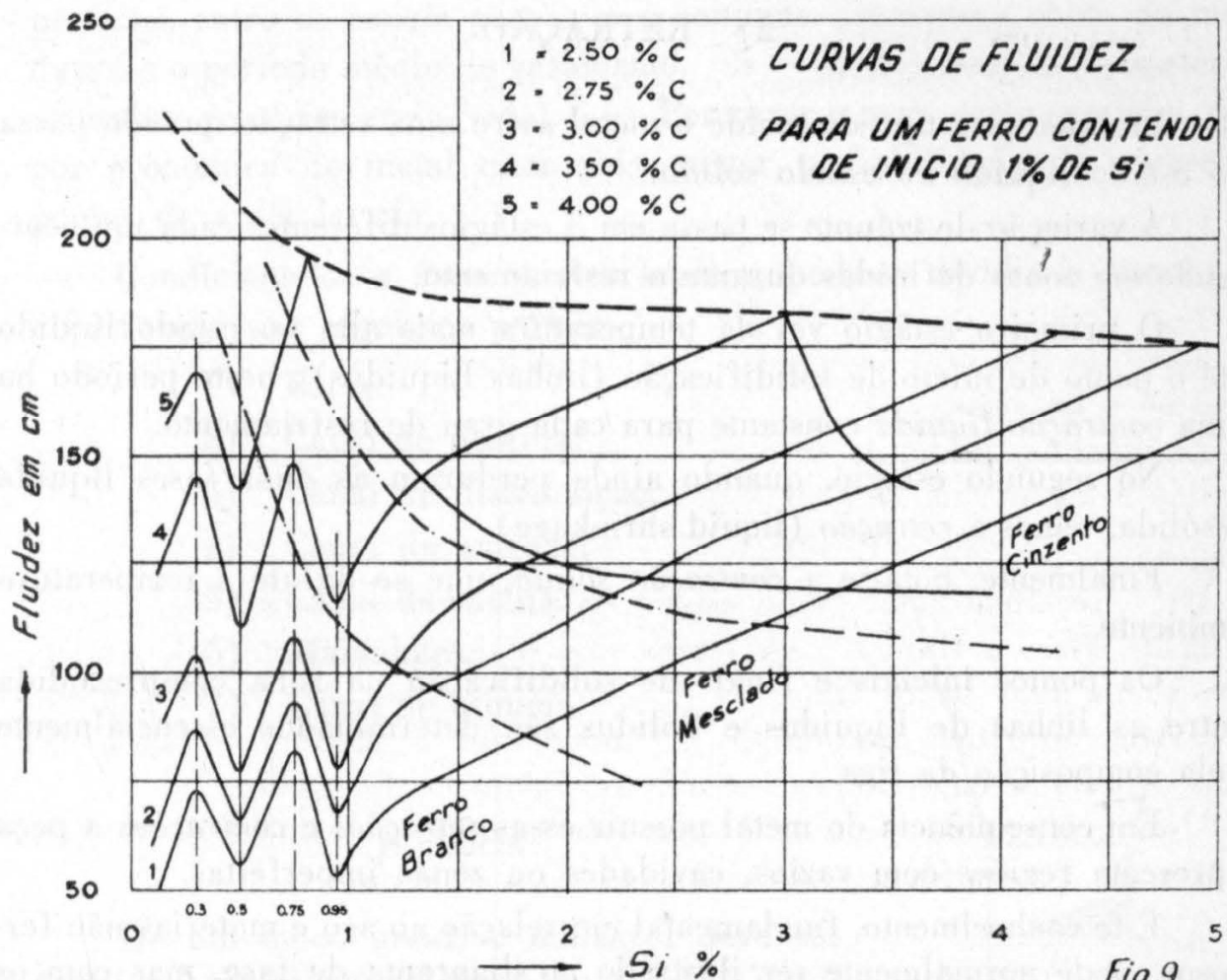


Fig. 8



Nessas figuras, nota-se que o histórico da corrida tem influência sobre as anomalias verificadas nas curvas, para teores inferiores a 1% e para mais de 1% de Si.

3) Quantidade de óxido superficial

A formação da camada superficial de óxido é um bom elemento para a avaliação visual do grau de temperatura em que se acha o metal.

A formação da película de óxido, retendo o metal, ao encher a espiral tal como uma tensão superficial, e conseqüentes rupturas dessa camada força a considera-la como fator importante na fluidez.

Esta película pode atingir espessuras que vedam o caminho do líquido diminuindo o número indicativo da fluidez. Em outros casos nota-se o rompimento desta camada a ponto de se observar um extravazamento do metal no fim da espiral.

4 e 5) Viscosidade e Tensão superficial

Êstes dois fatores têm pouca importância e podem ser considerados de influência constante.

2) RETRAÇÃO

Em qualquer tipo de molde o metal sofre uma retração quando passa do estado líquido ao estado sólido.

A variação de volume se passa em 3 estágios diferentes cada um ocorrendo em zonas definidas durante o resfriamento.

O primeiro estágio vai da temperatura mais alta no estado líquido até o ponto de início de solidificação (linhas Liquidus); neste período ha uma *contração líquida* constante para cada grau de resfriamento.

No segundo estágio, quando ainda perduram as duas fases líquida e sólida, temos a *retração* (liquid shrinkage).

Finalmente, nota-se a *contração sólida*, que se dá até a temperatura ambiente.

Os pontos iniciais e finais de solidificação na zona compreendida entre as linhas de Liquidus e Solidus são determinados essencialmente pela composição da liga.

Em conseqüência do metal possuir essas *retrações* e *contrações* a peça apresenta regiões com vazios, cavidades ou zonas imperfeitas.

Este conhecimento, fundamental em relação ao aço e materias não ferrosos, pode normalmente ser ilustrado no diagrama de fase, mas com os ferros brancos e cinzentos, com impurezas, (Mn, S, P) as indicações de seu comportamento somente poderão ser avaliadas como resultado de experiências em relação a casos particulares.

E' óbvio que as últimas porções e se solidificarem, não tendo onde encontrar metal adicional para alimentar-se, se apresentam com cavidades de retração (*Chupagem*).

Com o fim de atenuar ou mesmo promover o enchimento destas porções, é necessário o emprêgo de reservatórios de metal quente, externos a massa da peça. A estas porções alimentadoras se dá o nome de: canais de subida e massalotes.

c) SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

O sistema distributivo de metal deve ser encarado com o mesmo carinho com que o foi o projeto das peças. Devendo o ferro passar através desses canais, êles devem ser condicionados a excercer as suas funções, isto é: 1 — Alimentar. 2 — Distribuir o ferro pelos pontos mais inacessíveis do molde. 3 — Não provocar turbilhões. 4 — Apresentar relações

perfeitas entre os canais para que o conjunto permaneça cheio de metal durante o período médio de vazamento. 5 — Evitar entrada de materiais estranhos (escórias areia, etc.,) 6 — Percorrer o mais curto caminho, quer por econômica de metal quer pela menor probabilidade de apresentar pontos de areia lavada.

Condicionados a êstes pontos básicos, pode-se dividir o sistema de alimentação nas seguintes partes:

- 1) Bacia.
- 2) Canal de descida.
- 3) Canal de distribuição.
- 4) Canal de entrada.
- 5) Canal de subida.
- 6) Massalotes.
- 7) Canal de espuma.

1) Bacia

De um modo geral, o maleável deve ser fundido com bacias em funil, para que o líquido já de baixa fluidez, não perca parte da sua pressão logo na entrada da peça.

Algumas medidas que servirão de base no dimensionamento das bacias são:

$$\begin{array}{l} A = B = 80 - 75 - 70 - 65 \\ d = 30 - 28 - 25 - 20 \end{array}$$

Com isto evita-se que a bacia seja ou muito aberta ou muito fechada, ambas inconvenientes sob o ponto de vista do vazamento pelos esborrifos que podem ocasionar. Além disso o primeiro tipo, aberto, apresenta grande área de ataque pelo jacto de ferro que sai da panela, o que origina lavagem da areia.

O outro tipo é a bacia chamada, de descanso (Fig. 11.) Apresenta a vantagem de reter o ferro na parte inferior, evitando que o golpe inicial de ferro, após o represamento para o enchimento do canal, provoque esborrifos.

