

SISTEMA HIDRÁULICO DE UMA MÁQUINA DE INJEÇÃO DE PLÁSTICO

Projeto Mecânico I e II

PMC-580 e PMC-581

Mauro Garcia Brant de Carvalho

Nusp: 3257343

Prof. orientador: Francisco Emilio Baccaro Nigro

Departamento de Engenharia Mecânica da  
Universidade de São Paulo

Segundo semestre de 1988

Agradecimentos:

Aos meus pais, que me ajudaram em todos os meus anos na Escola Politécnica;

Ao professor Francisco E. B. Nigro, pela cooperação e compreensão;

À Alessandra Ciappa, que me deu muita força nos últimos anos, além das ajudas de Química durante este trabalho;

Ao Eng. Nelson Gusson, da Walita, que me ensinou os primeiros conhecimentos sobre plástico;

À José Carlos Pigatto, que me cedeu muitas informações sobre a máquina da Romi;

À Beth, que me auxiliou não só neste trabalho como em muitos outros;

À Indústrias Romi S/A, pelo curso e informações e

A todos os meus amigos, que me deram apoio e tornaram inesquecíveis estes meus anos de Escola.

## Sumário

O processamento de materiais plásticos, começou em meados de sécupo passado; com o desenvolvimento de alguns processos baseados no processamento de metais. O processo de injeção foi desenvolvido pelos irmãos Hyatt, em 1872, baseado no processo de fundição sobre pressão, usado principalmente com zamac e alumínio. Da primeira máquina até os dias de hoje muita coisa mudou, mas a principal mudança foi a colocação no cilindro de injeção de uma rosca para plastificação. Este tipo de máquina é a mais difundida hoje em dia, sendo chamada de máquina com "cilindro com rosca alternativa", criada por H. Willert, em 1952.

Desde os primeiros polímeros sintetizados pelo Homem, a procura por materiais alternativos cresceu. O professor Stephan Wolynec, do departamento de Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica, escreveu um artigo sobre o "impacto de novos materiais sobre a indústria e economia", que mostra a preocupação em se encontrar materiais alternativos, mais leves, resistentes e baratos, e acelerada ultimamente devido a crise mundial, na década passada. Ele mostra um gráfico que ilustra bem o peso do automóvel americano nos últimos 20 anos, e pode-se reparar uma redução de até 25% no peso do veículo. Quanto a aspectos econômicos de aplicação destes materiais plásticos, o capítulo 19 do livro editado por Eric Baer, "Engineering Design for Plastics", da série "Polymer Science and Engineering", mostra estes aspectos e também o modo de se calcular o custo industrial da peça plástica. Por ser muito barato e de fácil processamento, a indústria plástica é uma das que

mais cresceu no Brasil nos últimos anos, mas estamos muito atrasados, em quantidade de plásticos processados, em relação a alguns países da Europa, Japão e Estados Unidos.

Devido a possibilidade de reaproveitamento do material injetado, o processo de injeção é o mais procurado. Muitos polímeros desenvolvidos para outros fins, acabaram sendo adaptados ao processo.

A necessidade de um controle maior do processo, desenvolveu um sistema hidráulico para máquina para garantir a uniformidade do ciclo.

Na primeira parte do trabalho temos a tecnologia plástica, o desenvolvimento dos polímeros e seus processamentos. A maior dificuldade encontrada para se fazer o trabalho é a desatualização da bibliografia, já que existe um desenvolvimento muito acelerado neste setor, e os livros não acompanham. Por este fato, alguns dados do trabalho estão desatualizados.

Na segunda parte temos o processo de injeção, os tipos de máquinas utilizadas e o detalhamento da máquina ROMI-TGR, que é considerada a de melhor performance no Brasil. Esta máquina era produzida com autorização da "REED", mas a Romi alterou alguns pontos da máquina e ela se tornou de "geração Romi". Na última parte detalho o sistema hidráulico desta máquina, que também pode ser usado em uma máquina de injeção de alumínio ou zamack.

índice

Tecnologia Plástica .....	1
1- Tecnologia de Polímeros .....	2
2- Derivados de Produtos Naturais .....	4
3- Reação de Polimerização Escalonada: Termofixação de Plásticos	6
4- Termoplásticos .....	ii
5- Reação em Cadeia de Polímeros .....	16
6- Reação em Cadeia de Polímeros Comerciais .....	17
7- Composição dos Plásticos .....	24
8- Processamento dos Plásticos .....	29
8.1- Modelagem por Compressão .....	30
8.2- Injeção .....	33
8.3- Extrusão .....	35
8.4- Técnicas Especiais .....	36
9- Propriedades Comparativas de Materiais Plásticos .....	40
 Injeção: o Processo e as Máquinas .....	41
1- O Processo .....	41
2- As Máquinas .....	51
2.1- Cilindro de Injeção com Ímbolo .....	53
2.2- Cilindro de Injeção com Ímbolo e Dois Estágios de Plastificação .....	54
2.3- Cilindro de Injeção com Rosca e Dois Estágios de Plastificação .....	55
2.4- Cilindro de Injeção com Rosca Alternativa .....	56
3- Máquina ROMI-TGR .....	62
Sistema Hidráulico de uma Máquina de Injeção de Plástico .....	67

### Tecnologia Plástica

Nos dias de hoje, o uso de plásticos como matéria prima vem crescendo muito. Isto se deve ao desenvolvimento de polímeros com propriedades mecânicas melhores e pesos reduzidos, que viabiliza o seu uso em funções mais nobres do produto. Além disso, para produções em larga escala, o custo inicial da confecção do molde é diluído pelo número de peças produzidas, já que a matéria prima é mais barata. Para pequenas produções, os materiais metálicos já tradicionais são mais convenientes.

A tecnologia em resinas como o asfalto e a goma-laca é dominada pelo Homem a muito tempo, mas com relação ao plástico sintético, sua utilização é mais recente. Muitos processos modernos de conformação e fabricação de plásticos são baseados em processos metálicos e cerâmicos. Estes processos vêm se desenvolvendo devido ao aumento de demanda. Além disto, as propriedades dos polímeros vêm sendo melhoradas por modificações químicas e físicas em produtos naturais e sintéticos e por sínteses de novas macromoléculas.

As más utilizações que contaminavam a nascente indústria plástica norte-americana, na década de 40, são pouco frequentes atualmente, devido aos resultados de uma larga seleção de materiais polímeros, e o desenvolvimento da tecnologia plástica. Melhoria da qualidade do produto, novas técnicas de polimerização e métodos de processamento melhores também têm contribuído para o desenvolvimento da moderna tecnologia plástica.

O desenvolvimento desta moderna tecnologia pode ser ilustrado pela descrição das técnicas utilizadas para produzir as teclas do piano. O ébano original das teclas pretas foi substituído, no final do século dezenove, por uma madeira mais fácil de ser encontrada, coberta pelo preto do nitrato de celulose plástico (celulóide). Esta camada de plástico era formada através de calor e cementadas nas peças de madeira. Por sua vez, as teclas de marfim foram substituídas por uma peça de madeira coberta por uma camada de celulóide branco. As teclas de pianos modernos são feitas de pigmentação de amino plásticos.

#### i- Tecnologia de Polímeros

A maioria dos plásticos são produzidos a partir de macro-moléculas orgânicas naturais ou sintéticas, que se apresentam em longas cadeias de átomos, unidos por ligações covalentes. Estas cadeias se formam a partir de pequenos grupos de átomos repetidos. As propriedades físicas dessas estruturas são funções do tamanho da cadeia e do grau de atração entre as mesmas.

O tamanho da cadeia é pelo menos de uma centena de pequenas unidades repetidas em uma macro-molécula. Isto é, normalmente, essencial para o polímero tenha interesse comercial. O número de repetições de um grupo pode ser expresso como grau de polimerização e designado como DP.

Para que a macro-molécula sólida seja um elastômero, um plástico ou uma fibra depende da magnitude das forças atrativas inter-moleculares. Geralmente, todos os polímeros são caracterizados pelo alto módulo de elasticidade em baixas temperaturas. Entretan-

to, este módulo pode diminuir com o aumento de temperatura, e o produto se torna mais rígido na temperatura típica chamada "temperatura de transição do vidro" ( $T_g$ ).

Macro-moléculas se comportam como elastômeros acima da temperatura de transição do vidro se poucas ligações cruzadas estão presentes, e também, como plástico ou fibra abaixo desta temperatura característica. As melhores fibras têm grandes forças de atração inter-molecular e alto grau de simetria molecular, que é preciso para cristalização. As propriedades dos plásticos estão entre estas fibras e elastômeros, mas existe uma considerável sobreposição.

Nylon e polietileno tereftalato são usados como fibras e plásticos. Copolímeros de etileno e propileno são usados como elastômeros e plásticos. O termo plástico é, às vezes, usado para descrever uma resina de mistura ou um composto com aditivos apropriados. Entretanto, este termo é mais genérico, incluindo materiais parecidos com o plástico, isto é, aqueles polímeros podem ser fabricados para produzir produtos não asperos, muito usados.

As cadeias macro-moleculares nas moléculas plásticas podem ser lineares, isto é, contínuas e não ramificadas, podem ter cadeias laterais, ou podem ser de ligações cruzadas. Polímeros que não possuem ligações cruzadas são chamados de "termoplásticos" e aqueles que possuem este tipo de ligação são chamados de "plásticos termofixos".

Polímeros de cadeias essencialmente lineares são obtidos quando etileno é polimerizado com um sistema de coordenação catalítica, tal como a mistura de trietil-alumínio e tricloreto de titânio.

Em contraste, uma alta ramificação da cadeia do polímero é obtida quando etileno é polimerizado a alta pressão na presença de um traço de oxigênio. A diferença na estrutura molecular destes polímeros é refletida nas propriedades físicas, tais como alta densidade e alta temperatura de transição para os mais simétricos polímeros lineares.

Tanto os lineares, como os ramificados polietilenos podem se tornar de ligações cruzadas através de radiação gama. As moléculas tridimensionais, com este tipo de ligação são chamadas também de polímeros reticulares.

## 2- Derivados de Produtos Naturais

Macro-moléculas não plásticas como a celulose ou a borracha podem ser convertidas para materiais plásticos através de modificações químicas apropriadas. Celulose é um polímero poli-disperso de alto peso molecular. Consiste em unidades de anidro-glucose unidas por ligações beta-1,4-glicosídico. Borracha natural é poli(cis-1,4-isoprene). Um dos primeiros plásticos comerciais foi desenvolvido por Parkes em 1862 e patenteado pelos irmãos Hyatt em 1868. Estes inventores trabalharam separadamente achando uma mistura de canforato e nitrato de celulose que produzia um produto moldável, que posteriormente veio a ser conhecido como celulóide. O canforato serve para plastificar, isto é, ele abaixa a temperatura de transição, o suficiente para que o inflexível nitrato de celulose possa ser processado para tomar a forma de bolas de bilhar e outros artigos comuns, tal como a cobertura das teclas de piano, que já foi citado. Não deixa de ser interessan-

te notar que este primeiro plástico foi produzido adicionando substâncias relativamente raras, como o canforato, um produto obtido de uma reação de celulose e um ácido inorgânico conhecido como ácido nítrico.

Vinte e cinco anos depois de invenção dos Hyatts, os plásticos eram obtidos por adição de plastificantes apropriados até chegar ao acetato de celulose. Não sendo tão inflamável como a celulose, o acetato pode ser moldado à elevadas temperaturas, rapidamente. A resistência ao tempo dos plásticos de éster de celulose foi desenvolvida produzindo uma mistura de éster, butirato acetato de celulose, que foi patenteada por Clark e Malin em 1932.

Etil celulose, que também é um plástico moldável, foi patenteado por Lilienfeld em 1917. Muitos derivados de celulose solúveis em água tal como metil-celulose, hidróxido metil celulose, e os sais de sódio, carbóxido metil celulose e sulfato de celulose também têm valor comercial. Todavia, a demanda de plásticos de celulose moldáveis é limitada, e estes produtos são menos em 2,5% do total dos plásticos em produção.

Nelson Goodyear produziu ebonite ou borracha dura na década de 1840 por aquecimento de uma mistura de borracha contendo 32% de enxofre. Este plástico, que começou a ser produzido comercialmente em 1860, é usado ainda hoje. Outros plásticos derivados de borracha são obtidos através de reação de borracha natural, clorando, produzindo borracha clorada (Parlon, Hércules Powder Co.), que contém por volta de 67% de cloro, através da adição de ácido clorídico para formar borracha de hidrocloreto (Pliofilm, Goodyear Tire & Rubber Co., Inc.), e por isomerização na presença de

ácido cloro estânico para fazer borracha reciclável (Pliolite, Goodyear). Borracha clorada e reciclável são resinas que são solúveis em solventes hidrocarbonados. Revestimentos podem ser feitos adicionando plastilizantes e pigmentos nestas resinas. Soluções de resinas de borracha de hidrocloreto em benzeno podem ser moldadas em filmes flexíveis claros. Derivados de borracha representam menos de 1% do total de produção de plásticos.

### 3- Reação de Polimerização Escalonada: Termofixação de Plásticos

Muitos plásticos são obtidos por condensação de compostos orgânicos contendo mais que um grupo reativo (funcional). O mais antigo plástico deste tipo foi descrito por Butlerov em 1859 e Baeyer em 1872, e patenteado por Baekeland em 1909. A contribuição de Baekeland foi de usar menores quantidades de formaldeído na reação de condensação com fenol para a produção de plásticos fenólicos que são chamados de Bakelite. Este material é muito usado como isolante térmico, como no ferro de passar.

Polímeros termoplásticos lineares podem ser produzidos através da condensação de quantidades estequiométricas de formaldeído com orto ou para-fenóis substitutos. Estes contêm apenas dois campos reativos, isto é, eles têm duas funções enquanto que o fenol é trifuncional. Os produtos termoplásticos obtidos através destes fenóis substitutos, tal como p-terc-butilfenol ou p-fenilfenol, e formaldeído são usados para envernização. Eles são chamados de hetero-polímeros, se eles tiverem grupos de metileno e fenileno, pois eles resultam em dois reagentes diferentes. A velocidade de reação da condensação polifuncional é de mesma ordem de grandeza

de condensações com grupos monofuncionais similares. A velocidade de polimerização continua constante até que a mistura se torne muito viscosa.

Na produção de plásticos moldáveis vindos do fenol, a reação é descontinuada antes de se formar qualquer ligação cruzada. O metilato é obtido na presença de ácidos minerais, como o sulfúrico e chamado de resina "novolac". Os anéis do benzeno destes produtos são unidos por ligações de metíleno. A alta relação entre formaldeído e fenol pode ser usada para resinas fenólicas fusíveis na presença de catalizadores alcalinos como o hidróxido de sódio. Estes produtos contêm ligações éter metíleno e são conhecido por "resoles".