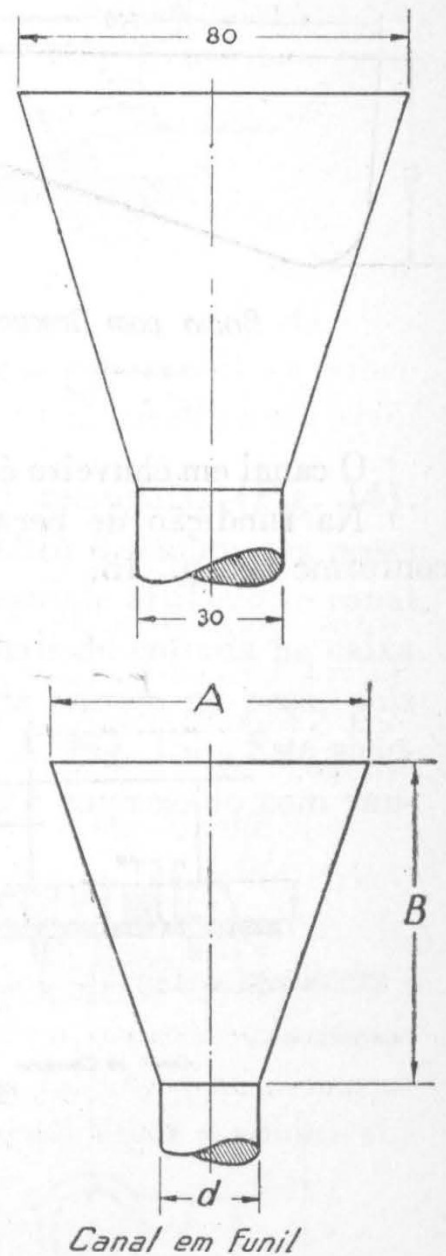
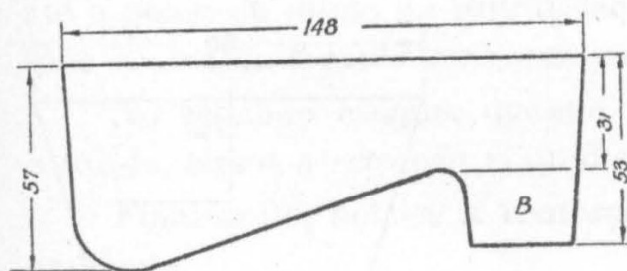
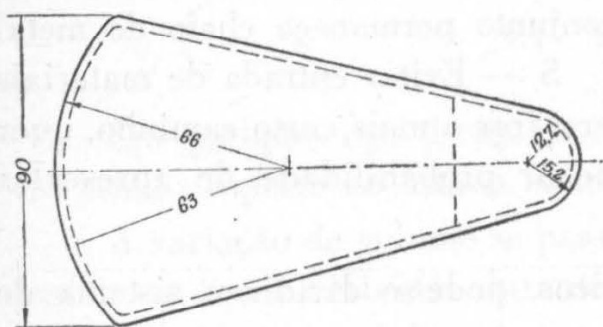


Fig.10



Bacia com Descanso

Fig. 11

Os outros tipos de bacia são variante dos dois acima.

As bacias com descanso devem ter paredes verticais e serem profundas, para que o vazamento se dê com os canais cheios.

2) Canal de descida

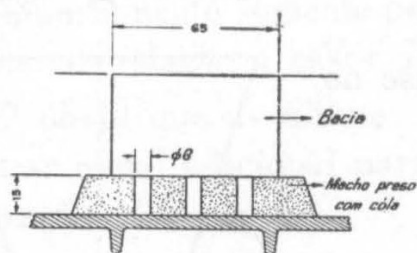
Em geral são cilíndricos e um para cada bacia. Há outros tipos tais como:

- 1) canal em lapis.
- 2) canal em cunha.
- 3) canal em chuveiro.

Todos êstes são aplicáveis em peças finas, pela facilidade na ruptura dos canais.

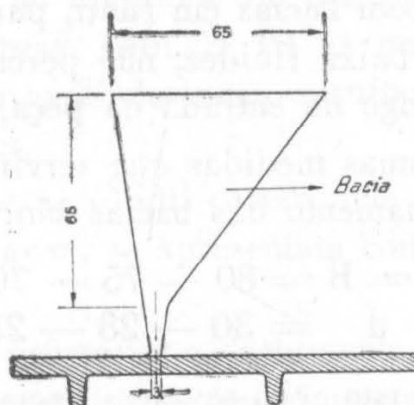
O canal em chuveiro é em geral feito com macho, conforme a fig. n.º 12.

Na fundição de peças finas é aplicável o tipo de canal em cunha, conforme fig. n.º 13.



Canal de Chuveiro

Fig. 12



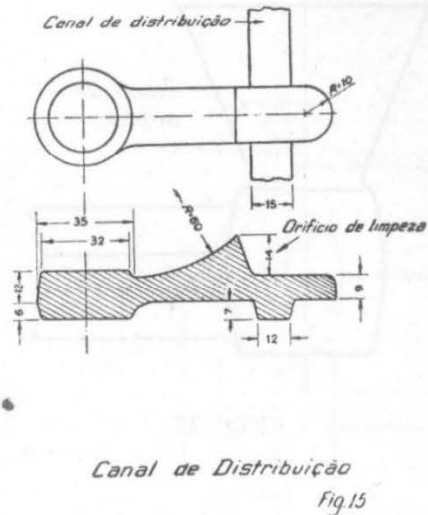
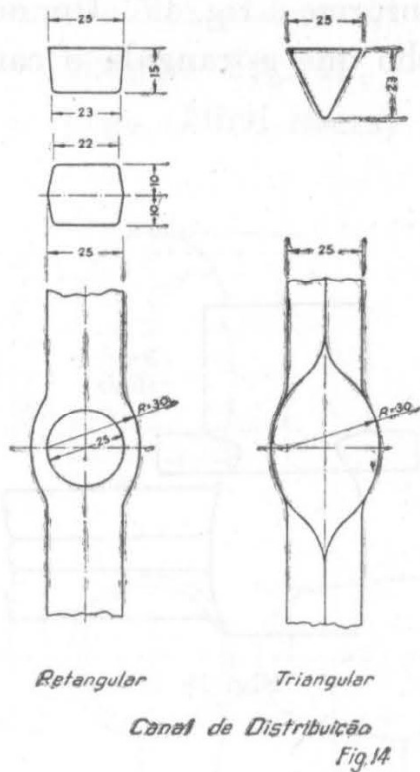
Canal em Cunha

Fig. 13

3) Canal de distribuição

Quando se estuda as placas para modelos, caso comum em maleável, ha disposições especiais dos modelos na caixa de moldagem, segundo normas mais ou menos fixas.

A peça está ligada ao canal de distribuição pelos canais de entrada.



O canal de distribuição pode ser do tipo: a) retangular (Fig. 14). b) triangular. Tanto para um tipo como para o outro é comum nas peças que devem apresentar bom acabamento, utilizar o seguinte artifício: o canal de distribuição é rasgado na caixa de cima e os canais de entrada na caixa de baixo. Com isto evita-se que poeiras ou escória entrem na peça, pois sendo mais leves que o metal se localizam na zona A. Fig. 15. Êste sistema de dar várias posições ao canal de distribuição é empregado com vantagem nos casos dos massalotes.

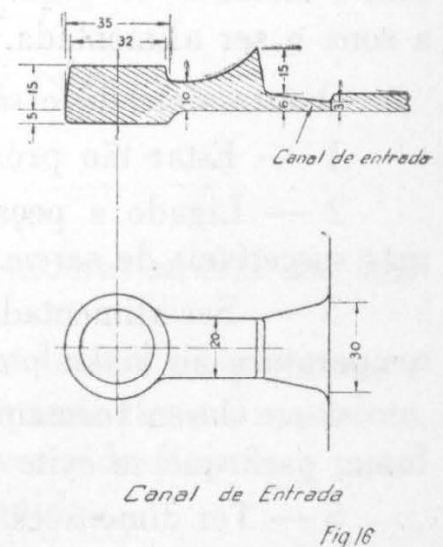
4) Canal de entrada

O canal de entrada deve ser tal que facilite a ruptura após a solidificação da peça. O tipo clássico é visto na fig. 16.

No caso dos massalotes esta entrada é condicionada a zona a alimentar.

5) Canal de subida

É aplicável sôbre as zonas mais espêssas das peças, com fim de fornecer, pela ação da gravidade, o líquido necessário a alimentar os pontos que iriam se solidificar por último.



Devem apresentar formas cônicas e conforme a fig. 17. Um outro tipo mais eficiente comporta um pequeno macho que estrangula o canal logo acima da peça. Fig. 18.

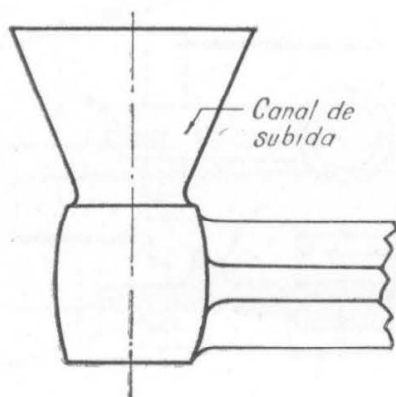


Fig. 17

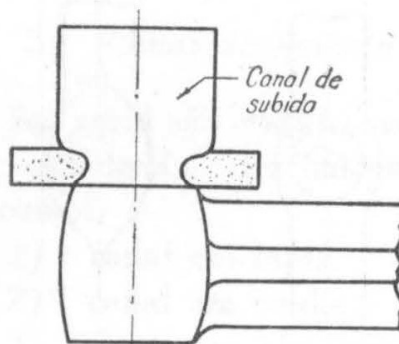


Fig. 18

6) Massalotes

Os massalotes são porções de ferro capazes de alimentar pontos que dariam cavidades de retração em consequência de resfriamento desigual na peça.

Diferem dos canais de subida por não aparecerem na superfície das caixas.

Em geral, o seu volume está relacionado com a zona a alimentar e com o tamanho da peça. Devem ser de 10 a 20% mais pesados do que a zona a ser alimentada.

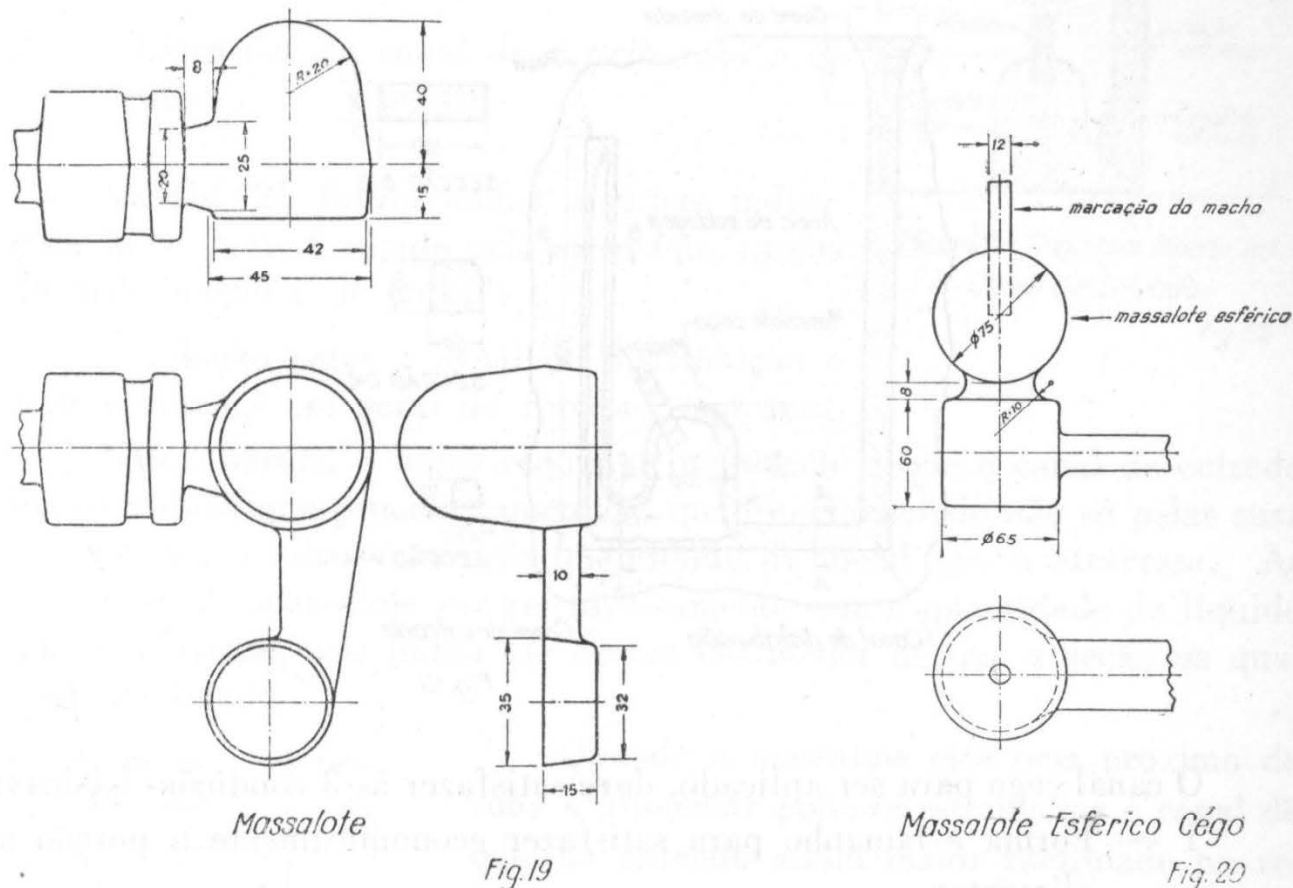
O massalote deve satisfazer as seguintes condições:

- 1 — Estar tão próximo quanto possível da zona a alimentar.
- 2 — Ligado a peça por canais de entrada suficientemente grossos, mas suscetíveis de serem quebrados sem ofende-la.
- 3 — Ser alimentado pelo canal de distribuição, o que acarreta maior temperatura ao massalote.
- 4 — O seu formato deve ser o de mínima superfície e máximo volume, para que se evite perda de calor.
- 5 — Ter dimensões mínimas necessárias a assegurar o perfeito enchimento da peça.
- 6 — Ter canais de entrada tangenciais, para possibilitar a retenção das impurezas antes do canal de entrada.

Os massalotes podem ser de dois tipos:

a — Simples Fig. 19.

b — Cego (blind risers) Fig. 20.



O segundo tipo utiliza os efeitos benéficos da pressão atmosférica no sistema de alimentação.

VANTAGENS DO MASSALOTE CEGO

1 — *Metal alimentador mais quente.*

O fundidor devendo colocar os canais distribuidores *através dos massalotes* obtém a seguinte vantagem:

A areia que envolve o massalote é aquecida a altas temperaturas e quando o vazamento chegou ao fim o metal mais quente fica no massalote, como devia ser. O gradiente térmico é assim favorecido ficando o metal do massalote por tempo mais longo em estado líquido.

2 — *Menor quantidade de metal.*

3 — *Pecas completamente sólidas.*

4 — *Colocação em várias posições.*

Cumprir dar algumas características construtiva do massalote cego. É interessante notar que há dois tipos indicados para as dimensões. Um dado por Roxburgh: Fig. 20 e outro por Taylor e Rominski: Fig 21.

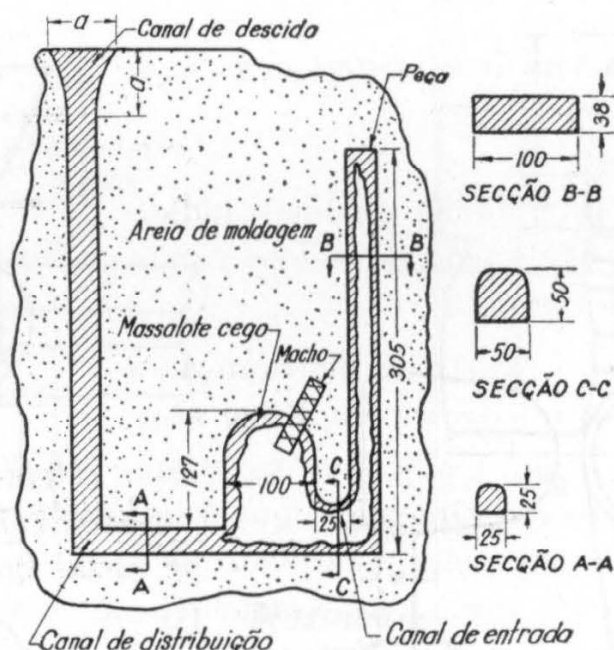


Fig. 21

O canal cego para ser aplicado, deve satisfazer às 3 condições básicas:

- 1 — Forma e tamanho para satisfazer economicamente a porção a alimentar.
- 2 — Tamanho e forma do canal de entrada e de distribuição.
- 3 — Posição do massalote em relação a seção a alimentar.

1 — Tamanho e forma.

O líquido necessário a alimentar as cavidades, depende da temperatura de vazamento, de tal modo que não há uma regra fixa que resolva o problema do tamanho do massalote para uma dada seção.

As temperaturas variando do primeiro ao último molde na prática corrente, dão retrações diversas em cada caso.

Deve-se também levar em conta, as diferenças de velocidade de resfriamento, contôrno da peça e composição do metal. Sòmente com experiência é que se pode chegar a um resultado satisfatório.

Pode-se estimar o volume do alimentador, em 10 a 15% a mais do volume da zona a ser alimentada.

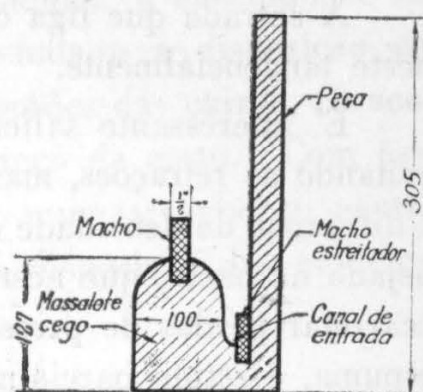
A forma do massalote seria a de um cilindro, sob uma hemisfera, com altura total de 25 a 30 mm a mais que o diâmetro.

2 — Dimensões do canal de distribuição e de entrada.

Na fig. 21 foram dadas algumas indicações do conjunto formado pelo massalote, canais de distribuição e de entrada.

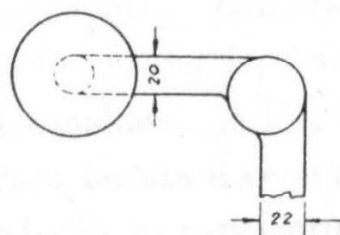
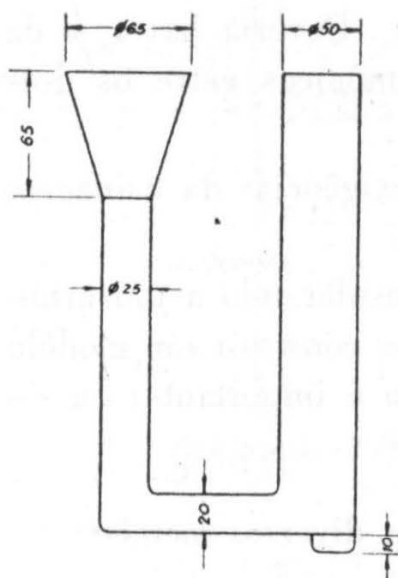
A relação entre o canal de distribuição e o de entrada é em geral de 1 para 2 em área.