O produto fundido obtido quando é usado uma menor quantidade de formaldeído é conhecido por resina fase-A. Quando elas são parcialmente curadas por calor, são resinas fase-B. Este beneficiamento para o estágio B ocorre quando enche com "fillers" (enchimento), substâncias que fazem soltar do molde, como estearato de zinco, e pigmentos são misturados a elevadas temperaturas com resinas fase-A.

O formaldeído necessário para converter a resina fundível para infundível, resina fase-C, é fornecido pela adição de hexametiltetramina, o produto da reação de amônia com formaldeído, que decompõe estes reagentes quando aquecidos. A resina "resole" (fundível) separa o formaldeído quando aquecido e por isso é curada sem a adição de hexametiltetramina.

Mais de um bilhão de libras de resinas fenólicas são produzidas nos Estados Unidos, por ano. Por volta de 25% desta produção é

usada para moldagem. Outras aplicações são: produção de compensado e placa particulada; resina fenólica para papel ou fabricação de laminados; adesivos; lona de freio; aglutinados de asbestos; e resinas de fundição, isto é, aglutinadores para a areia usada nos moldes.

Outra maneira de termofixar por reação de polimerização escalonada é a produção pela condensação de formaldeído com uréia e melamina. Metil-uréia foi descrita por Einhorn em 1908 e resinas de uréia foram patenteados por John em 1920. Compostos de uréia para moldagem foram patenteados por Ellis em 1933. Estas e resinas de melamina são conhecidas por amino resinas ou amino plásticos. Os procedimentos para a produção de amino resinas são similares aos usados nas resinas fenólicas.

Tanto resinas de uréia, como de melamina são de cores mais claras que as resinas fenólicas. Compostos moldáveis de amino resinas são feitos reforçando estas resinas com alfa-celulose, asbestos ou serragem. Estas resinas moldáveis são usadas para aparelhos elétricos, laminados, adesivos, tintas e para modificar papéis e tecidos. Mais de 650 milhões de libras de amino resinas são produzidas anualmente nos Estados Unidos. Em todo o mundo a produção é superior a 1 bilhão de libras.

Polímeros preparados por esterificação de álcoois polihídricos (glicerol) e ácidos policarboxílicos (ácido tartárico) foram descritos por Berzelius em 1847 e por Smith, que substituiu o ácido tartárico por ácido ftálico em 1902. Ele usava o nome de gliptal (de glicerol e ftálico) para descrever estes poliésteres. Este tipo de resina foi comercializado em 1927 como resultado das in-

vestigações de Kienle. Ele inventou o nome alquídico para estas resinas obtidas quando ácidos graxos ou seus éster gliceróis foram esterificados junto com glicerol e anidrido ftálico. O nome alquídico vem do Inglês "alkyd", que por sua vez é derivado de alcohol e acid.

Resinas alquídicas são produzidas atualmente por condensação de glicerol, etileno-glicol, dietileno glicol, ou pentaeritritol com ácidos sucínio, adípico, cítrico, azeláico, sebácico, ou maleíco, na presença de óleos vegetais.

Quando materiais insaturados como o ácido maleico ou óleo de linhaça, são usados, o polímero contém grupos de etileno e talvez ligação cruzada (seca) quando estão presentes sais de metais pesados ou ácidos orgânicos (secos). Os alquídicos são classificados como óleos longos, médios e curtos, de acordo com a quantidade relativa dos óleos vegetais insaturados presentes nos reagentes.

Alquídicos saturados estão sendo usados em pequenas extensões como compostos moldáveis desde 1948, mas na maioria dos casos para camadas superficiais. Por volta de 600 milhões de libras de resinas alquídicas são produzidas, por ano, nos Estados Unidos, enquanto que a produção mundial ultrapassa 1 bilhão de libras.

Polímeros com estrutura de epóxi e oxirano, conhecidos como resinas epóxi, foram descritos por Schlack em 1934 e patenteados por Castan em 1943. Um tipo de resina epóxi é obtida pela condensação alcalina de epi-clorodrina com bifenol A (4,4'-iso-propilideno-fenol).

Resinas epóxis lineares podem cruzar as ligações (endurecendo ou curando) através de reações com aminas (dietileno-triamino—"DET" ou meta-fenileno-diamino—"MPD") ou anidrido (anidrido ftálico). Resinas epóxis podem ser reforçadas com fibra de vidro ou outros agentes. Estas resinas têm excelentes propriedades adesivas, podendo ser usadas em adesivos, laminados, compostos moldáveis, e compostos superficiais. Mais de 135 milhões de libras de resinas epóxis são produzidas anualmente nos Estados Unidos.

Longas cadeias, com átomos de oxigênio e silício, alternadamente, foram investigadas por Kipping na primeira parte do século vinte, e comercializadas por muitas empresas nos últimos quarenta anos. Estas cadeias, que são conhecidas por silicone, podem ser termoplásticos ou termofixos, líquidos, resinas ou elastômeros. Estes últimos são, geralmente siloxanos de alto peso molecular, e podem se modificar, através da introdução de grupos de ciano e fluor, nas cadeias laterais. Siloxanos com grupos hidroxil podem chegar a temperatura ambiente de vulcanização (RTV) na presença de sais organometálicos (octoato estanoso). Resinas de silicones caracterizam-se por excelentes resistências ao calor, solventes orgânicos e umidade. Elas são aplicadas como camadas de alta temperatura, laminados, materiais de calafetar e agentes anti-espumantes.

Resinas de furano são produzidas a partir de furfural ou álcool furfurílico. O furfural pode ser usado para substituir o formaldeído em novolacs fenólicos, e o álcool furfurílico pode, adicionado a compostos de uréia-formaldeído, produzir adesivos de enchimento de espaços, muito conhecidos. A principal resina de fu-

rano é produzida por sítio-polimerização de furfural ou álcool furfurílico na presença de ácidos. Excelente resistência e corrosão e cores escuras são características destas resinas. Elas são usadas em resinas de fundição, argamassa resistente e corrosão de sílica ou carbono saturados e impregnantes para carbono e gesso.

#### 4- Termoplásticos

Apesar de serem usados muitos termofixos no processo de injeção de plástico, como o bakelite, são os termoplásticos que representam a maior parte dos produtos do setor. Por esta razão este item é um dos mais importantes neste trabalho. Apesar disto, os termoplásticos têm outras aplicações além da injeção.

As reações de condensação de quantidades estequiométricas de ácidos difuncionais (como ácido adípico) e álcoois dihídricos (etilenoglicol), foram estudadas por Carothers na década de 1920. Todavia, ele foi impossibilitado de obter polímeros de alto peso molecular devido as impurezas dos reagentes. Poliésteres lineares de alto peso molecular foram obtidos por Whinfield e Dickson em 1941, através da troca de ésteres do metil-tetraflato e etilenoglicol. Estes polímeros são usados para aumentar os limites de moldagem das resinas. As fibras sintéticas (terylene, Imperial Chemical Industries Ltd.; Dacron, E. I. du Pont de Nemours & Co., Inc.) são a sua principal aplicação. Nas formulações, parte do ácido tereftálico podem ser trocados por ácido isoftálico.

Carothers descobriu que sais de fácil purificação eram obtidos por reações de ácidos difuncionais (como o ácido adípico), e aminas difuncionais (como o hexa-metileno-diamina) em metanol. Esta recristalização deste sal forma água e uma poliamina de alto peso molecular, quando aquecida. O peso molecular foi controlado pela adição de pequenas quantidades de ácido monofuncional (ácido acético).

Usando diferentes diaminas e ácidos dicarboxílico podemos modificar as propriedades destes nylons. O número de átomos de carbono nos reagentes determinam o nome do produto. Assim, um dos mais conhecidos polímeros, o nylon-6,6 (Zytel, Du Pont), é obtido através da condensação do ácido adípico (C6) e hexa-metileno-diamina (C6). Mais de 1 bilhão de libras de nylon são produzidas anualmente nos Estados Unidos. Por volta de 75 milhões de libras são aplicados em produtos não fibrosos para partes moldadas, como de engrenagens, filmes, revestimentos de fios, perfis extrudados e filamentos. O nylon-6,6 é caracterizado por uma excepcional resistência a abrasão e solventes orgânicos.

Poliamicidas como o nylon-6 também podem ser obtidas através de pacto aquecimento, como caprolactano (C6) na presença de água e ausência de oxigênio; nylon-11 é obtido por desidratação do ácido omega-amino-capróico.

Poliuretanas, obtidas por reações de di-isocianato (como tolueno-2,4-di-isocianato) e álcoois dihídricos (como etileno glicol), foram patenteadas por Otto Bayer em 1937. Estes polímeros podem variar de fibras a elastômeros por seleção próprias de álcool dihídrico. Poliésteres e poliéteres com grupos terminais hidroxila

são usadas em muitas formulações.

Poliuretanas são usadas em fibras, elastômeros, resinas moldáveis, revestimentos superficiais, adesivos, e espumas. Esta última é produzida quando a água está presente nos reagentes. A reação é de isocianatos e água dos ácidos carbônicos, que se decompõe espontaneamente em aminas e dióxido de carbono. Este último serve como agente espumante e pode ser complementado por outros gases como alcanos fluorados. Mais de 500 milhões de libras de espumas rígidas e flexíveis de poliuretanos são produzidas nos Estados Unidos, por ano.

Produzidos independentemente por Bayer e Patrick em 1927, os polímeros, resultantes de reações de diclorato como etileno diclorato e polisulfetos de sódio, são escuros, flexíveis e resistentes a solventes (Thiokol, Thiokol Chemical Corp.). Polisulfetos olefínicos, líquidos com terminais de grupos tiol (mercaptana), podem ser curados a temperatura ambiente, com peróxido de chumbo. Estas composições flexíveis vêm sendo usadas como revestimentos, materiais de calafetar, e aglutinantes para propelentes de foguetes.

Termoplásticos, aparentemente limpos, chamados de resinas fenóxis, são obtidos dos mesmos reagentes usados na produção de resinas epóxis, bifenol A e epicloridrina. Estas resinas lineares não contêm grupos epóxis. Elas são usadas em injeção e extrusão, e também para adesivos e revestimentos.

Policarbonatos (Lexan, General Electric Co.; Merlon, Makrolon, Mobay Chemical Co.) produzidos por fosgenização de dihidróxidos aromáticos (como o bifenol A), foram preparados, primeiramente,

por Einhorn em 1898, e comercializado em 1959 como resultados das investigações de Bayer e Schnell. Estes polímeros transparentes, usados em injeção e extrusão, são caracterizados por sua excelente resistência ao calor e impacto. Peças obtidas por moldagem de policarbonato combinado com fibra de vidro, têm boa deflexão a temperatura de 150 C. Por volta de 25 milhões de libras, deste polímero, são produzidos anualmente nos Estados Unidos.

Polisulfitos, que são produzidos a partir do bifenol A e bis (p-clorofenil) sulfito, têm excelente resistência ao calor, e são autoextinguíveis. Podendo ser injetados ou extrudáveis, começaram a ser comercializados em 1965.

Poliésteres clorados (Penton, Hércules Powder Co.), que foi produzido comercialmente em 1954 por Schilling, é obtido pela polimerização de 3,3-bis-clorometil-i-oxiciclobutano em dióxido sulfúrico líquido, na presença de trifluoreto de boro. Este tipo de polímero tem excelente resistência a corrosão e a solventes, podendo ser injetados e extrudados. Placas de poliéster clorado podem ser usadas em revestimentos de tanques.

Conhecidos a mais de um século, polímeros obtidos a partir do formaldeído, não eram muito usados em produtos até os anos 1950. Polímeros acetais lineares (Delrin, Du Pont) e copolímeros (Celon, Celanese Chemical Co.) são produzidos pela condensação de formaldeído extremamente puro, em meio inerte como heptano na presença de um iniciador, como a trifenilfosfina. Depois de um ataque nucleofílico na molécula de formaldeído, mais formaldeído é adicionado para formar uma cadeia oximetíleno. O peso molecular é controlado usando água como agente de transferência de cadeia.

A estabilidade térmica é elevada através da esterificação de grupos finais hidroxila, do anidrido acetil ou por copolimerização com um éter cíclico, como o óxido de etileno. Polímeros acetais (que podem ser chamados de poliformaldeidos) são caracterizados por resistências superiores de ataques solventes e deformação, e por um baixo coeficiente de fricção. Eles podem ser injetados ou extrudados. A produção anual destes polímeros, nos Estados Unidos, é superior a 75 milhões de libras.

Poli-2,6-óxido dimetilfenileno, conhecido como óxido polifenileno (PPO), começou a ser produzido comercialmente em 1966, e atualmente disponível em formas modificadas ou não (Noryl, General Electric). Estes polímeros lineares são produzidos pelo aglutinamento oxidante de 2,6-xilenos, na presença de sais de cobre, têm excelente resistência a temperaturas e corrosivos, e excelentes propriedades elétricas. São facilmente injetados ou extrudados em equipamentos convencionais.

Muitos polímeros resistentes ao calor, como as poliimidas (Kapton, Vespel, Du Pont), são obtidos pela condensação de dianidridos, como dianidrido piromelítico (dianidrido do ácido 1,2,4,5-Benzenotetracarboxila), e poliaminas, como 4,4-éter diaminodifenil. Os pré-polímeros são solúveis por aquecimento, por poucos minutos a altas temperaturas. Estes polímeros vêm sendo aplicados em revestimentos de fios, filmes (H-film, Du Pont), revestimento em fibras de vidro (Pyre M L, Du Pont), para revestimentos e aglutinantes para abrasivos em rebolos.

Outros polímeros resistentes a altas temperaturas são polixilenos. Xileno, aquecido a 950 °C, forma um dímero de xileno desí-

drogenado; depois resfriado até 550 °C, decaindo para um diradical, que completa a polimerização com um resfriamento superficial. Estes produtos podem ser obtidos do p-xileno, monocloro-p-xileno, e dicloro-p-xilenos (Parylene, Parylene C, and Parylene O, Union Carbide). Os polímeros Parilene's têm excelentes propriedades elétricas e térmicas, e são aplicados em filmes, revestimentos e encapsulamentos. Polioxietilenos (Carbowax, Polyox, Union Carbide Corp.) são produzidos por polimerização de óxido etíleno, a elevadas temperaturas, na presença de hidróxido de sódio aquoso e têm boa solubilidade em água. Eles são comercialmente disponíveis em grande variedades de pesos moleculares, desde líquidos até sólidos. Podem ser processados por técnicas convencionais, mas, porque eles são solúveis em água, principalmente como engrossadores, aglutinadores, dimensionadores, e filmes. Solúveis em água, polieletrolitos catiônicos (Montrek, Dow Chemical Co.) são obtidos por polimerização de etíleno imina. Tanto o monômero como polímeros de diferentes classes de pesos moleculares são disponíveis comercialmente.

##### 5- Reação em Cadeia de Polímeros

A maioria dos polímeros usados como plásticos são produtos termoplásticos produzidos por polimerização, por adição de monômeros de vinil, como o etíleno, cloreto vinil, estireno, ou propileno. A formação destas cadeias concatenadas é geralmente iniciada com radicais livres, produzidos por decomposição de peróxido orgânicos ou azo compostos. Peróxido de benzoila, azobisisbutironitrita, e peroxisulfato de potássio são os principais iniciadores

usados neste tipo de polimerização.