Naturalmente, o único requisito importante é que o canal de entrada não se solidifique prematuramente, o que é influenciado não só pelas suas dimensões e formas mas pela quantidade de metal que o atravessa. As dimensões do massalote variam inversamente com a quantidade de líquido que o atravessa, mas nunca êle deverá ser menor do que a seção na qual deve ser ligado.



Massalote Cego com Macho no Canal de Entrada

Fig. 22



Canal de Espuma

Fig. 23

Quando o massalote está bem próximo da zona a alimentar pode-se estrangular o canal de entrada obtendo assim maior facilidade na rebarbação. Fig. 22.

7) Canal de espuma

Êste tipo de canal tem por fim evitar a entrada de ecória na peça, pela disposição relativa dos canais alimentadores

Deve apresentar as seguintes características: Fig. 23.

1 — Ter o diâmetro igual ao dobro do canal de descida.

2 — Ser ligado a êste, pela caixa de cima, por um canal com o dobro da área do canal de entrada, o qual deve ser rasgado na caixa de baixo.

A entrada que liga o canal de descida com o de espuma deve entrar neste tangencialmente.

É interessante salientar que este canal não age como o massalote, evitando as retrações, mas sim como um sistema de limpeza aproveitando a diferença de densidade existente entre a escória e o ferro. O metal despejado na bacia, que neste caso só deve ser a do tipo em funil, para não acarretar perdas de pressão no vazamento, já influenciada pelo canal de espuma, é retido parcialmente no canal de entrada. Isto força a subida pelo canal de espuma tanto do ferro como da escória, facilitando assim a flutuação das impurezas mais leves.

d) PLACAS

Considerem-se os seguintes pontos: 1 — Estudo. 2 — Confeccção.

1 — *Estudo.*

Em geral o fundidor recebe o projeto da peça já com as disposições relativas dos seus contornos, sobre os quais não pode tocar. Isto que é muito comodo para o projetista não o é para o fundidor. Deveria haver, e de fato há nas grandes emprêsas, entendimentos harmônicos entre os dois executores: projetista e fundidor.

Casos há, em que se deve também atender as exigências da usinagem com o fim de poupar ou mesmo facilitar o trabalho.

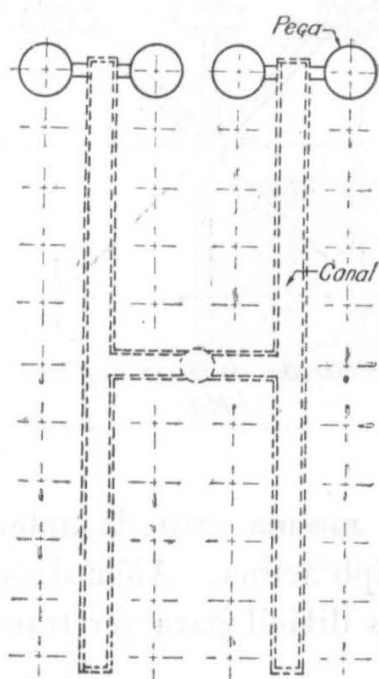
Aceita a peça, já com o estudo do projeto, considerando a uniformidade de paredes, facilidade de moldagem etc, deve-se construir um modelo que satisfaça as medidas do desenho. Neste ponto é importante: a — *contração.* b — *usinabilidade.*

É dada abaixo uma tabela para constração dos diversos metais:

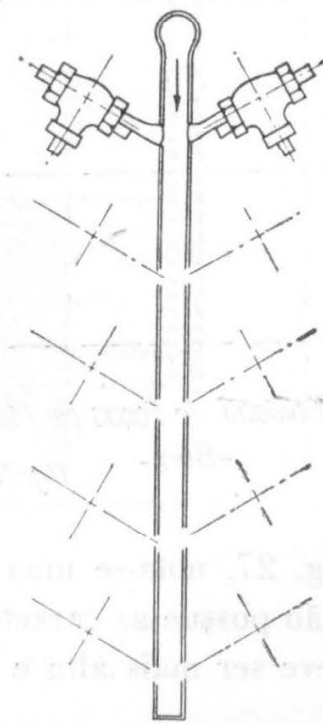
Bronze	1,30 %
Chumbo	1,10 %
Bronze de canhão	0,80 %
Estanho	0,78 %
Zinco	1,20 %
Ferro branco	1,50 %
Ferro	1,00 %
Aço	1,60 — 2,50 %

Uma vez fixada a posição relativa para fundição, a entrada dos canais e os pontos a receberem alimentadores, estuda-se a disposição em placa. Um desenho rápido tendo por base dimensões das caixas, fornece os elementos indispensáveis para o estudo do preço de custo. Com êste preço pode-se optar para uma melhor disposição num tamanho ou noutra de caixa. Tem-se diversos modos de encarar a disposição dos modelos, mas há regras mais ou menos fixas a considerar.

No arranjo dos modelos na placa deve-se sempre procurar o máximo de uniformidade. Si possível cada modelo deverá ter os canais na mesma posição relativa, e na mesma distância do canal de distribuição (canal



Distribuição de Peças em Placa
Fig. 24

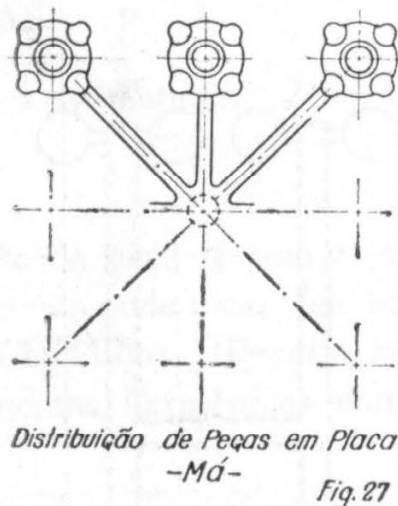
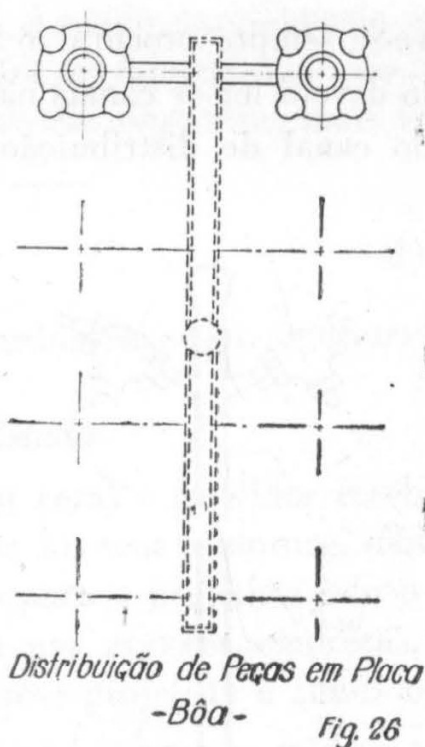


Distribuição de Peças em Placa
Fig. 25

principal). Embora seja mais fácil para vaziar com os canais nas extremidades do molde, é forçoso, as vêzes colocar o canal de descida no centro dos moldes. A Fig. 24 dá um exemplo típico de arranjo para várias peças. Para bronze é comum a colocação de canais com um ângulo especial em relação ao canal principal. (Fig. 25). O líquido vai até o fim do canal e depois em sentido mais ou menos oposto penetra na peça. Com isto evita-se a entrada de poeiras.

São dados em seguida dois arranjos para peças pequenas. O da Fig. 26 apresenta as seguintes vantagens:

- a) A caixa é estreita, fácil de levantar e ser carregada.
- b) A caixa superior é de pêso mínimo, em consequência de não precisar ser alta.
- c) As peças estão tôdas à mesma distância do canal principal.



Na Fig. 27, nota-se uma caixa com a mesma área da anterior, mas o arranjo não possui as características do tipo acima. Além disso a caixa superior deve ser mais alta e portanto mais difícil para ser transportada.

2 — Confeção.

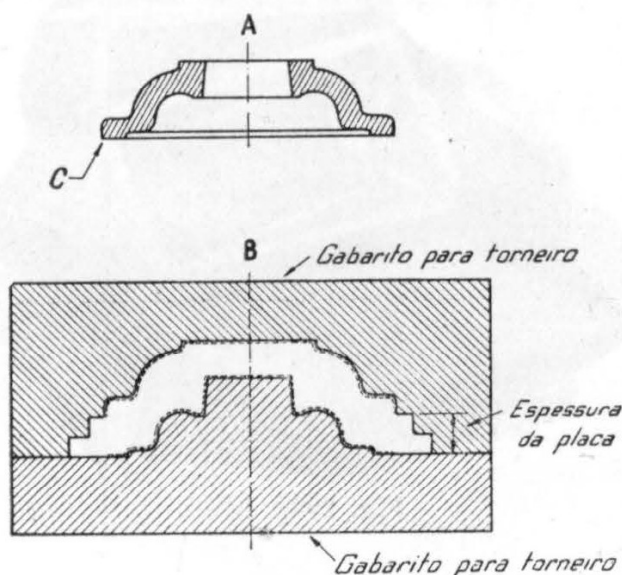
Na confeção das placas ha dois tipos diversos a considerar:

- a — placas de madeira.
- b — placas fundidas.

a) Placas de madeira.

Na confeção de placas de madeira, o ponto mais importante a considerar é no que se refere a maior regidez das partes do modelo.

Assim não se pode colocar em placa de madeira certas peças finas com paredes mais ou menos verticais, sem utilização de machos. Pode-se entretanto utilizar alguns artifícios que permitem dar maior resistência aos modelos, favorecendo a duração da placa em serviço. Observe-se o ponto C, do modelo de flange que aparece na fig. 28. Pela simples observação do desenho pode-se notar que o modelo foi reforçado sem prejuízo do projeto. O sistema consiste, de um modo geral, em encaixar na placa de madeira, partes do modelo, que foram aumentadas unicamente com o fito de refôrço. O artifício mais interessante a considerar é aquele empregado em peças torneadas; nestas, utiliza-se o desenho para a confecção dos gabaritos necessários a facilitar o trabalho do torneiro.



A - Peça
B - Modelo disposto para
encaixe nas placas

Fig 28

Uma vez as peças torneadas, são encaixadas na placa, conforme detalhe da fig. n.º 28. Na mesma ordem de idéias pode-se confeccionar as placas com modelos em alumínio: seria o caso de placas compostas com elementos parciais. Os modelos primários deverão ser de madeira, e devem comportar duas usinagens e duas contrações (nos modelos de alumínio para fundir ferro, tem-se cêrca de 3% de contração total).

b) Placas fundidas.

Para a confecção de placas fundidas são necessários dois acessórios a saber:

1 — moldura, com o formato externo da placa.

2 — moldura, com o formato da caixa.

O sistema de confecção consta de várias partes, a saber:

1) Moldagem comum do modelo numa caixa que comporte as dimensões da placa e dos canais a fundir a placa.

Acompanhando as figuras seguintes tem-se uma idéia do sistema de moldagem.

Acessórios de moldagem (Fig. 29).

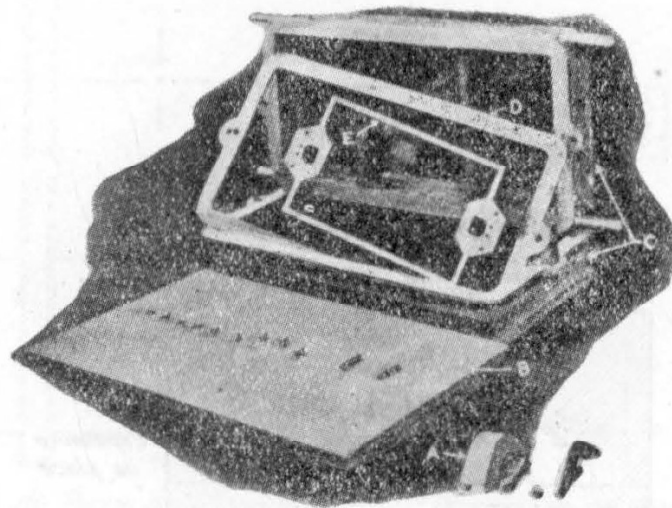


Fig. 29

Colocação do modelo sobre um estrado, com o fim de permitir a moldagem (Fig. 30).

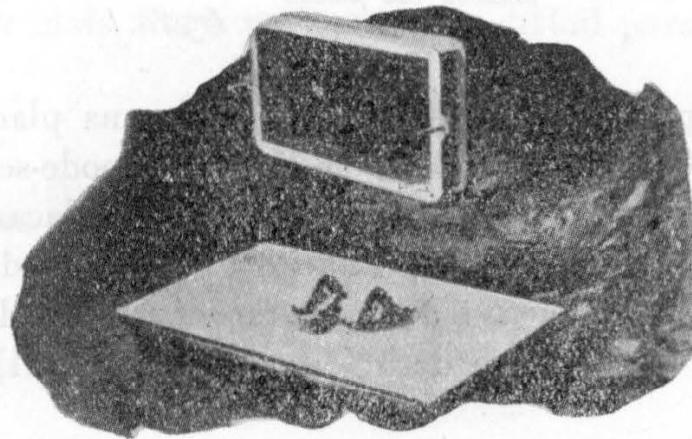


Fig. 30

A peça já moldada na caixa de baixo, pronta para receber os acessórios de moldagem (Fig. 31).

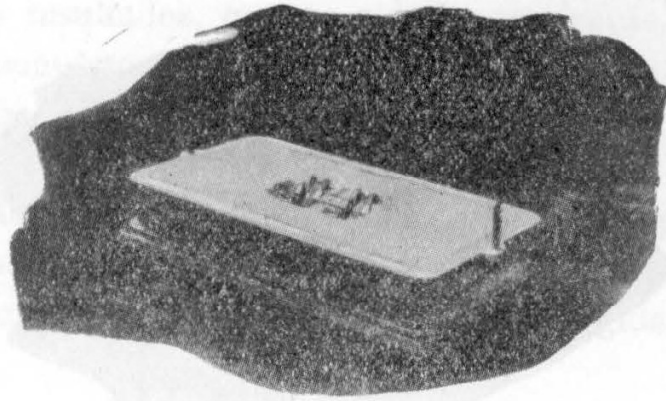


Fig. 31

Nata-se as molduras da placa e da caixa e entre elas a areia necessária a completar a espessura da placa (Fig. 32).

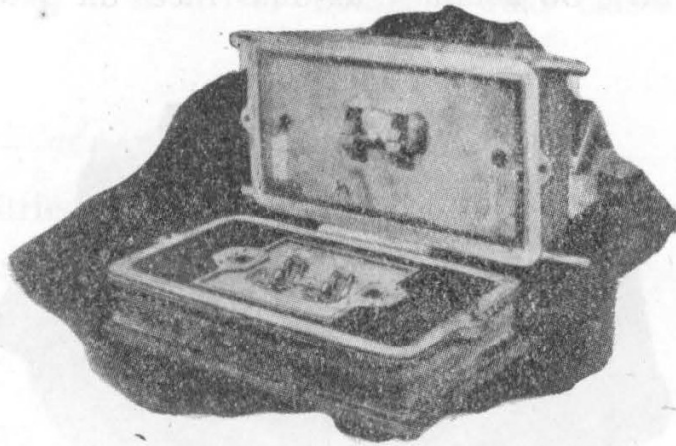


Fig. 32

Rasgaram-se os canais e retirou-se a moldura que conforma externamente a placa de moldagem (Fig. 33).



Fig. 33

A caixa já fechada e pronta para receber o alumínio fundido (Fig. 34).

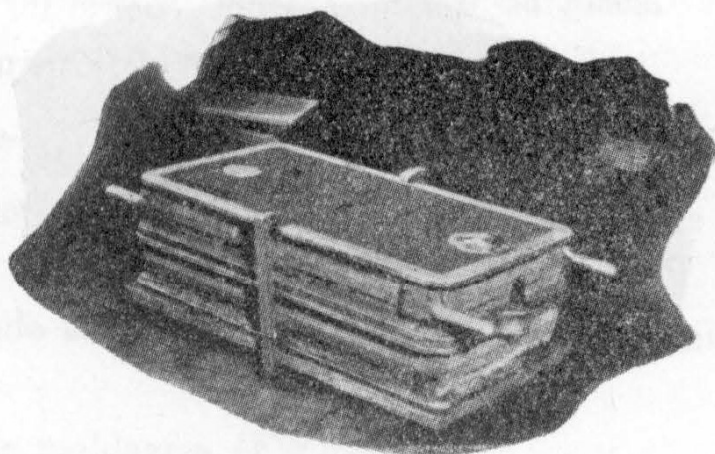


Fig. 34

Nas figuras 35 e 36 notam-se as duas faces da placa já fundida.

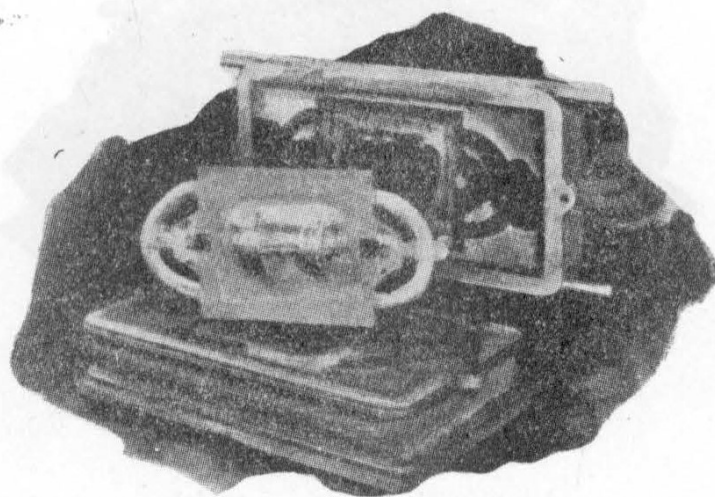


Fig. 35

NOTA: — Uma boa liga para placas fundidas compõem-se de uma mistura com 8% de cobre 92% de alumínio