Alguns polímeros como os polibutilenos, borracha butil, e éteres polialquila vinil são produzidos por polimerização. Polipropileno e polietileno de alta densidade são produzidos a partir da polimerização de propileno e etileno na presença de catalizadores estéreos específicos, como os sistemas trietil alumínio titânio tricloreto.

Ao contrário das muitas reações escalonadas de polimerização, em que a maior parte dos reagentes são consumidos nos primeiros estágios da polimerização, muitos dos monômeros permanecem inalterados até que a reação de polimerização em cadeia esteja completa. Sendo assim, um "xarope" de pré-polímeros de resinas epóxi consiste em polímero de baixo peso molecular livres (a partir de bifenos A e epichlorohidrina). Em contraste, um "xarope" de pré-polímeros do monômero metil metacrilato consiste em uma solução de alto peso molecular de polimetil metacrilato. Para dar continuidade à reação, podemos acrescer pequenas quantidades de polímero, mas sempre é necessário um procedimento de purificação, pois sempre sobram monômeros neste tipo de reação.

#### 6- Reação em Cadeia de Polímeros Comerciais

Polietileno foi primeiramente produzido por Fawcett e Gibson em 1934, e agora é usado como termoplástico. Polímero de baixa densidade, é produzido pela polimerização de etileno altamente purificado, a alta pressão, na presença de um traço de oxigênio. Aproximadamente, 3 bilhões de libras deste produto são produzidos anualmente nos Estados Unidos. Ele pode ser injetado ou extruda-

do na forma de vários artigos como chapas, tubos e filmes. Uma utilização mais universal deste homopolímero vem sendo aumentada pela copolimerização com acetato vinil, metilacrilato, propileno, e ácido acrílico (Surlyn, Du Pont).

Polietilenos de alta densidade são produzidos através da polimerização de etileno à baixa pressão na presença de catalizadores de coordenação (Ziegler, Natta). As principais aplicações finais deste produto, cuja produção anual nos Estados Unidos ultrapassa 1 bilhão de libras, são filmes, laminados, artigos injetados e tubos extrudados.

Ambos tipos de polietileno podem ser clorados ou sulfoclorados. Estes formadores são usados como agentes misturadores para aumentar a resistência à chama e à processabilidade do polietileno. O último é usado como polímero de revestimento.

Desde 1957 o polipropileno é disponível comercialmente como resultado do uso de catalizadores estéreo específicos desenvolvidos por Natta em 1954. Com uma produção anual superior a 650 bilhões de libras (nos Estados Unidos), este polímero usa técnicas similares as que são usadas em polietilenos de alta densidade. Os principais usos são recipientes soprados, tubos extrudados e artigos injetados.

Polímeros líquidos de butileno foram descritos por Butlerov e Gorianov em 1873, mas não foram comercializados até a década de 1930. 2-Metilpropeno (isobutileno) é polimerização a baixa temperatura em solução de etileno usando ácidos de Lewis (clorato de alumínio ou trifluorato de boro) como catalizadores. O polímero (Vistanex, Enjay Chemical Co.) é caracterizado pela boa adesibi-

lidade, mas baixa resistência a deformação. Esta deficiência foi superada pela copolimerização do isobutileno com baixa porcentagem de isopreno, obtendo borracha de butil vulcanizada, desenvolvida por Sparks e Thomas em 1937. Mais de 750 milhões de libras de borracha de butil são produzidas anualmente nos Estados Unidos. A principal aplicação é mangueiras e tubos.

Tendo boa flexibilidade e boa resistência de deformação, o poli-i-butano (Bu-Tuf, Petro-Tex Chemical Co.) vem sendo comercializado desde 1965, podendo ser injetado ou extrudado, aplicado em filmes, revestimentos e tubos. Poli-4-metil-i-pentano (TPX, ICI) é caracterizado por sua baixa gravidade específica (0,83), transparência, e excelentes propriedades elétricas. O TPX pode ser injetado e extrudado em equipamentos convencionais.

Produzido por Simon em 1839, mas só disponível comercialmente a partir da década de 1930, o poliestireno pode ser fabricado por todos os métodos de reações em cadeia, mas a polimerização em massa é preferível. Poliestireno e seus plásticos copolímeros são produzidos numa faixa superior a 2,5 bilhões de libras nos Estados Unidos, sendo possível injetá-los ou extrudá-los.

A fragilidade inherente do poliestireno é melhorada pela copolimerização e pela mistura com polímeros resistentes ao impacto. A modificação mais interessante é a obtida do acrilonitrila, butadieno, e estireno (ABS). Este produto é disponível como tubos, lâminas e fragmentado para modelagem. A lâmina de ABS pode ser termoformada em uma forte estrutura. O material laminado também poder ser produzido a temperatura ambiente.

O termo polímero vinil pode incluir quase todos os termoplásticos de reação em cadeia, mas é geralmente usado somente para polímeros e copolímeros do cloreto vinil. Este polímero é descrito por Regnault em 1835. Os polímeros comerciais originais do cloreto vinil foram introduzidos em 1933, como plastilizante poli cloreto vinil, por Semon e como copolímeros do acetato vinil por Reid em 1934. O não plastilizado rígido poli cloreto vinil e misturas deste polímero e poli acrilatos alkyl ou elastômeros acrilonitrila-butadieno são atualmente usados para extrusão de tubos e lâminas e artigos moldados.

Poli cloreto vinil e seu copolímeros podem ser usados em revestimentos superficiais, tubos, lâminas, filmes, e peças injetadas. Ele tem excelente resistência a chama e corrosivos. Este é um dos polímeros mais baratos entre os plásticos sintéticos, por isso são produzidos aproximadamente e bilhões de libras, por ano nos Estados Unidos.

Poliésteres insaturados forma sintetizados pela condensação do etileno glicol e ácido maleico, por Vorlander em 1894. Como estes polímeros possuem ligações duplas, podemos ter uma polimerização de cadeia radical. Este tipo de polimerização é melhorada quando o poliéster insaturado é dissolvido em um monômero vinil líquido, como o estireno ou o metil metacrilato, na presença de um iniciador, como o peróxido benzoil, e um promotor, como o dimetilanilina. Estes sistemas poliéster (resinas de contato) foram patenteadas por Ellis e Rust em 1936).

A resistência destes poliésteres é melhorada recolocando partes de ácido maleico ou anidrido por ácido ftálico ou anidrido, e re-

forçado de resinas com fibras de vidro na forma de mecha, esteira, ou pano. Resistência a chama é obtida trocando partes de ácido dicarboxílico por compostos reativos halogenados como o anidrido clorêndico, ou por retardantes de chama como o óxido antimônico.

Poliésteres são caracterizados por baixo custo e facilidade de fabricação de estrutura intrincada. Poliésteres reforçados são usados como materiais de construção de barcos, automóveis, aviões, e estruturas ramificadas. A produção anual deste tipo de poliésteres nos Estados Unidos é em média de 500 milhões de libras.

Um éster dialilo obtido através de condensação do ácido alilo carbonato e dietileno glicol (Cr 39, Pittsburg Plate Glass Co.) vem sendo aplicados em resinas de fundição. Entretanto, a maioria das resinas alilo éster são produzidas pela polimerização de reação em cadeia do dialilo ftálico (Dapton, Food Machinery Corp.). Essas resinas, que são usadas em laminados e moldagem por compressão de fragmentados, têm boas propriedades elétricas e resistência ao calor.

Etil metacrilato foi sintetizado por Frankland e Dupper em 1865 e polimerizado por Fittig e Paul em 1877. Resinas acrílicas foram produzidas com finalidades comerciais em 1927, usando procedimentos esboçados na dissertação de doutoramento em Rohm em 1901.

Monômeros acrílicos podem ser polimerizados através de todas as técnicas de polimerização em reação em cadeia, mas o método de massa é usado mais intensamente. Resinas acrílicas (Plexiglas, Rohm and Haas Co., Lucite, Du Pont) são caracterizadas por exce-

Ientes propriedades óticas e boa resistência ao desgate. Elas podem ser extrudadas, fundidas ou injetadas. As principais são: plástico transparentes como matérias envidraçados; lustres; painéis de display; e dentaduras. Mais de 275 milhões de libras é a produção anual, nos Estados Unidos, destes plásticos acrílicos. Klatte em 1912 obteve o acetato vinil da reação de ácido acético e acetileno. O poliacetato vinil vem sendo comercializado desde 1920. Apesar de ser mais usado o processo de suspensão, todos os processos de polimerização de reação em cadeia são aplicados. Copolímeros do acetato vinil com cloreto vinil e etileno são usados em resinas de modelagem e extrusão; o homopolímero é usado principalmente com adesivo, em tintas, e para produção de polialcool vinil. Gelvitol (Shawinigan Resins Corp.) e Elvanol (Du Pont) podem ser produzidos por ácido e alcoólise alcalino do poliacetato vinil. Esta resina é caracterizada por excelente solubilidade em água e resistência fora do normal para solventes orgânicos. Ela vem sendo usada em adesivos solúveis em água, goma, revestimento, filme e fibras (Kurlon). Para usar como fibra ela é recombinada com formaldeído para devolver a isolubilidade em água. Técnicas similares são empregadas para tubulações e tubos (Resistoflex Corp.).

Poliacetatos vinil são produzidos por reação de polialcool vinil e aldeídos, como o formaldeído e butiraldeído. Poliformal vinil (Formvar, Shawinigan) é usado em revestimento de arame. O principal uso do polibutal vinil (Saflex, Monsanto Co., Butvar, Shawinigan, Butacite, Du Pont) é como camada interna de lâminas de vidros inquebráveis.

Cloreto de vinilideno foi descrito por Regnault em 1838. Copolímeros do cloreto de vinilideno e cloreto vinil (saran) foram produzidos por Wiley em 1936. Este tipo de polímero, que pode ser produzido por uma técnica de polimerização de reação em cadeia, tem boa resistência a corrosivos e chama. Sarans podem ser injetados e extrudados. Suas principais aplicações são monofilamentos, tubos e filme.

Os plásticos de fluor foram descobertos por Plunkett em 1938, quando politetrafluor etileno sólido formou-se em um cilindro contendo tetrafluor etileno. O polímero é caracterizado pelas excelentes propriedades elétricas e baixo coeficiente de fricção. Por causa da cristalização e resistência ao calor, técnicas similares aos métodos de fabricação de metal em pó devem ser usadas para produzir peças moldadas e extrudadas. Os plásticos de fluor são usados em revestimentos, tubulações e trocadores de calor.

Etíleno-propileno fluorado (FEP) copolímero tem todas as propriedades mais desejadas do polímero tetrafluor etileno, mas é processado mais facilmente. Por sua vez, policlorotrifluor etileno (PCTFE) (Kel-F, 3M Co., Plaskon, Allied Chemical Corp.) e polifluoreto vinilideno (kynar, Pennsalt, Chemicals Corp.) são também processados mais rapidamente. Polifluoreto vinil (Tedlar, DuPont) em filme vem sendo comercializado desde 1962. Sua principal aplicação é o revestimento termo-resistente.

Resinas sintéticas também são produzidas através da polimerização de frações insaturadas de nafta da alcatrão. O principal monômero, benzofurano indeno, é polimerização a baixa temperatura com ácido sulfúrico concentrado. Estas resinas são usadas principal-

mente para ladrilho e como ingredientes da composição do "hot-melt" (matéria prima derretida).

Poliésteres alkyl vinil também são produzidos por polimerização iônica a baixa temperatura. Trifluoreto de boro, na presença de um traço de água, pode ser usado como catalisador. Estes polímeros e copolímeros (Acronal, General Aniline & Film Corp.) têm boas propriedades adesivas e solubilidade em água. Eles são usados como adesivos sensíveis a pressão e revestimentos.

Produzido a partir do alcatrão, o carbazol pode recombinar com acetileno para chegar em um monômero polimerizável. Polivinil-carbazol (Polectron, General Aniline), obtido através de uma polimerização em massa do monômero, é caracterizado por boas propriedades elétricas, sendo usado até como capacitor dielétrico.

Obtida da amoniação da butirolactona, a 2-pirolidona pode ser vinilada pelo acetileno. A N-vinil-2-pirolidona pode ser polimerizada na água para chegar na solução aquosa de polivinilpirrolidona (Kollidon, General Aniline). Este polímero é solúvel em água em muitos solventes orgânicos polares. Ele é usado em lacas de cabelo, como substituto para o plasma do sangue, e para remover os ingredientes formadores de cor nas indústrias farmacêuticas e de cerveja.

#### 7- Composição dos Plásticos

Aditivos, como estabilizantes, retardantes de chama, corantes, plastizadores, agentes reforçadores e ajudantes de processamento, são geralmente adicionados nas resinas para produzir plásticos em condições satisfatórias para sua aplicação final. O processo de

adição destes ingredientes é chamado de composição que é o termo usado na tecnologia de borracha natural.

A composição dos plásticos pode ser feita em um triturador de dois rolos, numa extrusora ou num misturador Banbury (Farrel Corp.). Concentrados ou em combinação padrão podem ser fabricados e misturados com resina virgem na trituração anterior ao final do processo. Os rolos do triturador de dois rolos operam com temperatura e velocidades diferentes. Apesar da simplicidade da trituração, a extrusão é geralmente preferida, desde que uma extrusora pode operar continuamente para produzir fios, que podem ser cortados com facas rotativas, produzindo fragmentos uniformes.

A maioria dos polímeros que se parecem com borracha natural são sujeitos a serem oxidados e degradados pelo oxigênio atmosférico, particularmente a alta temperatura e na presença de luz solar. A energia da radiação ultra-violeta do sol, é suficiente para romper as ligações covalentes e chegar a oxidação de polímeros orgânicos. A suscetibilidade dos problemas para degradação ultra-violeta (fotólise) varia desde produtos resistentes, como o polivinil fluorado, até aqueles que são facilmente atacados, como o polivinil clorado e polipropileno. Absorventes ou estabilizantes ultra-violetas comerciais, absorvem este tipo de radiação dentro de um espectro (300-400 milimicron) e converte em radiação com comprimento de onda menos energético. Muitos estabilizantes também servem como "armadilhas" de radicais livres e assim previnem a propagação foto degradante, que é o inverso do que ocorre na polimerização de reação em cadeia.

Os principais estabilizantes ultra-violeta comerciais são derivados do 2-hidroxibenzenona, 2-(2'-hidroxifenil) benzotriazola, 2-(hidroxifenil) triazine, alkyl (2-ciano-3-fenil) cinamatos (substituindo acrilonitrila), ácido salicílico. A quantidade de estabilizante usada é baseada em testes empíricos e econômicos, e geralmente são usados por volta de 0,25% da quantidade do polímero presente.

Desde que a velocidade da degradação oxidante aumenta com a temperatura, mesmo na ausência de luz solar, anti-oxidantes são adicionados a polímeros orgânicos para minimizar este tipo de deterioração durante o processo e o serviço. Muito desta tecnologia vem sendo desenvolvida por cientistas de tecnologia de borracha e adaptada a indústria plástica. Fenóis retardadores, como o 2,6-di-tert-butil-p-cresol, e fosfatos aryl são usados adicionados em resinas como o polipropileno. A degradação oxidante também é reduzida pela adição de "negro-de-fumo" e pelo processamento com ausência de oxigênio.

Polímeros como o cloreto polivinil são dehidrocloretrados na presença de luz solar e temperatura elevada. Sais de chumbo vêm sendo usados para esta auto-decomposição catalítica, mas sais de cálcio, cádmio e zinco em ácido orgânicos, como ácido esteárico são preferidos por considerações tóxicas. Efeitos sinérgicos são notados quando mais que um estabilizante é adicionado no sistema polímero.

Como uma das aplicações dos plásticos é como material de construção, algumas considerações sobre combustibilidade, propagação de chama e formação de fumaça são importantes, além de serem úteis

para outras aplicações como na indústria automobilística. Alguns polímeros, como o polivinil clorado e politetrafluoretileno são auto extingüíveis a temperatura de combustão normal, mas algumas fibras de vidro do tipo leve não são completamente resistentes a chama, a elevadas temperaturas em atmosfera de oxigênio. Sendo assim, é comum adicionar retardantes de chama em vários polímeros.

Resistência a chama pode ser melhorada se compostos clorados polimerizáveis (ácido clorêndico e políoleos contendo fósforo) forem usados para recolocar os ácidos e os glicois normalmente utilizados na produção de poliésteres e poliuretanas. Outros retardantes (trióxido de antimônio, tricresil fosfato e polietileno clorado) são geralmente adicionados no polímero. Combustão, e outros tipos de degradação, é uma reação em cadeia envolvendo radicais livres. Como no caso de outros estabilizantes, misturas de retardantes de chama podem ter efeitos sinérgicos.

As propriedades estéticas dos plásticos são melhoradas por adição de corantes. Pigmentos inorgânicos (dióxido de titânio) e orgânicos (ftalociaminas e tintas) podem ser usados. Para obter cores opacas, pigmentos brancos são frequentemente misturados com outros pigmentos. Isto é conveniente para usar uma mistura padrão concentrada e misturar com outro polímero sem pigmento. Em muitos casos de materiais com dispersão uniforme de cor podem ser obtidos se o pigmento e o polímero, finamente dividido, são misturados a seco antes da extrusão e injeção.

O primeiro registro do uso comercial de plastilizantes foi a adição de canfor ao nitrato de celulose, produzindo celulóide, por

Hyatt e Parkes em 1868. Os principais plastilizantes usados hoje são ftalátos dialkil (ftalato dioctil), fosfatos aril (fosfato tricresil) e ésteres de ácidos dicarboxílico alifáticos (adipato dioctil). Também são usados poliésteres não voláteis como elastômeros acrilonitrila butadieno e óleos vegetais epoxidados. O último também atua como estabilizantes em plásticos polivinil clorados. Mais de um bilhão de libras de plastilizantes são usados anualmente nos Estados Unidos. A maior parte desta produção é usado para plastificar polivinil clorado.

Os plastilizantes atuam reduzindo as forças intermoleculares (Van der Walls) entre as cadeias poliméricas. Na maioria dos plastilizantes utilizados temos parâmetros de solubilidade similares daqueles polímeros não plastilizados. Materiais poliméricos divididos em pequenos pedaços obtidos por coagulação ou spray seco de emulsões ou dispersões de polímeros são cobertos com uma fina camada de agentes ativos superficiais, que protegem de ataque de solventes e plastilizantes a temperatura ambiente. Dispersões destas partículas de polímeros em líquidos plastilizantes ("plastisols") podem ser decantadas dentro dos moldes. Quando estes últimos são aquecidos a temperaturas elevadas (325° F), os plastilizantes penetram dentro dos polímeros e um sólido plastilizante polímero é obtido da mesma forma que o molde.

Os vantajosos usos de palha como agente reforçador na manufatura de blocos foram identificados por acaso. Enchimento com serragem foi usado por Backeland para reforçar resinas fenólicas. O "negro-de-fumo" é um ingrediente essencial da formulação de composições de borracha. Outros enchimentos importantes são alfa-celul-

lose, asbestos, sílica, e fibra de vidro, sendo que este é usado vantajosamente tanto em termoplásticos como em termofixos.

Aqueles enchimentos que não são simples de explicar, são demonstrados pela melhoria das propriedades das composições de plásticos reforçados. Por exemplo, as fibras de vidro têm em pequeno efeito reforçador que é removido da superfície das fibras. O reforçamento é realçado pela adição de agentes agregantes como os silanos. Reforçadores podem ser usados como partículas pequenas ou fibras, mecha e tecidos trançados. Filamentos contínuos de grafite e boro e cristais soltos ("whiskers") são usados na produção de fortes composições resistentes a temperatura.

Por causa de sua combustibilidade, celulóide natural não pode ser processada a temperaturas elevadas. Portanto, solventes são adicionados para ajudar nas operações de formação e pressões ordinárias. Outros ajudantes de processo como os lubrificantes de molde também são adicionados para ajudar o processamento de plásticos e na fabricação da moderna tecnologia plástica.

#### 8- Processamento dos Plásticos

As principais técnicas utilizadas para transformar polímeros em perfis são modelagem por compressão (incluindo modelagem de transferência), extrusão e injeção. Técnicas especializadas de processamento incluem fundição, modelagem de sopro, modelagem de pó, modelagem de espuma, calandragem, lamination, termoformação, caldeamento, e numerosas técnicas convencionais de processamento.

### 8.1- Modelagem por Compressão

Este é um refinamento dos processos clássicos usados nas indústrias de cerâmicas e cimentos que endurecem em água. Fundamentos de hidráulica, que foram desenvolvidos por Pascal em 1653, foram aplicados em borracha e em composições de modelagem a frio, no século dezenove. Este último geralmente consiste de enchimentos, como asbestos, em resinas aglutinantes que endurecem quando aquecidas a baixa pressão na cavidade fechada (molde). A transformação do sólido moldável para um artigo rígido pode resultar depois da remoção do molde através da perda de solvente do plástico carregado ou pela polimerização de resinas líquidas como as resinas fenólicas estágio-A. Estas técnicas de modelagem a frio foram patenteadas por Hyatt em 1870. Artigos moldados a frio são caracterizados pela superfície fosca e pela falta de precisão na reprodução da forma do molde, como resultado da contração, que pode ser superior a 5%. Caixas de bateria, algumas partes elétricas, e pré-formados para modelagem a quente são produzidos através de modelagem a frio. Aquecer partes do molde frio, depois de remover a peça, é comum.

O processo de moldagem de compressão a quente tem um rendimento superior ao processo de um estágio, e combina a moldagem por compressão e estágios de aquecimentos. Em contraste com os processos a frio, neste caso o produto precisa ser cuidadosamente dimensionado. Excesso de material pode ser usado, desde que ele possa ser expelido como um "jato", no processo a quente. As pressões de operação a altas temperaturas (por volta de 375 F) chegam a 10.000 psi.

A compressão simples pode ser usada a frio ou a quente, e em ambos os casos, a força para moldagem é aplicada apenas em uma superfície do artigo a ser moldado. Comumente, o projeto leva em conta somente força vertical. Assim o composto plástico na cavidade do molde é transformado no perfil da cavidade quando o molde fecha a baixa pressão.

Quando este molde é aquecido a baixa pressão, excesso de material escapa como um fino filme entre a superfície de cada parte do molde. Peças moldadas de termoplásticos precisam ser resfriadas antes de removidas do molde. Todavia, desde que materiais termopares (como plásticos fenólicos) curem no molde quente, eles podem ser removidos sem resfriamento de molde. A remoção de artigos moldados são facilitados pela presença de pinos extratores. O processo de compressão é usado principalmente para plásticos fenólicos, uréias, alilos e melaminos.

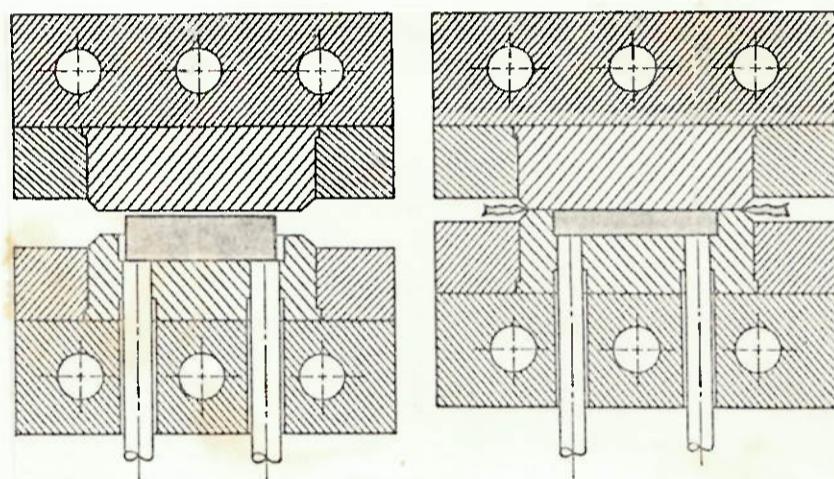


fig.1 - molde de compressão: molde aberto com peça pré formada  
molde fechado com o "jato" de material (respect. a esq. e dir.)

Quando não existe previsão de escape do material entre as duas partes materiais, ele é chamado um molde de base positiva. Se ele permitir que uma pequena quantidade de material em excesso escape, é chamado de molde semi-positivo. O tamanho das peças moldadas por compressão pode variar de pequenas, como botões, até grandes, como gavetas de escritório. Quando pequenas peças são moldadas é comum o uso de várias cavidades.

A velocidade da moldagem de compressão a quente pode ser melhorada através de uma quantidade de moldante em pó pré-formado. Estes são utilizados geralmente nas formas de tabletas, podendo ser pré-aquecidos por curagem a alta frequência antes de colocados na cavidade do molde, reduzindo os custos industriais, quando o processo é automatizado.

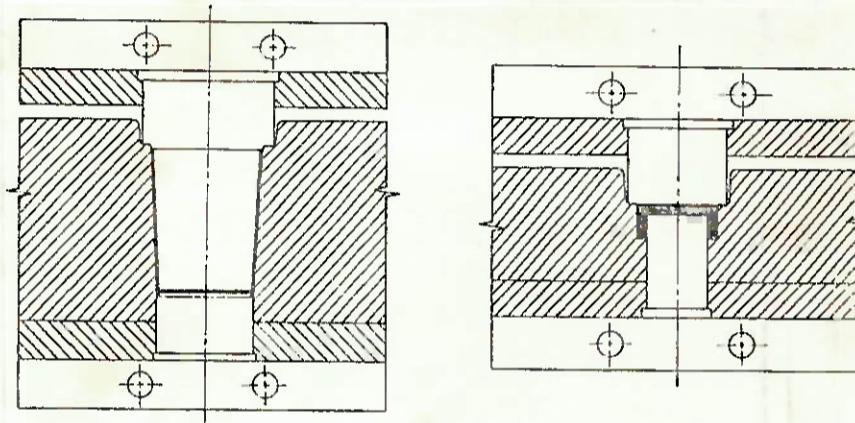


fig.2 - molde de base positiva (esq.) e base semi-positiva.

Desenvolvido em 1926, o processo de transferência pode resultar em economias adicionais de tempo e custo industrial. A moldagem é forçada por um êmbolo, a alta pressão, na cavidade do molde. A principal via, onde o material escoa é chamada de montante. O

material é transferido para a cavidade do molde através de um canal ou alimentação de material. O canal tem uma constrição na entrada do molde para que a peça possa ser facilmente destacada do canal. Esta constrição é chamada de canal de saída.

O processo de compressão vem se desenvolvendo ultimamente através do uso de jato de fluxo ou injeção em off-set, que é um processo de transferência totalmente automatizado. São usadas altas pressões e aquecimento é aplicado no material quando ele passa pelo bocal que precede a montante. O bocal é aquecido e resfriado alternadamente. Este processo é uma adaptação do processo de injeção de resinas termoplásticas.

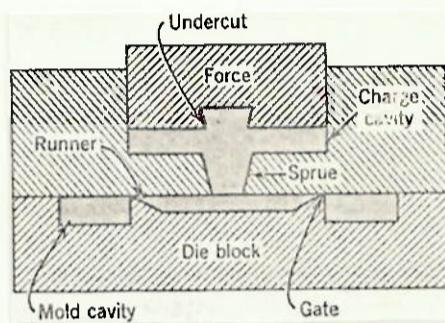


fig.3 - molde partido mostrando montante, canais, constrição e cavidade

#### **8.2- Injeção**

Este processo foi desenvolvido por Hyatt em 1872, sendo similar a fundição sobre pressão em metais. Neste ponto do trabalho, não vou detalhar muito o processo, que será o objetivo da segunda parte do trabalho.

Apesar de ter sido desenvolvido em 1872, devido aos riscos da associação com celulóide, o processo não foi usado até a década de 1920, quando o acetato de celulose foi produzido. Atualmente ele

é o processo preferido para moldar polietileno, poliestireno, polivinil clorado, e outros termoplásticos. Termofixos também são injetados, mas em menor escala, além de necessitarem de adaptações na máquina. A injetora de plástico é alimentada intermitentemente, com um material granulado, através de um funil alimentador, que controla a quantidade de material que vai ser aquecido no cilindro. O material amolecido é forçado a alta pressão em uma passagem ao "canhão", que serve como um espalhador cilíndrico, que assegura uma melhor uniformidade de aquecimento. O "semi-fluído" plástico, uniformemente misturado, é expulso por uma saída, um pequeno orifício, no bocal para a parte montante do molde, e é transportado pelos canais, chegando até as cavidades frias. Esta primeira metade do molde, onde o plástico flui, é fixa, enquanto que a outra metade fica fechada quando o plástico é injetado, e se abre quando a peça moldada fria está pronta para ser ejetada, através dos pinos extratores. Uma das grandes vantagens do processo é a reutilização do material do canal e peças defeituosas, moendo para serem reinjetadas. Algumas peças de função mais nobre ou estética, devem ser injetadas com material "virgem", isto é, que são utilizada apenas uma vez.

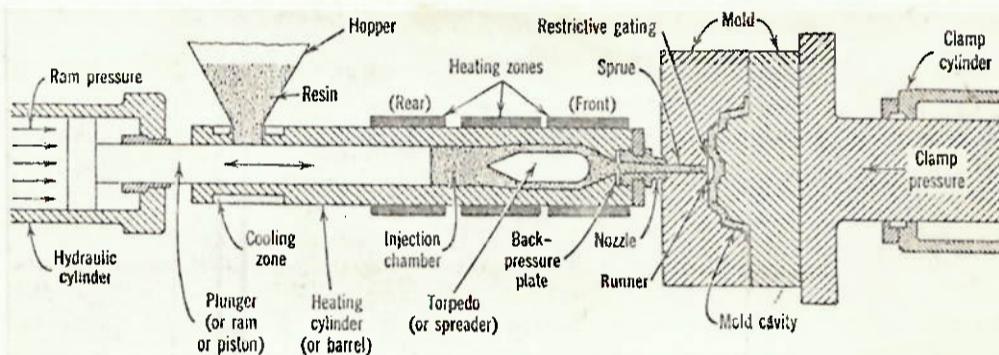


fig.4 - secção de uma injetora de plástico simples, com o molde fechado

Mais detalhes sobre as máquinas de injeção e do processo estão descritos nas outras partes do trabalho.