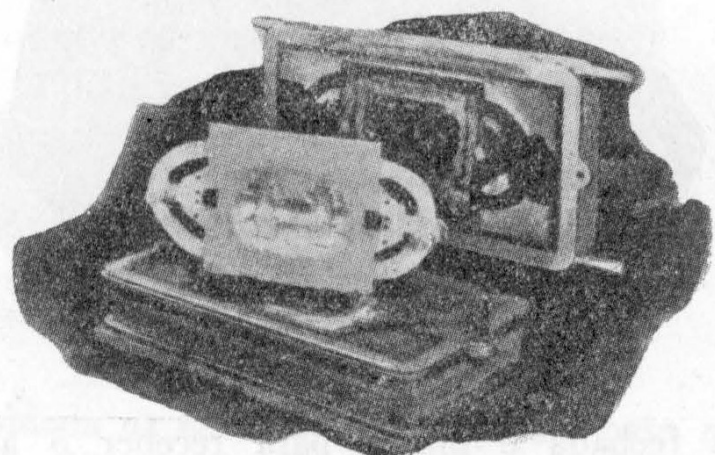


Fig. 36

Para melhores resultados, quanto a homogeneização, deve-se fundir primeiramente um conjunto com 50% de cobre e 50% de alumínio. Funde-se depois uma liga com alumínio e 16% desta mistura. A temperatura de vazamento deve ser a mínima possível, isto é cêrca de 1250F (675°C). A posição do modelo ao fundir a placa deve ser, quando possível, inversa daquela em que vai trabalhar na placa. Com isto, obtem-se melhores resultados de acabamento da peça, nas faces mais exigidas.

2) FUNDIÇÃO

De acôrdo com a composição estipulada nas especificações da A. S. T. M., A 47-33 e A 197-39 notam-se duas classes de maleáveis americanos.

1 — *Alta qualidade*, produzidos em:

- a) fornos elétricos.
- b) forno Martin (open-hearth).
- c) forno a ar (air furnace).

Êstes materiais devem estar de acôrdo com os dois graus de especificações já citados 32.510 e 35.018.

2 — *Baixa qualidade*, produzido em:

- a) forno cubilô.

Uma especificação padrão para êste tipo, foi estudada pela American Society for Testing Materials em 1936 e agora é designada como especificação A 197-39.

No estudo dos fatores que entram em jogo no processo de fundição destacam-se: a — Composição Química. b — Sucata. c — Fornos.

a — *Composição Química*

O ferro maleável, com características físicas elevadas apresenta-se com teores de carbono e silício bem baixos.

Composição Química	Especificação A - 47-33	
	Classe 35.018	Classe 32.510
	Ferro fundido branco	
Carbono total	1,75 — 2,30	2,25 — 2,70
Sílicio	0,85 — 1,20	0,80 — 1,10
Manganês	0,40 max	0,40 max
Fósforo	0,20 max	0,20 max
Enxôfre	0,12 max	0,70 — 0,15
	Ferro maleável	
Carbono glomular	1,20 max	2,20 max
Sílicio	1,80 max	1,10 max
Manganês	0,40 max	0,40 max
Fósforo	0,20 max	0,20 max
Enxôfre	0,12 max	0,13 max
	Propriedades mecânicas	
Resistência a tração kg/mm ² ..	38 — 48	35 — 37
Limite de escoamento kg/mm ² .	25 — 28	24 — 26
Elongação %	18 — 25	10 — 18

A segunda classe de maleável tem propriedades físicas inferiores em consequência de mais frouxos limites de composição e de exigências menos rigorosas nos processos de fundição e tratamento. A composição química dada acima se refere a peças de maleável utilizadas em máquinas comuns. Entretanto aqueles teores, principalmente de C e Si podem ser mais elevados. No caso de chaves, deve-se ter o máximo de facilidade de vazamento e mínimo de energia para tratamentos o que necessita um processo de fusão e recozido particular.

A composição química para chaves apresenta-se com os seguintes limites:

$$\begin{aligned}
 C &= 2,80 - 3,20 \\
 Si &= 1,40 - 1,60 \\
 Mn &= 0,20 - 0,30 \\
 P &= 0,05 - 0,60 \\
 S &= 0,05 - 0,06
 \end{aligned}$$

Para atingir a êstes resultados é necessário que o ferro branco seja fundido em fornos do tipo revérbero ou elétrico, pois só assim os teores de S e P serão bem baixos, e apresentarão pequena influência no ciclo de tratamento. O teor de carbono é elevado para que o material seja suficientemente fluido e possa encher completamente os moldes.

Influência dos elementos que acompanham o ferro.

Estudando de um modo individual a ação de cada elemento que acompanha o ferro tem-se uma base mais segura para o preparo de uma carga.

Êstes elementos agem em dois sentidos opostos.

Aceleradores de grafitação:

Silício	— Si	Forte
Alumínio	— Al	
Titânio	— Ti	
Níquel	— Ni	
Cobre	— Cu	
Cobalto	— Co	
Fósforo	— P	Fraco

↓

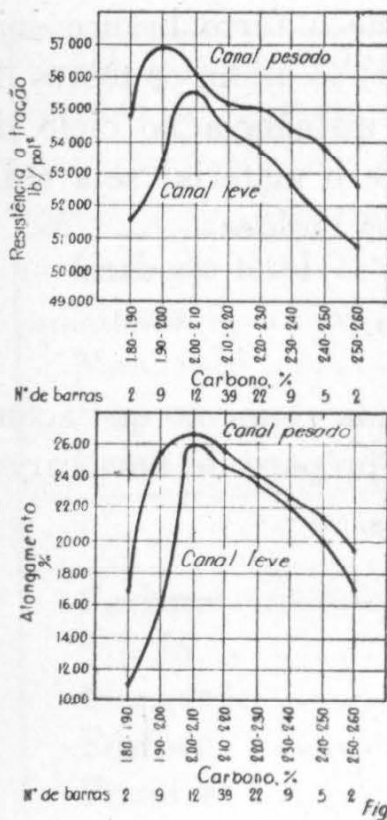
Retardadores de grafitação:

Molibdeno	— Mo	Fraco
Tungstênio	— W	
Manganês	— Mn	
Vanádio	— V	
Cromo	— Cr	Forte

↓

Carbono:

A formação de grafita primária na peça fundida, antes de ser maleabilizada é grandemente nociva. A grafita primária não pode ser eliminada do ferro durante o processo de recozimento. Pelo contrário há uma tendência a se aglomerarem em torno dêsses pontos quantidades ainda maiores de grafita. Êsses nódulos de grafita não tendo nenhuma resistência mecânica, as propriedades do maleável serão tanto melhores quanto menor a quantidade de grafita. O teor de carbono total do gusa branco influe poderosamente na resistência a tração e no alongamento das peças após o recozimento.



Pode-se admitir que diminuindo de 0,10% o teor de carbono resulta não só um aumento de cerca de 1,25 kg/mm² na resistência à tração como melhora as características de alongamento e tenacidade.

Para teores de carbono muito elevados, subsistindo cemetita em quantidades apreciáveis, conforme os teores de silício as peças são frágeis e dificilmente usináveis.

A Fig. 37 mostra o efeito do carbono sobre a resistência a tração e a alongação.

Conforme pode-se apreciar, pela Fig. 37 os melhores valores quer em resistência quer em alongação são obtidos no entorno de 1,90 a 2,20 de C.

Os máximos obtidos são: 40,00 kg/mm² para resistência e 26,2% de alongamento.

Silício:

O silício forma com o ferro uma solução sólida e age diretamente sobre a massa metálica e indiretamente favorece a grafitização.

A ação direta do silício sobre o ferro consiste na elevação de 1 kg/mm² para cada 0,10 de silício que se ajunta.

A influência do silício sobre as características mecânicas é muito confusa. O limite de elasticidade e a dureza aumentam com o teor de silício.

No processo americano de maleabilização o ciclo de tratamento será tanto mais curto quanto mais elevado o teor de silício pois êle facilita a grafitização.

Manganês:

Em geral admite-se que o manganês diminua a formação da grafita. Segundo alguns autores para ferro pobre em enxôfre o manganês, com teores até 0,3% favorece a decomposição da cemetita em grafita e solução sólida. O manganês tem uma influência muito mais importante sobre os ferros ricos em enxôfre. O manganês tem afinidade pelo enxôfre maior que o ferro e apondera-se dêste para formar sulfureto de manganês.



O ponto de fusão do sulfureto é muito elevado, de modo que êle se solidifica sob forma de pequenos cristais antes da separação da solução solida. O enxôfre assim eliminado do metal líquido não tem mais uma influência retardadora sôbre a decomposição dos carburetos e os pequenos cristais de sulfureto de manganês, disseminados no metal de modo variável segundo a forma da grafita, não tem senão uma influência praticamente nula sôbre as propriedades mecânicas do produto.

Teoricamente são necessárias 1,7 partes de manganês para fixar uma parte de enxôfre. A experiência mostrou que sempre é necessário um excesso de manganês. Para teores de enxôfre entre 0,15 e 0,25% o teor de manganês é dado por

$$\text{Mn} = 1,7 \times \text{S} + 0,25$$

Para teores de enxôfre de 0,05 até 0,10% o manganês é dado por

$$\text{Mn} = 2 \times \text{S} + 0,15$$

O manganês tem uma influência favorável sôbre as propriedades mecânicas. Até o teor máximo de 0,8% a resistência a tração, a resiliência e o alongamento são aumentados.