### **8.3- Extrusão**

A técnica moderna de extrusão foi patenteada por Bewley em 1844, sendo uma adaptação de uma extrusora usada para cerâmica. O material plástico granulado (geralmente termoplástico) alimenta continuamente, através do funil, o cilindro de aquecimento, que por um parafuso transportador (princípio de Arquimedes), força o material amolecido através do molde, que tem o perfil a ser moldado. A temperatura do material plástico é aumentada durante o transporte, pelo contato com as paredes quentes da barra e pelo calor de atrito desenvolvido durante o processo.

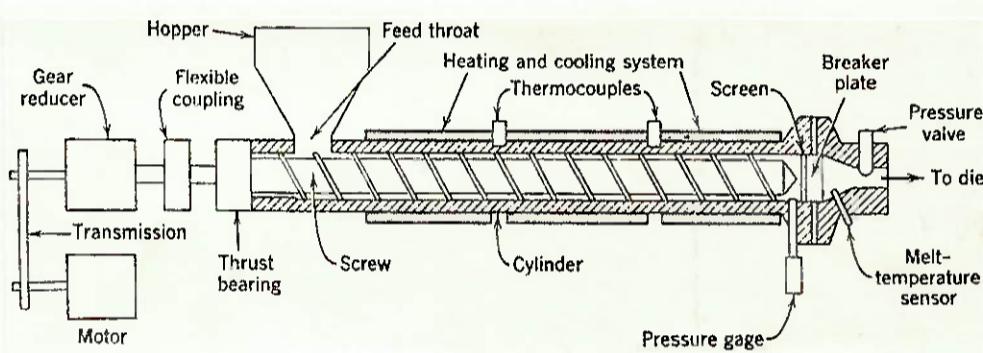


fig.5 - seção interna de uma extrusora

O parafuso tem ângulo de hélice ou passo constante, mas o canal ou depressão é menor na zona de plastificação (perto da saída), do que nas zonas de transporte e alimentação. A razão entre o volume da alimentação e saída da plastificação chamada de razão

de compressão, que é pelo menos 2 para 1, o que resulta uma pressão contrária ao fluxo, que precisa ser neutralizada por uma força de arrasto, na medida que um fluxo líquido positivo do plástico derretido sai pelo molde. Tubos, hastes e perfis de várias formas, podem ser feitos continuamente por este processo de extrusão.

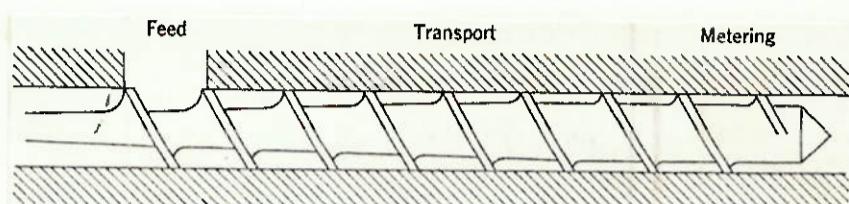


fig.6 - secção de uma rosca de extrusora com passo constante e canal ou depressão variável

Aproximadamente, 1 bilhão de pés de tubos termoplásticos são extrudados anualmente nos Estados Unidos. Plásticos também são extrudados através de uma fenda molde para formar lâminas de comprimento contínuo. Filme fino é produzido por extrusão de termoplástico, por um molde circular, e expande o tubo por sopro de ar ou outros gases, que depois é cortado e colocados em rolos. Este processo pode ser modificado para a produção de revestimento de fio e para papelão revestido. Lâminas transparentes podem ser produzidas de polimetil metacrilato.

#### 8.4- Técnicas Especiais

Pecas podem ser embutidas em plásticos sólidos e moldes usinados, não caros, podendo ser produzidas através de fundição. Neste processo, o plástico quente é derramado dentro de uma cavidade fria do molde, ou um polímero líquido (como resina epóxi) é con-

vertido em artigo usável por uma polimerização adicional (curagem) na presença de catalizador. O processo de fundição foi usado por Backeland no início dos anos 1900 convertendo resinas fenólicas líquidas estágio-A para produtos sólidos infundíveis estágio-C. Um processo similar ao de fundição também vem sendo usado para artigos de tamanho limitado de resinas epóxi e de poliéster. Termoplásticos derretidos como etilcelulose, copolímeros de etileno e resinas de petróleo podem ser fundidas em vários perfis, em moldes apropriados.

Pecas vazadas, como garrafas, podem ser produzidas por moldagem de sopro. A simplicidade deste tipo de projeto consiste na vedação da borda externa de duas placas de plástico que é aquecido e inflado, produzindo o envoltório. Este processo clássico de sopro vem sendo usado para fabricar chocalho de bebê, bonecas, etc, das placas de celulóide. O invólucro (formato preliminar) também pode ser produzido por injeção de plástico em volta de um mandril e expandindo forma preliminar em um molde tendo o formato desejado.

No processo mais amplamente usado, o tubo de plástico extrudado é fechado em um formato preliminar, que é inflado por ar no molde. Mais de 4 bilhões de garrafas são produzidas, anualmente, nos Estados Unidos, em equipamentos de sopro totalmente automatizados. Polietileno de alta densidade é o plástico preferido, mas alguns polietilenos de baixa densidade e polivinil clorados são também usados para a modelagem de sopro das garrafas.

Bulbos de seringa, bolas, luvas e cabeça de bonecas são produzidos por modelagem por engraxamento de polivinil clorados ("plas-

tisols"). Neste processo, uma dispersão de polivinil clorado, finalmente dividido, em um líquido plastilizante ("plastisol") é vazado dentro de uma cavidade presa do molde, que é aquecida até 350-400 F para produzir um sólido flexível por fusão do plastilizante e do polímero. A espessura da peça moldada depende do tempo de espera dentro do molde. O excesso de líquido é vazado para fora e pode ser reutilizado. O "plastisol" remanescente no molde é fundido e esfriado antes de removido da cavidade do molde.

O processo de moldagem por pó assemelha-se com o processo por engravamento, mas usa polietileno finamente dividido no lugar do "plastisol" líquido. O processo consiste em colocar o polímero em pó dentro de um molde quente oco e fundir o material. O excesso de material é retirado do molde e o resíduo é completamente fundido pelo aquecimento entre 400-700 F, retirando a peça oca do molde depois de resfriada. Este processo é usado para produção em larga escala de seções de tubos e tanques.

Plástico celular pode ser feito através de aumento a viscosidade de polímeros latexes e aquecimento. A maioria dos plásticos celulares são produzidos por adição de materiais gasosos ou aqueles que formam gases durante o processamento ou polimerização. Em um processo particular (Engelit), o plástico quente é misturado com carbonato de amônia e aquecido em uma chapa giratória e depois extrudado ou moldado a temperaturas elevadas. Dióxido de carbono, que é formado pela decomposição do carbonato de amônia, expande o plástico.

Em outro processo, um líquido pouco volátil, como o pentano ou o cloreto mentil, é absorvido nas "pontas" do polímero durante a suspensão da polimerização. Esta produção de gás também pode ser adicionada no processo de extrusão. Os rebordos dos polímeros contém materiais voláteis que são, geralmente pré-expandidos pela vaporização anterior a compressão.

Espumas de poliuretano rígidas ou flexíveis podem ser formadas pela polimerização na presença de um traço de água. A reação de água com o irreversível isocianato produz ácido carbâmico, que decompõe espontaneamente, formando uma amina e dióxido de carbono. A densidade da espuma pode ser controlada pela quantidade de água utilizada ou pela adição de outros materiais gasosos, como os hidrocarbonetos fluorados. Plásticos celulares são utilizados amplamente em isolamentos térmicos e sonoros, e peças que necessitam boiar ou ter elasticidade.

Chapas plásticas podem ser produzidas pela passagem do material polimérico através de uma série de rolos aquecidos (calandragem). O último rolo de calandra é endurecido e sua superfície pode ser modificada para produzir uma lâmina impressa ou em alto-relevo.

Laminados plásticos são produzidos pelo aquecimento de "sandwiches" de chapas, a alta pressão. Papel, fibras de vidro, asbestos, ou finas chapas de madeira podem ser usadas tanto com plástico líquido como em chapas. Chapas de plásticos, similares ou não, podem ser laminadas juntas. Por exemplo, papel decorativo impregnado com resina melanina líquida pode ser laminado com chapas de material de enchimento de resina, e filme de polivinil fluorado pode ser laminado na superfície de um metal ou uma chapa

de outro plástico.

Chapas de termoplásticos podem ser amolecidos por calor e conformadas por vácuo ou unindo pressão a termoformação. Alguns produtos como chapa de copolímero ABS podem ser formados a temperatura ambiente.

Tubos ou chapas de termoplásticos podem ser unidos, por um material plástico similar, por soldagem térmica ou solvente. Nesta última técnica, um solvente do plástico é pintado em ambas superfícies de contato, antes de juntadas. Soldagem por calor é o acomplimento por aquecimento de uma pequena fileira da borda plástica com gás quente e pressão nesta borda amolecida. Chapas plásticas podem também ser unidas por soldagem ultrassônica.

Por causa da facilidade de se formar materiais plásticos dentro de várias formas de moldagem e extrusão, uma pequena atenção é gasta com técnicas de fabricação. Entretanto, quando as precauções com o super-aquecimento são tomadas, muitas técnicas de trabalho com madeira e metais podem ser usadas para a fabricação de plásticos.

#### 9- Propriedades Comparativas de Materiais Plásticos

Para uma melhor visualização das diferenças entre os vários termoplásticos e termofixos, mostramos a seguir uma tabela comparativa das propriedades físicas (elétricas e mecânicas) mais importantes. O objetivo desta tabela não é mostrar os valores exatos destas propriedades, mas somente ilustrar que tipo de material pode ser preferido para as mais diversas aplicações de plásticos, principalmente em injeção.

*						
PROPRIEDADE	BAIXA	MEDIA	ALTA			
	TERMO-PLASTICOS	TERMO-FIXOS	TERMO-PLASTICOS	TERMO-FIXOS	TERMO-PLASTICOS	TERMO-FIXOS
	OLEFINI-COS	URETANAS POLIESTERI	NYLON OXIDOS AMINAS	ALILICOS SILICONES	FLUORO-PLASTICOS VINILICOS	ALQUIDI-COS
DENSIDADE	ABS	LENOS EPOXI	ESTIRENOSI	ACETAIS POLIMI-	FENOLI-COS	
			CARBONA-TOS	DIOS		
			ACRILICOSI			
			CELULOSI-COS			
			SULFONAS			
RESISTENCIA A TRACAO	OLEFINI-COS	SILICONESI URETANAS ABS	ESTIRENOSI ALQUIDI-COS	FENOLICOSI NYLON EPOXI	POLIMIDOSI	
	FLUORO-PLASTICOSI		CELULOSI-COS	CARBONA-TOS	POLIES-TERES	
			COS AMINAS	ACRILICOSI		
RIGIDEZ	OLIFINI-COS	URETANAS CARBONA-TOS	POLIESTE-RES	ACRILICOSI ACETAIS	FENOLI-COS	
(MODULO DE ELASTICIDADE)	FLUORO-PLASTICOSI	CELULOSI-COS COS AMINA	ESTIRENO	SILICONE		
		VINILICOSI ABS ALILICOS	ACETAIS	EPOXI		
		OXIDOS POLIFENI-	POLIMIDOSI			
		ACRILICOSI ALQUIDI-COS				
		LENOS COS NYLON				
		SULFONAS				
RESISTENCIA AO CHOQUE	ESTIRENOSI SULFONAS	AMINAS CELULOSI-COS	ALQUIDI-COS COS TOS	CARBONA-TOS	FENOLI-COS	
	ACRILICOSI	POLIPRO-				
	OXIDOS POLIFENI-	PILENO EPOXI	PVC			
	LENOS	ABS SILICONESI	POLIETI-			
		ESTIRENOSI LENO				
		ACETAIS POLIESTE-I				
		NYLON RES				

\*

	BAIXA	MEDIA	ALTA	
PROPRIEDADE	TERMO-PLASTICOS	TERMO-FIXOS	TERMO-PLASTICOS	TERMO-PLASTICOS
	ACETAIS	FENOLICOS	OXIDOS	SILICONES
			POLIFENI-	ESTIRENOS
RESISTIVIDADE	CELULOSI-COS	POLIESTE-RES	LENOS	AMINAS
ELETTRICA	NYLON		SULFONAS	ALQUIDI-COS
	VINILICOS		CARBONA-TOS	COS
	ACRILICOS		ABS	
	ACETAIS		ESTIRENOS	ALILICOS
	CELULOSI-COS		FLUORO-PLASTICOS	FENOLICOS
	NYLON		PLASTICOS	SILICONES
RESISTENCIA	VINILICOS		CELULOSI-AMINAS	PROPYLE-NOS
ELETTRICA	ACRILICOS		COS	OLEFINI-COS
			OXIDOS	ALQUIDI-COS
			POLIFENI-COS	
			NOS	
			ACRILICOS	
			NYLON	
			ACETAIS	
			POLIETI-	
			LENOS	
EMPREGO A	CELULOSI-COS	NYLON	POLIESTE-RES	POLIMIDOS
	VINILICOS	CARBONA-TOS		SILICONES
ALTAS	ESTIRENOS	PROPYLE-NOS	ALQUIDI-COS	OXIDOS
TEMPERATURAS	POLIETI-LENO		COS	AMINAS
	ACETAIS			POLIFENI-
	ABS			LENO
	ACRILICOS			EPOXI
				SULFONAS

\*

\*

### Injeção: O processo e as Máquinas

Nesta parte do trabalho, procuro mostrar os motivos pelos quais o processo de injeção é hoje o mais difundido entre os processos de manufatura de materiais plásticos, detalhando as máquinas, mostrando sua evolução. Nesta parte também mostro a máquina que é considerada a de melhor performance, dentro do mercado brasileiro, para peças médias e grandes, isto é, a injetora ROMI-TGR (Tornelagem Geração Romi). Esta máquina é a única máquina brasileira que foi aprovada pela Philips mundial, dentro de sua categoria (tamanho da peça a ser injetada).

#### 1. O Processo

Mais peças plásticas são feitas e maior quantidade em massa de plásticos são processados em produtos acabados, por injeção, do que por outro processo. Engenheiros familiarizados com processamento de metais, vão descobrir que o processo de injeção é aproximadamente análogo ao de fundição sobre pressão (principalmente do alumínio). As duas principais diferenças são:

1. Metais fundidos são muito menos viscosos que os plásticos e a condução de calor é muito mais rápida, por isso eles precisam ser derretidos em pequenos potes e vazados dentro do cilindro de injeção;
2. As temperaturas de trabalho são muito superiores (na ordem de centenas de graus) no processo de fundição sobre pressão, e mui-

tos problemas técnicos, como erosão do molde, são muito severos. A injeção é praticamente limitada a termoplásticos, mas também podemos injetar termofixos com algumas adaptações na máquina, que serão discutidas quando falarmos da máquina da ROMI. A máquina de injeção consiste em um êmbolo, um cilindro aquecido onde este êmbolo corre, molde refrigerado a água, dentro do qual, as forças do êmbolo fazem o plástico amolecido entrar nas cavidades. Por causa da condutibilidade térmica, de todos os plásticos, ser muito baixa, o aquecimento dos grãos dentro do cilindro é muito lento. Por esta razão, existe a vontade de tirar um proveito maior, aumentando os níveis de temperatura das paredes do metal acima da temperatura aonde é rápida a degradação do plástico, aumentando a produtividade. Quando infelizmente, a parte principal da massa do plástico está amolecida e pronta para escoar para dentro do molde, a parte que está em contato com as paredes está seriamente decomposta. Apesar desta ser apenas uma pequena fração do plástico na peça final, existem muitas circunstâncias onde há uma diminuição das propriedades e formação de uma aparência desagradável nas peças injetadas, por causa desta degradação térmica. Se o defeito não é tão sério, a peça poder ser aceita para o consumo, o que resulta em uma performance mais pobre de que aquela esperada pelos valores das propriedades publicadas. Fabricantes de material têm este grande nível de recusa, com temperaturas dos cilindros muito elevadas, mas o problema não está dentro de seu controle.

O risco de super aquecimento na injeção é reduzida substancialmente pela introdução do parafuso (ou rosca) de plastificação. Ao

invés da fusão dos grãos ser feita somente pela condução de calor através da parede do cilindro, o movimento do parafuso é usado para fundi-los pela ação do cisalhamento, como na extrusora. A partir do ponto que parte do aquecimento vem desta ação, existe menos incentivo para que o aumento das temperaturas da parede chegue a níveis perigosos. O processo oferece um número muito maior de outras vantagens, e um número estimado de 75 a 90% de todos os trabalhos correm mais satisfatoriamente em máquinas do tipo rosca do que no tipo de condução de calor. Em 1962, por volta de 15 a 20% de todas as máquinas de injeção usadas para artigos domésticos eram do tipo de plastificação por rosca, e muitas outras máquinas estavam sendo convertidas para este tipo de máquina. Hoje em dia é praticamente só usado este tipo de máquina.

Um segundo fator importante, para que se determine propriedades das peças injetadas, é o escoamento e resfriamento no molde. A partir do ponto que o molde é mantido relativamente frio, parte do fluido que está entrando, esfria imediatamente nas superfícies frias, enquanto que o resto é endurecido, mais ou menos rapidamente. O endurecimento se dá durante ou logo após o escoamento, e tensões, que se elevam durante o escoamento, são congeladas dentro da peça final. Em algumas peças de paredes finas, estas tensões são tão severas que elas deformam a peça quando ela é retirada do confinamento do molde. Em alguns casos as temperaturas do material fundido e do molde são aumentadas para reduzir as tensões incovenientes e o grau que elas são conservadas. Entretanto, deve-se tomar cuidado, pois o aumento da temperatura sig-

nifica que mais calor deve ser colocado e depois removido de cada libra de plástico processado. Ele aumenta o ciclo da máquina e o custo do tempo da máquina e do trabalho. Sendo assim, o projeto dever ser feito para requerer o mínimo esforço para produzir, aceitavelmente, baixa deformação. Estas mesmas tensões de resfriamento, que podem ser vistas facilmente em uma peça transparente com a adição de duas lâminas de luz polarizadas, reduzem a tensão que a peça pode suportar de cargas externas. Assim, em outras palavras, as propriedades de peças injetadas podem ser significativamente abaixo do que aquelas publicadas para os materiais. Esta diferença é particularmente grande em seções onde a razão entre a área e a espessura da parede (que pode ser chamada de distância relativa de escoamento) é maior que 1000 polegadas. O terceiro fator que influencia as propriedades das peças injetadas é a micro-estrutura do plástico moldado. Certos plásticos como os poliolefínicos, nylons e resinas acetais são mais ou menos cristalinos em suas estruturas. Seções grossas permitem um resfriamento mais lento, podendo ter um desenvolvimento de uma alta percentagem de cristalização. Por outro lado, se as finas seções destes plásticos são resfriados muito rapidamente, existe um pequeno tempo para a nucleação e crescimento dos cristais, e peças de rápido resfriamento podem quase não ter cristalização. Em praticamente todas as injeções, existe uma pequena casca em cada lado de 5 a 10 milésimos de polegadas ("mils") de grossura, na qual a cristalização é muito lenta. Em geral, a resistência a tração e o módulo de elasticidade aumenta com o aumento da cristalização, enquanto que a resistência ao impacto e a elongação

diminuem. Estas cascas amorfas podem influenciar substancialmente as propriedades em peças de paredes muito finas. O projeto deve suportar, a princípio, os dados dos testes de plásticos mais publicados, que são obtidos em peças que a menor dimensão é 1/8 de polegada.

No processo de injeção convencional pode-se fazer qualquer tipo de perfil, com exceção de peças oca (só injeção a sopro), superfícies fechadas e peças pesando mais que 20 libras ou maiores que 1500 polegadas quadradas de área projetada (área perpendicular a força de fechamento e paralela as faces de separação do molde). Estes limites foram consideravelmente aumentados ultimamente. Os custos de fabricação dos moldes e de injeção podem ser substancialmente reduzidos se sobre cortes são eliminados e se o molde pode ser operado abrindo apenas ao longo de uma face ou linha de divisão. Entretanto, isto só é possível através de um projeto de ferramenta inteligente, e ao longo do tempo, isto é da prática, podemos projetar paredes dos moldes sobre cortadas, filetes de rosca internas, furos de inclinação zero, e muitas outras formas complexas. Partindo do ponto que curvas suaves são mais agradáveis aos olhos do que mudanças abruptas de direção, ângulos agudos são pobres do ponto de vista de concentração de tensões, e o escoamento do plástico durante o enchimento do molde é melhorado por direcionamento macio e transição seccionada, é desejável que se use curvatura em projeto onde ela não interfira na função da peça.

Para ilustrar a versatilidade e capacidade da injeção, algumas peças interessantes são descritas aqui:

1. Exemplos de peças com saliências são os muitos tipos de válvulas usadas em lavadoras de roupas automáticas. Cada uma destas peças tem muitos detalhes, incluindo sobre cortes nas direções perpendiculares e filetes de roscas moldados;
2. Engrenagens de dentes retos, de alta precisão, para máquinas comerciais e instrumentos, são moldadas em uma enorme variedade de tipos, em vários plásticos;
3. Caixas de bateria de poliestireno para baterias de empilhadeiras industriais têm paredes finas, furos profundos, e peso superior a 16 libras;
4. Peças muito complexas para trens de brinquedo;
5. O corpo de um regador de jardim, incluindo o bico e alça do topo, pode ser moldada em uma peça;
6. Prateleiras complexas e forros do compartimento interno de refrigeradores, pesando muitas libras e tendo uma área projetada perto do limite de 1500 polegadas quadradas;
7. Chaves de duas cores para máquinas comerciais, tendo números de uma cor moldados diretamente em uma base moldada de outra cor;
8. Pistola de brinquedo, oca por dentro do cano até o botão do punho, é uma peça projetada para atirar uma bola de "ping-pong" no "inimigo", quando o punho é apertado;
9. Roscas de tampas para garrafas de bebidas, com sobre cortes talhando uma superfície lateral das tampas cônicas, que são feitas em cavidades que fecha centrando, automaticamente sem rosca da tampa com o molde aberto;
10. Uma grande variedade de atrativos, duráveis e bem projetados cabos e acoplamentos para hardware, e aplicados na fabricação,

muitos deles tendo sobre cortes, rasgos e filetes de metais inserados.

Uma das desvantagens da injeção, e certamente de todos os processos a alta pressão, é o alto custo de moldes duráveis. Altas tensões e escoamentos erosivos, induzidos pelas altas pressões aplicadas, levam os materiais de construção rapidamente ao colapso, e para lotes grandes de produção, o molde precisa ser fabricado meticulosamente com aços ferramenta de alta qualidade, e ter tratamento térmico e acabamento adequado. Certos moldes, para pequenos lotes ou para produção de teste ou amostra de mercado, podem ser feitos de alumínio, metais ligados, sempre reforçados com plásticos epóxis. Como os moldes são feitos para uma performance bastante diferenciada daqueles moldes de aço para produção, enquanto eles podem fornecer amostras mais representativas do ítem de produção do que uma amostra fabricada de um bloco ou fundido de resinas diferentes, a consistência final e dimensional é geralmente mais pobre. Tempo de ciclo também será diferente, assim, nos custos estimados de produção, ciclos baseados em moldes temporários não devem ser assumidos para a aplicação de molde feito de aço.

Para se ter controle melhor do processo, as máquinas de injeção necessitam de uma qualidade uniforme de material. Este enfoque é fundamental para que todos os sistemas de controle da máquina tenham validade e para produzir peças com a qualidade esperada.

Um volume ou massa de carga inadequados pode resultar em partes vazias, e produtos de baixa densidade e propriedades pobres. Super enchimento do molde causa uma ligeira abertura do molde e de-

envolve uma grande rebarba na linha de divisão do molde, onde o excesso de material escapa. Super enchimento também resulta em peças que esticam e quebram durante a ejeção, bem como peças acima da dimensão devido a expansão elástica, após a retirada do molde. Um ajuste de alimentação cuidadoso precisa ser conseguido durante o "start-up" do molde.

Um tempo de atraso é esperado entre o ajuste e o resultado do ajuste, de modo que a regulagem de todos os controles precisa ser feita vagarosamente, com o tempo de espera apropriado entre os ajustes. Isto é especialmente necessário nas mudanças de alimentação e temperaturas, que requerem um intervalo considerável entre os ajustes para conseguir um efeito final de uma mudança e equilíbrio. Qualquer mudança no tempo do ciclo pode alterar o tempo de aquecimento.

Outro ponto importante é a secagem. A umidade precisa ser removida, quando está presente, e uma série de secadores são utilizados para este propósito. Aquecimento sem movimentação de ar no secador é inútil, pois a corrente de ar é essencial para qualquer operação de secagem. Autoclaves rasos são muito usados para este propósito. A melhor secagem é conseguida através de um sistema de circulação de ar fechado, com um desumidificador para remover a umidade absorvida pelo ar. Sistemas totalmente automatizados são usados, bombeando o material para fora dos recipientes, secos, pré aquecidos e descarregados sob pressão no funil de alimentação de um sistema fechado, o que também protege de contaminação. Materiais brancos puros, por exemplo, se pegarem partículas de sujeira serão totalmente inutilizados, e podem ser prote-

gidos em sistemas totalmente fechados.

A mistura é necessária em muitos casos de realimentação de canais produzidos em cada ciclo, sendo que ela se torna mais eficiente se for feita em cada ciclo. Um sistema simples consiste no próprio operador poder cortar o canal em pequenos pedaços com um alicate, e jogá-los no funil juntamente com o material virgem. Em pequenos programas de trabalho, muitas vezes, arma-se um moinho ao lado da máquina, que o operador pode alimentar com canais das peças, e depois, limpando o moinho de tempos em tempos, o seu conteúdo é misturado com as mãos em um tambor de material virgem. Produtos e trabalhos em massa requerem um rigoroso controle de qualidade do material, feito por moinhos misturadores e alimentadores automáticos, que alimentam um misturador com uma mistura de material virgem e retriturando em moinhos, dentro de condições controladas rigorosamente.

Sem dúvida a grande vantagem do processo de injeção é o reaproveitamento do material de peças ruins e que sobram no processo (canais de injeção). Materiais semelhantes puros podem ser misturados, em uma razão de 20% de remoidos e 80% de material virgem. É extremamente importante ser evitada a mistura de vários tipos de materiais. Muitas vezes, quando se tem uma preocupação com a estética da peça, não se pode injetar com material levemente contaminado. Quando existe a troca de material na máquina, é importante verificar se o material a ser colocado não tem grandes problemas de contaminação com o material que já está na máquina. Neste caso é muito importante esvaziar o cilindro, para que não sobre nenhum vestígio do material anterior. Materiais de mesmo

tipo, mas com diferenças no escoamento do fluido, podem provocar uma degradação térmica, que tem as consequências já citadas, como a peça sair opaca, perda de propriedades, etc. Todos os outros materiais estranhos precisam ser removidos do plástico fragmentando antes dele ser usado. Fragmentos multi-coloridos do mesmo material podem ser usados em produtos que vão ser folheados, ou podem trabalhar com cores concentradas, em peças pretas, e assim, conseguir 100% de recuperação.

O fabricante de peças pode comprar o material já colorido dentro de sua especificação, ou ele pode escolher a cor, preparando ele mesmo o material. Isto é muitas vezes desejável, sendo estocado o material básico limpo e os colorindo conforme cada trabalho. A coloração é feita por adição de um pigmento colorido puro, ou também, pelo uso de cores concentradas. Uma melhor dispersão é conseguida quando são usadas máquinas do tipo rosca. Máquinas de pistão e êmbolo precisam usar bocais de dispersão, para se obter a dispersão de cor desejada. Coloração seca é completada antes dos secadores serem empregados.

Depois de todos os fatores informados anteriormente, é importante lembrar que a uniformidade dos ciclos é essencial para a alta qualidade das peças injetadas. Tempo de ciclo errado muda a quantidade de calor e a plasticidade. Materiais secos, mínima pressão de injeção, enchimento uniforme, e o tempo de endurecimento (ou resfriamento), são todos fatores essenciais para se ter bons processos de injeção.

## 2- As Máquinas

Como já foi explicado anteriormente, o processo de injeção consiste em empurrar o material plastificado para dentro da cavidade do molde, onde é resfriado e solidificado, antes da peça ser removida. A primeira máquina de injeção de plástico foi patenteada em 1872, pelos irmãos Hyatt (que ajudaram muito o desenvolvimento da tecnologia plástica). A principal diferença entre o processo em termoplásticos e termofixos, é que no segundo a peça endurece por uma mudança química, e no outro, apenas uma mudança física. Injeção automática é muitas vezes feita por máquinas, que executam cada operação em sequência, com os passos controlados por dispositivos eletro-mecânicos. Em um processo semi-automático o operador remove a peça do molde ou pressiona depois de cada ciclo, e limpando a abertura do canal, começa o próximo ciclo. Este tipo de máquina é muito comum no Brasil, sendo que o fechamento e a abertura são determinados pelo operador. Esta máquina é conhecida como "mula manca". Em um processo totalmente automatizado, todas as operações são controladas pelo relógio e uma máquina controla as peças de tempo em tempo, retirando a caixa quando completa. O funil de alimentação é enchido automaticamente com composto pré-condicionado.