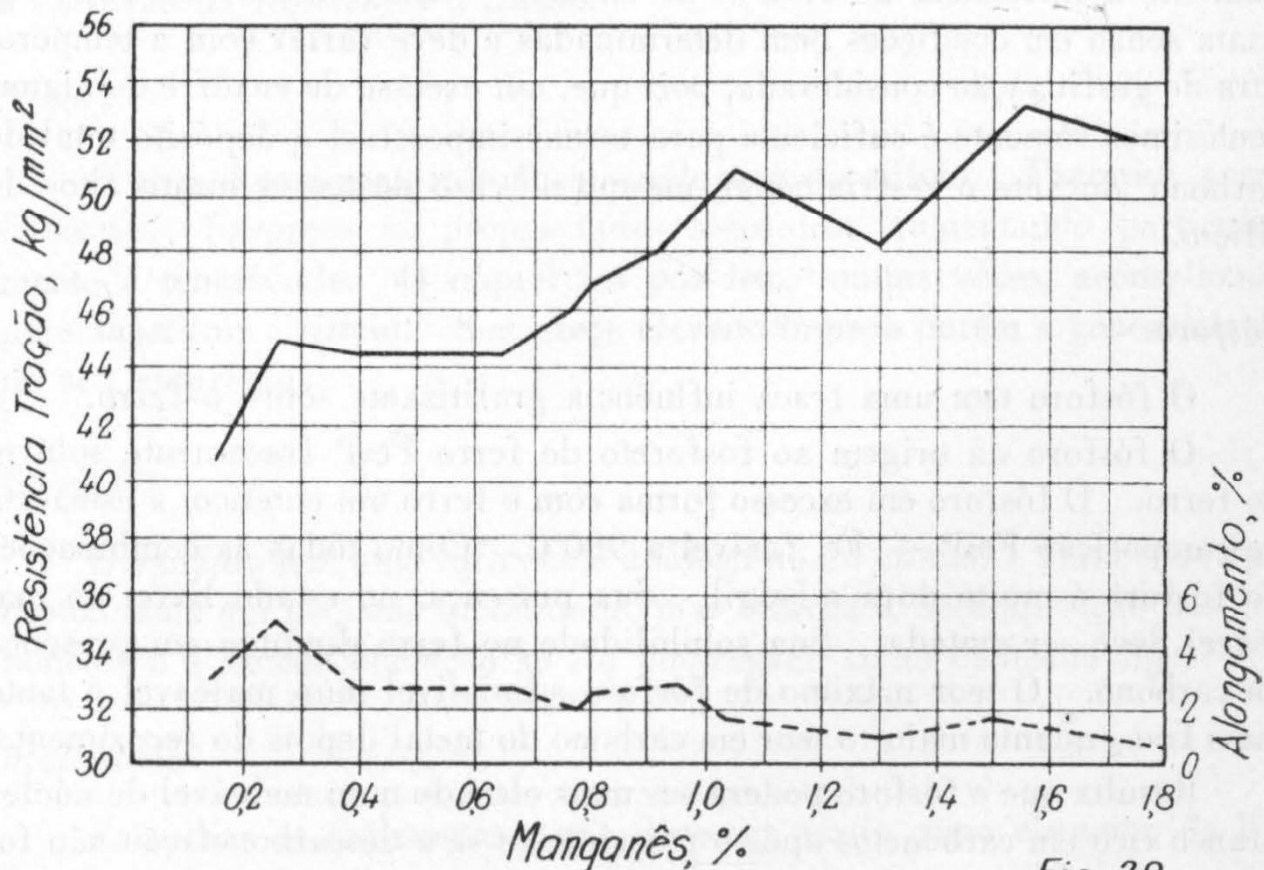


Fig. 38

A ação do manganês sobre o maleável ainda não foi estabelecida claramente. O teor de manganês deve ser escolhido, de um lado segundo o teor em enxôfre e de outro lado segundo a quantidade de grafita que se deseja depositar. Se se deseja uma resistência elevada, o teor de manganês deve ser o mais elevado possível. Uma elevação de 0,10% aumenta a resistência a tração de 0,8 kg/mm².

Enxôfre:

Como já foi dito o enxôfre em presença do manganês dá origem a pequenas inclusões arredondadas de sulfureto de manganês sem ação sobre a grafitização e a oxidação. Na ausência do manganês, êle se combina com o ferro para formar sulfureto de ferro muito fusível que, depois da solidificação do metal, aparece no limite dos grãos. Neste caso, êle retarda de modo nitido a grafitização. Esta ação é geralmente atribuída a um aumento das resistência passivas que se opõem a migração dos átomos de carbono no seio do ferro e para certos autores à presença de uma camada mais ou menos continua de sulfureto entre a austenita e a cementita, que suprime ou diminue os pontos de contato entre os dois elementos. A ação do enxôfre sobre a grafitização é portanto exatamente inversa a do silício. Lisner pretende que uma adição de 0,28% de silício compensa aproximadamente a influência de 0,05% de enxôfre. Esta relação não pode ser exata senão em condições bem determinadas e deve variar com a temperatura de grafitização considerada, pois que, um excesso de enxôfre de alguns centésimos somente é suficiente para tornar impossível o depósito total de carbono, durante o resfriamento, mesmo no caso de teores muito altos de silício.

Fósforo:

O fósforo tem uma fraca influência grafitizante sobre o ferro.

O fósforo dá origem ao fosforeto de ferro Fe₃P fracamente solúvel no ferro. O fósforo em excesso forma com o ferro um eutético, a esteadita de composição Fe₃P + Fe, fusível a 980°C. Como tôdas as combinações do fósforo é muito dura e frágil. Sua presença, no estado livre, no maleável deve ser evitada. Sua solubilidade no ferro diminue em presença do carbono. O teor máximo de fósforo admissível num maleável é tanto mais fraco quanto maior o teor em carbono do metal depois do recozimento.

Resulta que o fósforo poderá ser mais elevado num maleável de núcleo branco rico em carbonetos após o recozimento se a descarbonetação não foi até o núcleo da peça.

De um modo geral, na prática americana, faz-se variar o fósforo de 0,10 a 0,20% enquanto que na prática européia é ordinariamente mantido abaixo de 0,15%. A maior parte dos autores está de acôrdo em fixar 0,25% o limite acima do qual o fósforo se torna visível ao microscópio para ferro completamente grafitizado. Nestes limites usados a influência favorável do fósforo sôbre a facilidade de vazamento é praticamente nula e sua influência sôbre a grafitização e descarbonetação tão fraca que nem pode ser considerada.

Cobalto:

O cobalto tem ação fracamente grafitizante sôbre o ferro. Ainda não foram feitos estudos sôbre o emprêgo do cobalto na fabricação do ferro maleável e sua influência sôbre as propriedades do ferro.

Cromo:

O cromo tem, mesmo para pequenas adições, uma ação fortemente retardadora da grafitização. Estabiliza a cementita, propriedade utilizada frequentemente para o ferro cinzento e para o aço. Deve ser pois considerado como um elemento nocivo ao ferro maleavel, apesar de provocar a elevação da resistencia à tração.

Níquel:

O níquel tem uma influência análoga à do silício. Favorece a grafitização. Favorece as propriedades mecânicas aumentando particularmente a tenacidade. O níquel foi por isto, muitas vêzes, aconselhando para substituir o silício. Seu preço elevado impede porém a generalização de seu emprêgo.

Vanádio:

O vanádio tem uma influência análoga ao do cromo. Teria uma ação desoxidante em pequena quantidade, mas retarda a decomposição dos carbonetos e a descarbonetação se fôr empregado como elemento liga.

Molibdeno:

Estabiliza os carbonetos e não deve ser usado como elemento de liga para o maleável.

Tungstênio:

As propriedades do tungstênio em relação ao maleável são idênticas as do molibdeno.

Alumínio:

O alumínio tem mais ou menos as mesmas propriedades que o silício. Como favorece energicamente a precipitação de grafita não deve ser adicionado em grande quantidade. Por outro lado é utilizado como desoxidante e é adicionado em doses tão fracas que não pode ser percebido analiticamente.

O alumínio foi aconselhado para substituir em parte o silício pois provoca uma grande diminuição na duração do ciclo de recozimento do maleável americano. Ainda não foram encostradas aplicações práticas do alumínio.

Titânio:

O titânio tem uma ação análoga à do alumínio. Favorece a grafitização e é um bom desoxidante. Pequenas adições de ferro-titânio desoxidam o ferro líquido e o desgasificam aumentando a resistência à tração e o alongamento. Ensaio feitos por Piwowarsky conduziram ao seguinte resultado:

O titânio favorece o afinamento da estrutura do ferro branco. A repartição da grafita de recozimento no ferro depois da maleabilização é mais regular e mais fina. O titânio provoca ainda a aceleração da decomposição da cementita e uma combustão mais rápida do carbono durante o recozimento. As vantagens de uma adição de titânio são mais marcantes no caso do maleável americano do que no caso de maleável europeu.

b) — Sucata

A influência da sucata sobre as características mecânicas finais dos ferros maleáveis é mais pronunciada quando se opera com forno cubilô.