Uma máquina com controles melhores significa um processo mais uniforme, e diminuição de custos. Os controles necessários para conseguir um bom ajuste são:

1. Quantidade apropriada do composto em cada injeção;
2. Plastificação adequada para o composto;
3. Controle adequado de temperatura;

4. Pressões de fechamento, abertura e injeção;
5. Velocidade de enchimento do molde;
6. Temperatura do molde;
7. Tempos de abertura, fechamento, enchimento, esfriamento e ejeção.

Todos estes controles devem ser exercidos pela máquina.

As máquinas de injeção podem ser definidas como máquinas que plastificam e injetam materiais dentro de um molde prensado. Este fechamento, prensando o molde, pode ser feito de várias formas, mas a mais usada é o travamento com uma alavanca articulada, e o que suporta a pressão é a tração que deforma as colunas. Em países mais desenvolvidos, as máquinas são movimentadas por motores de corrente contínua, para que se possa usar CNC com a precisão desejada, mas aqui, e na maioria das máquinas em uso no mundo, é usado um sistema hidráulico. Antigamente, o fechamento da máquina era feito apenas por um pistão hidráulico, mas isto pode acarretar uma ligeira abertura no molde, aumentando a rebarba e prejudicando o enchimento uniforme da cavidade.

O campo de atuação de máquinas de injeção, hoje em dia, parte de peças menores que 1 onça até maiores que 20 libras, podendo ser verticais ou horizontais.

Quanto a forma de plastificar, atualmente são usadas 4 formas: injeção com êmbolo, pré-plastificador de dois estágios com êmbolo, pré-plastificador de dois estágios com rosca e de rosca alternativa. A experiência dos fabricantes mostra que esta última máquina é, exclusivamente, para demandas de capacidades superiores a 2 onças, mas isto pode ser contornado com moldes de multi-

plas cavidades. Apesar disto, é o tipo de máquina mais usada nos dias de hoje, que é o caso da ROMI-TGR.

#### 2.1- Cilindro de injeção com êmbolo

Como já foi visto anteriormente, esta máquina consiste em um cilindro ou canhão aquecido com faixas de resistências elétricas, no qual está colocado o espalhador ou torpedo. O interior do canhão e a superfície do espalhador são, geralmente, folheados de cromo ou nitretados, para melhorar a resistência ao desgaste e a corrosão. O espalhador é também aquecido eletricamente em algumas máquinas. As faixas de aquecimento do canhão são, geralmente, colocados em zonas, para conseguir o gradiente de temperatura requerido ao longo do cilindro.

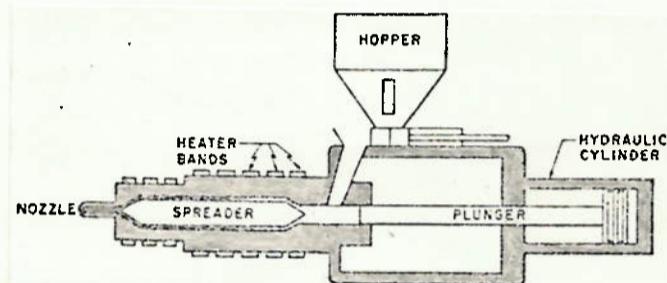


fig.7 - cilindro de injeção convencional tipo êmbolo

O êmbolo força o plástico granulado, alimentado pelo funil, através da passagem entre o canhão e o torpedo. Como os grânulos se movem livremente até o bocal, eles são fundidos pelo calor obtido do cilindro e do torpedo. Os grãos que alimentam o cilindro pelo volume ou pelo peso, são depositados dentro do cilindro, em uma quantidade precisamente medida de carga. Esta carga é igual a carga de injeção, que consiste na soma das cargas do produto e

sistema de canais. O molde muito ou pouco enchido precisa ser evitado para assegurar um melhor controle dimensional, melhores propriedades físicas, menores níveis de tensões no produto e consistência no peso do produto.

A precisão da alimentação volumétrica da carga depende da densidade do material, diretamente afetada pelo formato dos grãos. Pequenos grãos podem alterar notadamente o peso da carga. Isto resultará em mudanças significativas na qualidade do produto.

Provavelmente existem uma meia dúzia de desenhos para cilindros de aquecimento, e mais outra, para o espalhador. Muitos destes são cilindros de escoamento reversível, e cilindro extrator de fundido. Todos os fatores para assegurar uma melhor plastificação, massa homogênea de plástico no bocal. O bocal é o ponto aonde a massa é injetada no molde.

#### 2.2- Cilindro de injeção com êmbolo e Dois Estágios de Plastificação

Olhando para o esquema da máquina, pode-se notar que o cilindro de pré-plastificação é montado em ângulo com o cilindro de injeção, que é idêntico ao cilindro de injeção com êmbolo descrito anteriormente. O objetivo do cilindro de pré-plastificação é alimentar de material plástico o cilindro de injeção.

O cilindro de injeção é adaptado com um bocal e um êmbolo. O êmbolo tem um controle de posição, que pode ser mecânico ou elétrico, como uma chave limite, que fecha uma válvula hidráulica, controladora do êmbolo do pistão de injeção. Desta forma, obtemos uma carga de injeção precisa, que é a primeira vantagem deste

sistema. Outra vantagem existente é poder usar uma baixa pressão de injeção, bem como uma grande massa de injeção, e baixa temperatura no cilindro.

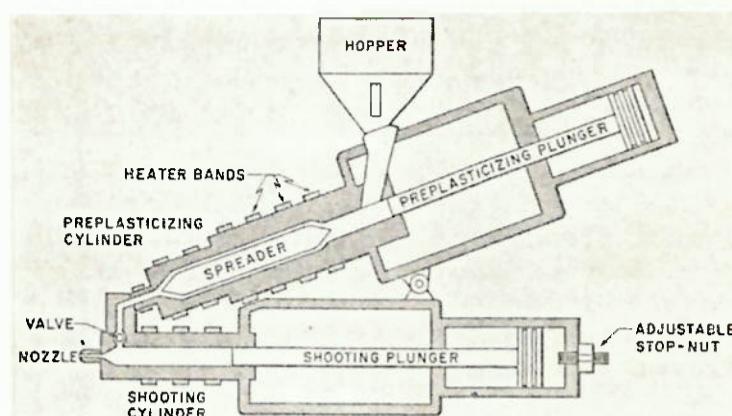


fig.8 - esquema do cilindro de injeção de dois estágios tipo êmbolo

Na operação da máquina, o cilindro de pré-plastificação empurra o material fundido através de uma válvula aberta, entre este cilindro e o de injeção. O êmbolo de injeção, que está em posição avançada, é forçado para trás com o enchimento do cilindro. Ele se retrai até o ponto de parada, quando a válvula fecha. Quando o êmbolo avança, por ação da pressão hidráulica no pistão, o plástico escoa através do bocal, para dentro do molde.

### 2.3- Cilindro de injeção com Rosca e Dois Estágios de Plastificação

O sistema de injeção com dois estágios de pré-plastificação com rosca é idêntico ao sistema que acabou de ser descrito, exceto pela rosca extrusora no lugar do êmbolo, no cilindro de plastificação. Consequentemente, uma vantagem é a melhoria da homogenei-

dade da massa plástica, colocada pela rosca, no cilindro de injeção. Outras vantagens são as mesmas de injetora de dois estágios com êmbolo.

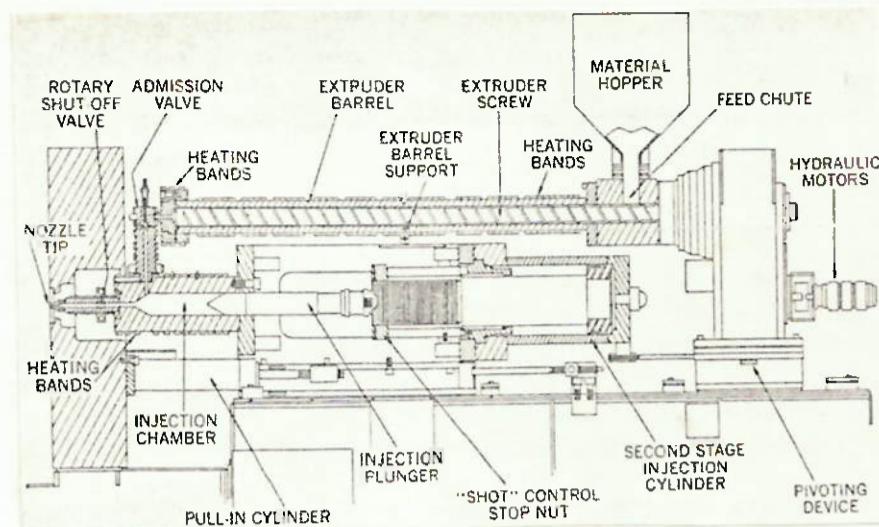


Fig.9 - esquema do cilindro de injeção de dois estágios com parafuso

A principal desvantagem , de ambos sistemas de múltiplos estágios, é a sensível degradação do material pelo calor, resultante do escoamento em múltiplas linhas e possíveis áreas prejudicadas do próprio projeto.

#### 2.4- Cilindro de Injeção com Rosca Alternativa

A concepção da linha de rosca alternativa de plastificação e unidade de injeção, feita por H. Willert em 1952 e patenteada em 1956, levou a uma maior melhoria as máquinas de injeção. Foi a primeira maior melhoria depois do torpedo de Gastrow em 1932. Quase todas as máquinas, em uso hoje, são deste tipo. Ela é alternativa, por causa do movimento do parafuso, que funciona como um êmbolo, injetando o plástico no molde, e colocando a carga em

posição para a injeção.

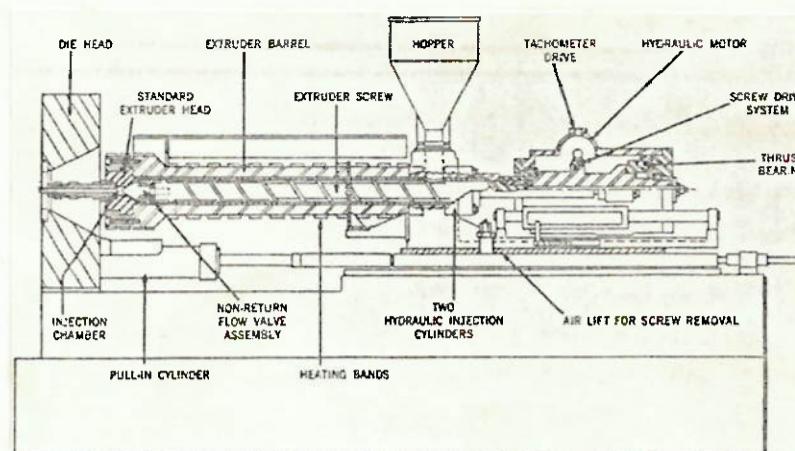


fig.10 - esquema do cilindro com rosca alternativa

A resina escapa do funil para cilindro. Como a rosca está girando, os grãos são transportado para a frente e fundidos. O fluido escapa até o último passo da rosca, passando por uma válvula de não retorno (unidirecional). Como a massa concentra-se na ponta do parafuso, ela exerce uma pressão no fim da rosca e força o seu retorno. A contra pressão do material pode ser regulada pelo ajuste de uma válvula de alívio, no cilindro hidráulico do cilindro de injeção. O ajuste apropriado da contra pressão para o material, é muito importante para a homogeneidade final do plástico. Bocais fechados especiais são requeridos quando é gerado uma alta contra pressão. O parafuso é preparado com um dispositivo de limite de curso, geralmente uma chave limite, que para a rotação e alimentação da rosca, quando o volume plastificado de injeção requerido é colocado à frente do parafuso.

Durante a injeção, o pistão hidráulico move o parafuso para frente. A válvula unidirecional fecha quando o movimento começa,

prevendo o contra fluxo na rosca. A rosca adquire, assim, as características de um êmbolo, e força a massa plástica através do bocal, para o molde, como uma máquina convencional com êmbolo.

A máquina de rosca alternativa tem numerosas vantagens sobre os outros métodos de plastificação discutidos. A primeira vantagem existente é a uniformidade do material plastificado, obtido do parafuso, que produz peças de alta qualidade, em baixas temperaturas e pressões. Uma grande variedade de materiais pode ser injetada, incluindo os termo-sensíveis como o polivinil clorado. Mudanças de cor e de material podem ser feitas com uma pequena perda de material, no momento de expurgo do cilindro.

O parafuso equipado com uma válvula unidirecional é usado em materiais como os poliolefínicos, poliestireno, policarbonato, etc. Onde existem problemas de degradação, a válvula unidirecional não pode estar presente. A possibilidade de prender material na válvula leva a esta preocupação. Para cada tipo de material, devemos ter roscas diferentes, para que a plastificação seja feita da melhor forma, sendo esta, uma das preocupações que foram levantadas no início desta parte, ou os controles da máquina. O PVC usa um tipo especial de rosca com cabeça limpante. Outro tipo especial é aquele onde os filetes da rosca vão até a ponta, de forma cônica. O objetivo das duas formas é reduzir ao mínimo o resíduo de material, depois de cada injeção.