As condições iniciais da sucata transtornam tanto o produto final, que pode-se obter diversos tipos de ferro com a mesma composição química.

A sucata contendo carbono grafítico promove a formação de pontos primários na peça fundida, de efeito pernicioso durante o processo de recozimento. Para evitar a formação destas manchas de grafita primária, se tem que operar dentro de composições mais baixas, quer em carbono quer em silício. Esta condição força o aumento dos ciclos de tratamento,

diminua a fluidez e aumenta a retração do metal, condições estas que tornam ainda mais difícil o enchimento perfeito das peças.

Atualmente não existem prescrições muito rígidas quanto a composição química dos gusas empregados. Entretanto deve-se sempre procurar utilizar gusas brancas ou mesclados com baixos teores em carbono e silício. Este último não deve passar 1,50%.

Para peças de responsabilidade o gusa deve seguir mais ou menos a seguinte especificação:

C	=	3,5 — 4,00
Si	=	— 1,50 max
Mn	=	— 0,40 max
P	=	— 0,30 max
S	=	— 0,12 max

No uso da sucata de aço deve-se evitar o emprêgo de materiais ligados, principalmente os com cromo, em consequência do alto poder retardador da separação da cementita. Os materiais já recozidos, também são prejudiciais em consequência da grafita e do enxôfre que podem apresentar. É sempre preferível utilizar pedaços de aço sem ferrugem, daí a necessidade de acomodações cobertas para o armazenamento da sucata.

É dada abaixo uma tabela na qual se tem uma idéia grosseira da composição dos materiais mais utilizados na prática e que poderão servir de sucata para fabricação de maleável.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS AÇOS COMERCIAIS					
	C %	Si %	Mn %	P %	S %
Placa de Caldeiras	0,10 — 0,30	até 0,25	0,4—0,8	0,05max	0,05max
Perfis	0,04 — 0,12	até 0,25	0,4—0,5	0,06max	0,06max
Trilhos	0,35 — 0,60	0,15 — 0,25	0,6—0,9	0,08max	0,05max
Rebites	0,05 — 0,15	0,15 — 0,25	0,3—0,4	0,04max	0,04max
Ferraduras de aço	0,10 — 0,20	até 0,20	0,1—0,4	0,06max	0,07max
Ferraduras de maleável	—	0,5 — 0,25	0,1—0,4	0,10max	0,25max
Molas para Vagão	0,8 — 1,00	até 0,25	0,6—0,8	0,05max	0,04max
Sucata de Aço Ferramenta ..	0,6 — 1,5	até 0,25	0,4—1,0	0,04max	0,04max
Restos de estampagem e matriz	0,1 — 0,2	0,2 — 0,3	0,4—0,8	0,3—0,5	0,08max
Aço Manganês (Hadfield)....	0,95 — 1,15	0,2 — 0,4	10—14	0,10max	0,06max

c) — Fornos

Os tipos de fornos capazes de produzirem ferro fundido branco são:

a — Cadinho. b — Cubilô. c — Forno de Sola ou revérbero.
d — Fornos rotativos. e — Forno Martin (Open-Hearth). e — Forno a ar (Air Furnace). f — Forno elétrico.

Serão deixados de lado os detalhes de cada tipo, o que iria tomar muito tempo. Apenas se verão algumas considerações gerais, para esclarecer os fatores que mais influem na fusão dos ferros maleáveis. Na maioria das fundições, o metal é fundido em fornos reverberatórios, comumente conhecido como (air furnace) — fornos a ar. As vezes pode-se completar a operação nos fornos do tipo Martin.

Quando o preço de energia é compensador, deve-se utilizar fornos elétricos.

Os fornos rotativos de 2 a 10 toneladas tem se apresentado em substituição aos antigos fornos de fusão.

Em outras fundições o processo de duplex tem dado bons resultados. O forno cubilô, fornece o metal líquido que deve ser superaquecido e acertado em composição nos fornos elétricos ou nos fornos de ar.

Nas indústrias que fabricam luvas e cotovelos o metal é fundido no cubilô e vazado diretamente nos moldes de areia. O metal é conhecido como *maleável de cubilô*.

d — Provas de boca de Forno

Quando se examinam os metais que existem nos fornos elétricos, no curso de uma corrida, tem-se como ponto básico evitar a formação de grafita primária. A prova que tem dado bons resultados compõe-se de um tarugo de 1 1/2" na base, 2" no topo, 2 7" de comprimento. São vazados em moldes de areia verde resfriados naturalmente até que atinja a cor escura: neste ponto é temperado em água fria.

A estrutura é examinada a olho, e do aspecto geral pode-se avaliar se o metal está ou não nas faixas de composição pre-estabelecida.

As dimensões do corpo de prova e a velocidade de resfriamento são tais que elas representam condições mais favoráveis do que as encontradas nas peças comuns, para a formação de grafita primária. Para bom tratamento, boa fluidez e conseqüente perfeito enchimento das peças é necessário que as provas apresentem uma porção mesclada no centro da prova. Quando a porção mesclada é muito intensa se está em presença de um metal com alto teor de silício. As manchas pretas no centro do tarugo indicam altos teores de carbono. A Fig. 39 dá um idéia de várias provas obtidas, no período de uma corrida.

Além da prova do tarugo pode-se utilizar também a prova de fluidez. Com isto avaliam-se as possibilidades do metal para o enchimento de certas peças. A temperatura influi decisivamente na fluidez, daí ser esta um bom elemento para a sua avaliação.

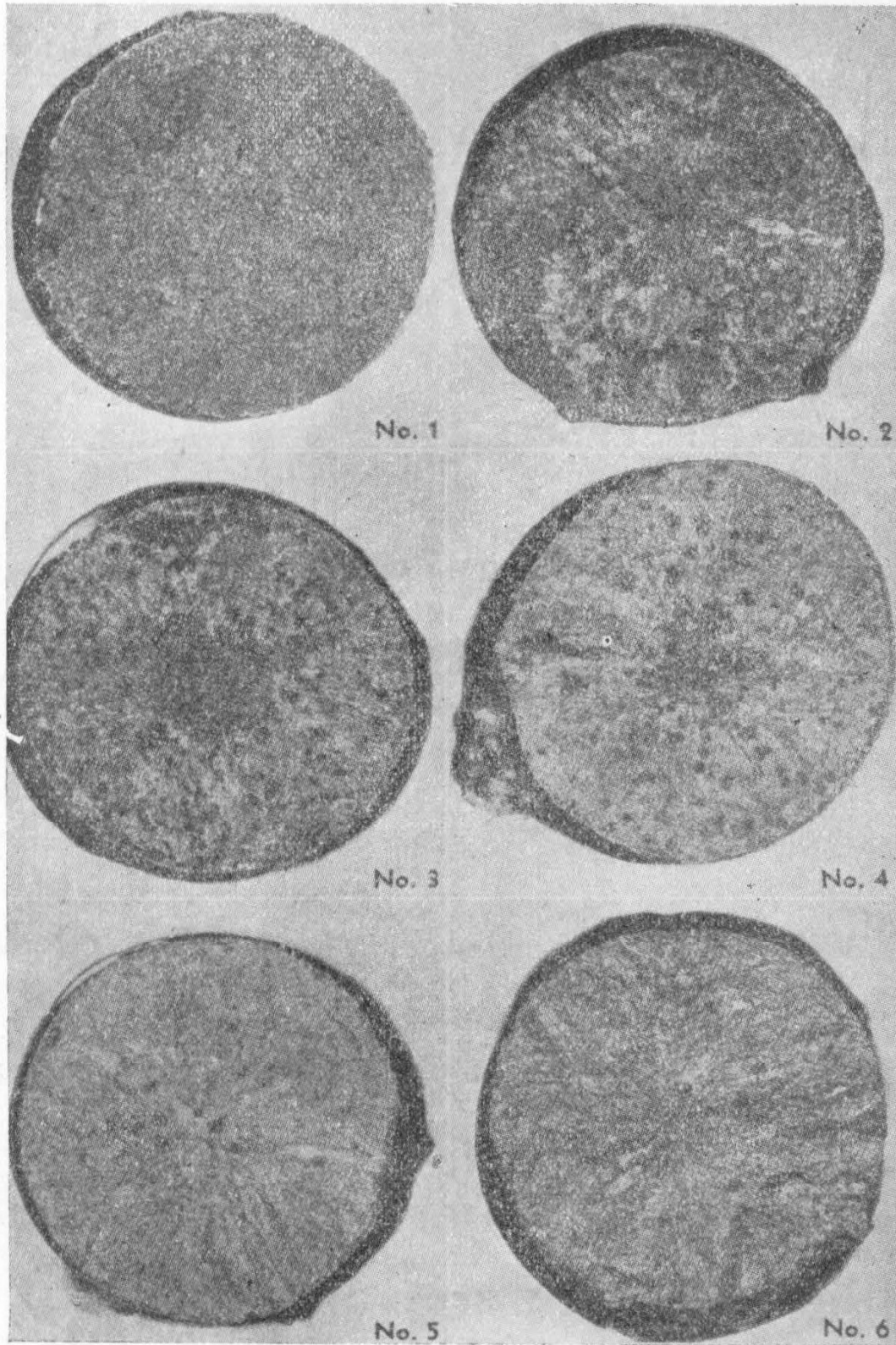


Fig. 39

(Continúa)