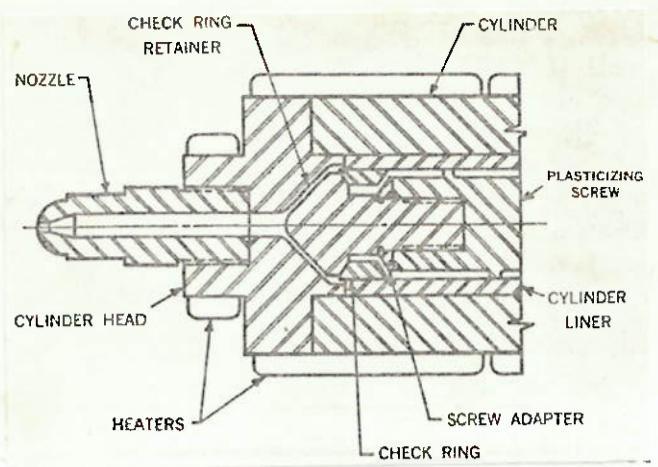


fig.iia - esquema do bocal com a válvula unidirecional, usado como equipamento standard

fig.iib - esquema do bocal com cabeça limpante, usado como equipamento opcional

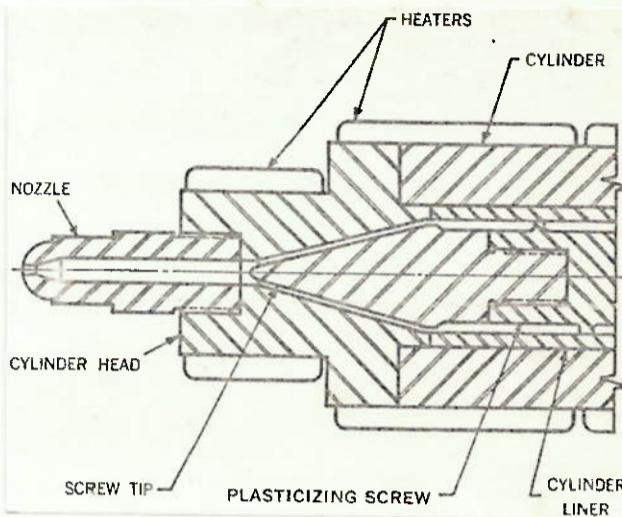
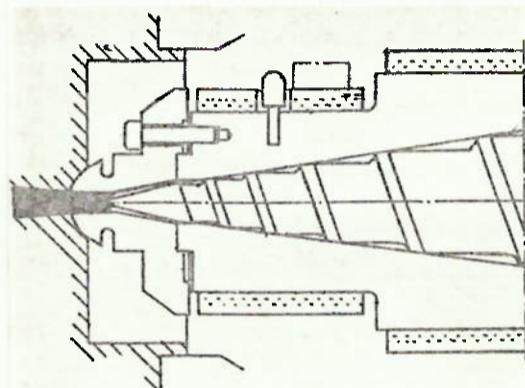
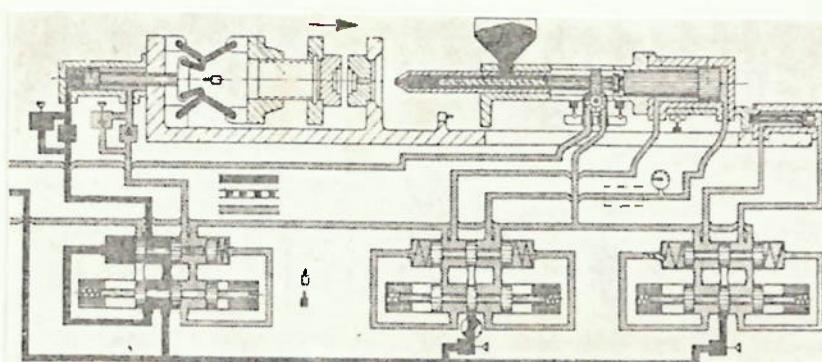
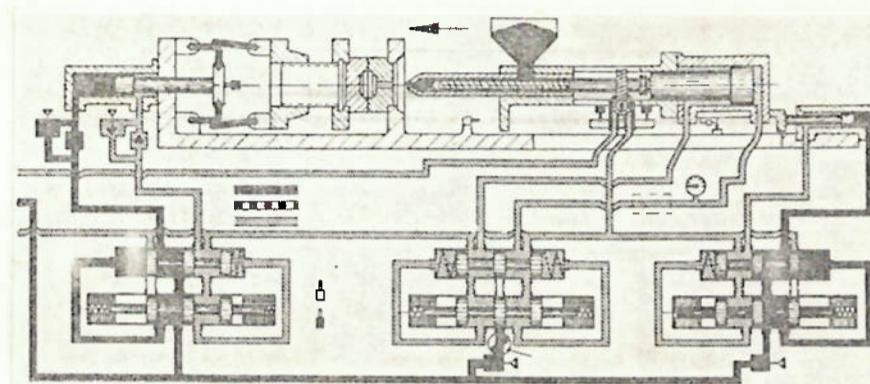


fig.iic - esquema do bocal com rosca de ponta cônica, para materiais sensíveis ao calor

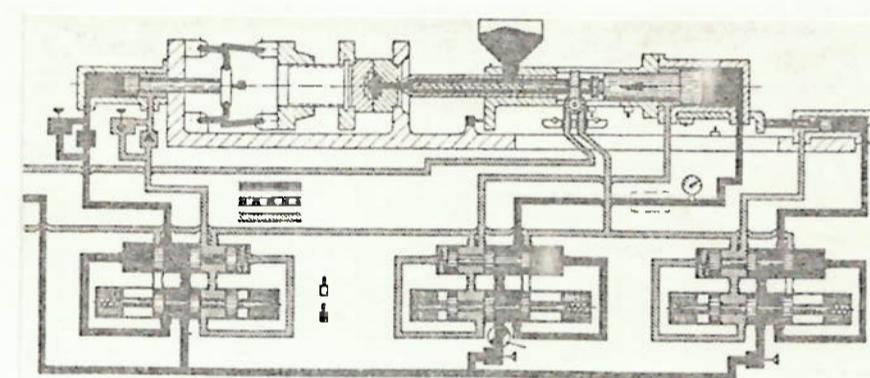
Para uma melhor visualização de uma máquina de injeção com rosca alternativa, é mostrado a sequência de movimentos da mesma, durante um ciclo, na sequência de figuras 12. Nota-se que a sequência é de uma máquina movimentada através de um circuito hidráulico, muito semelhante a máquina da ROMI, que será mostrado em maior detalhes posteriormente.



**fig.12a** - quando o molde começa a se fechar, o carregamento da rosca acabou de se completar. Repare que a pressão de fechamento do molde está na articulação, onde a força perpendicular ao molde é de ganho zero, enquanto que na posição paralela ao molde, é de ganho infinito



**fig.12b** - o cilindro de injeção se movimenta para frente, encaixando o bocal a montante do molde. Em muitos processos o afastamento e esta aproximação não são necessários



**fig.12c** - o cilindro hidráulico movimenta a rosca, que funciona como êmbolo, enchendo o molde com o material plastificado. O cilindro se desloca através do movimento das válvulas centrais

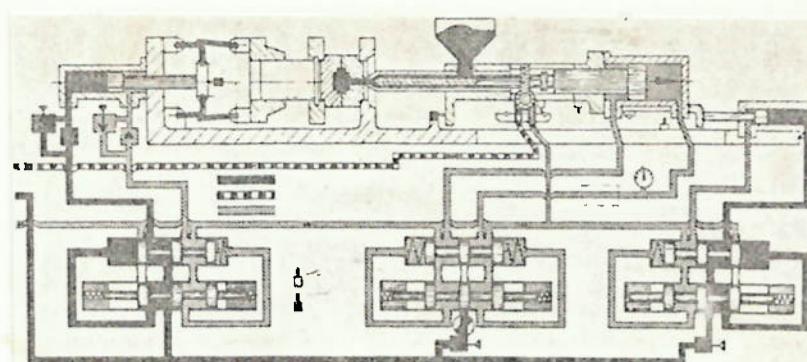


fig.12d - quando o molde já está totalmente cheio, começando o ciclo de resfriamento, a rosca começa a voltar, com um movimento de rotação, o que garante a alimentação da mesma. Repare que o manômetro marca uma pressão intermediária, entre a injeção e quando não há movimento no cilindro

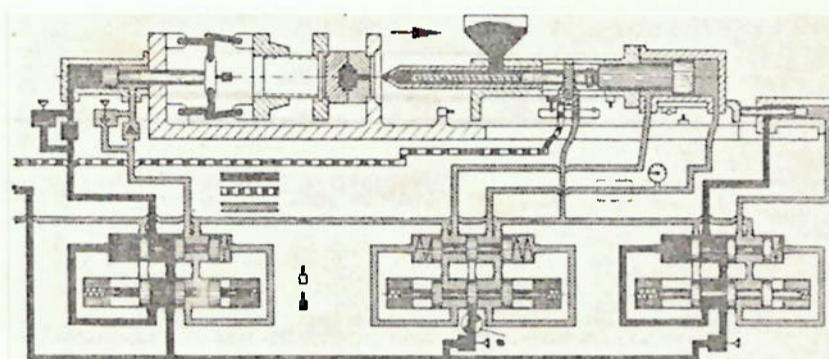


fig.12e - mesmo ainda em carregamento, o cilindro se movimenta para trás, desencostando o bocal da montante. Como já foi dito anteriormente, este movimento, às vezes, é desnecessário

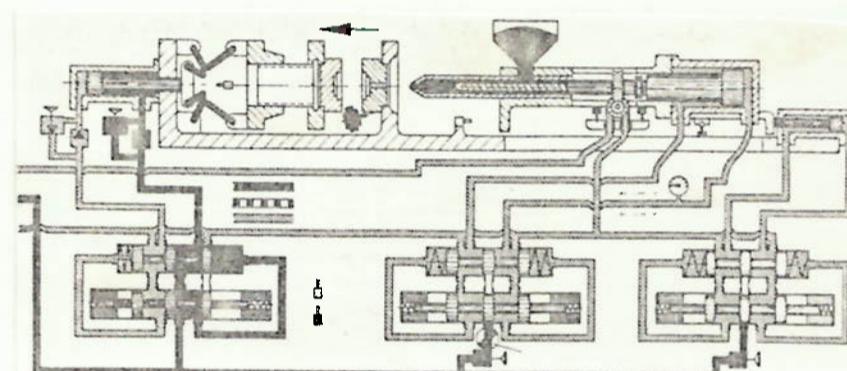


fig.12f - o molde se abre, e a peça é retirada com o canal. Neste caso, não há um sistema de pinos extractores, que também é hidráulico

### 3- Máquina ROMI-TGR

Nesta máquina, será baseado o restante deste trabalho. Ela foi escolhida por ser considerada a melhor máquina brasileira. A máquina tem um sistema de injeção do tipo rosca alternativa, e sistema de fechamento do tipo alavanca articulada. O mais interessante, é notar que a máquina tem os movimentos de forma sequencial, onde uma operação é executada quando a anterior termina, possibilitando um sistema hidráulico centralizado.

Anexo a este trabalho, temos um catálogo fornecido pelo fabricante, onde pode-se ver a fotografia da máquina, da unidade de fechamento, do cilindro de injeção e dos dois tipos de comando eletrônicos que o fabricante oferece. Também podemos ver os vários tamanhos de máquina, e seus dados de funcionamento. O tamanho da máquina é definido como a dimensão da força máxima de fechamento do molde em toneladas. Portanto, a máquina 300-TGR, tem 300 toneladas de força de fechamento, sendo que esta força é dividida entre as quatro colunas da máquina (as quatro barras circulares, fixadas molde fixo e ajustáveis para o conjunto móvel), cada uma com 75 toneladas. A força de fechamento do molde é definida para cada processo, e o ajuste é feito através de um motor hidráulico, que movimenta a parte traseira da unidade de fechamento com uma corrente (para garantir o mesmo deslocamento nas quatro colunas, deixando a parede divisória do molde paralela a parede da outra parte do molde). Como temos a alavanca articulada sempre do mesmo tamanho, e a força para deixá-la em ponto morto é de ganho infinito, a deformação, que as colunas vão so-

frer, é que geram uma força de tração, que fecha o molde. A força de fechamento pode ser ajustada através do controle, sempre em pulsos de tonelagem, isto é, depois de ajustada a altura do molde e o molde colocado na máquina, a força de fechamento é zero; dois "leds" controlam o quanto o motor hidráulico desloca o carro, por intermédio de uma roda dentada de 46 dentes e de uma semi circunferência. Os dentes registram os pulsos de tonelagem, enquanto que a semi circunferência, a volta. Podemos notar este mecanismo na fotografia da unidade de fechamento, no catálogo anexo. Ao lado da porta, existe uma tabela de tonelagem em função do número de pulsos.

Sobre a unidade de fechamento, temos ainda um mecanismo hidráulico para o sistema de extração, que funciona quando a unidade está se abrindo. Além disso temos os sistemas de segurança, que não se movimenta quando uma das portas estiver aberta. Estes dispositivos são elétricos, mecânicos e hidráulicos.

A unidade de injeção consiste do cilindro, funil, resistências e o parafuso com o motor hidráulico (de 5 pistões) e o pistão. O sistema de funcionamento é semelhante ao explicado anteriormente, de rosca alternativa. Como sistema de segurança, o comando eletrônico não inicia a injeção se a alavanca articulada não está em ponto morto.

Quanto ao comando, o mais usado é o chamado PCR-7, que usa um microprocessador de 8 bits. Ele é o mais usado, pois além de ser mais barato, permite a ampliação do sistema, centralizando os programas de uma série de processos, que uma fábrica pode ter, em um computador. O sistema "Controlmaster" é um controle de CNC

adaptado a injetora de plástico, que não tem o processo perfeitamente medido pelos dispositivos da máquina, com isso a sua única vantagem é poder armazenar os processos, mas o que não compensa o investimento. Por serem máquinas mais caras, e com isso o preço do comando é mais amortizado, as máquinas de 600, 800, 1100 (só uma máquina deste tipo foi construída, pertencente a "Plásticos Maradei") e 1250 TGR (só em projeto) só têm este tipo de controle. Como acho o comando PCR-7 o de melhor aplicação na máquina, vou me deter apenas a este comando.

O painel tem um contador de ciclos, de horas, e uma chave de bloqueio de programação. Temos três modos de operação: manual, onde o operador controla a máquina pelo painel, semi-automático, a máquina efetua o ciclo completo, reiniciando o seguinte abrindo e fechando a porta frontal; e automático. A tonelagem automática deve ser feita no modo manual. Existem também três interfaces, para impressora e memória, e indicadores de tempos, temperaturas, posição da placa móvel, extrator, parafuso e unidade injetora, e rpm do parafuso.

A máquina usa um sistema visual e sonoro para indicar qualquer desvio de processo, sendo que alguns inibem o funcionamento do ciclo. São eles: tempo total do ciclo esgotado; proteção do molde acionada, interrompe o ciclo se algum corpo estranho não deixa o molde se fechar; falha de lubrificação; falha na caída de peça; temperatura do cilindro baixa, que inibe o funcionamento do parafuso; temperatura do cilindro alta; temperatura do óleo alta; e falha no conversor A/D. Outros sinais são da porta frontal e traseira aberta; molde travado; altura máxima e mínima do molde;

monitor da lubrificação e contato do motor principal. Além disto o sistema controla todas as pressões da máquina.

A máquina também comanda todas as posições, velocidades e pressões dos ciclos de abertura, fechamento e injeção. O valor programado é uma percentagem entre o máximo e zero, que é programado entre 999 e 000. O controle do tempo é em segundos, sendo o valor máximo 99,9s. As temperaturas são controladas por uma temperatura base, e programadas por porcentagens de temperaturas. Além disto é possível programar 5 velocidades de injeção diferentes para melhorar o processo, onde a pressão é constante, só variando a vazão no cilindro. Existem também duas pressões de recalque, que é a pressão aplicada na peça durante parte do resfriamento para garantir a forma.

Os valores programados atuam eletricamente nas válvulas do sistema hidráulico, controlando os parâmetros programados. O sistema hidráulico será detalhado posteriormente.

Como o processo para termofixo é um pouco diferente, por ser com um material mais estável termicamente, mas sofrendo transformações químicas durante o processo, curando o material, a Romi adapta a máquina para este fim. As adaptações são:

1. Cilindro plastificador em aço nitretado;
2. Parafuso plasitificador de baixa compressão, em aço nitretado;
3. Bico injetor de desmontagem rápida;
4. Câmaras de aquecimento do cilindro plastificador por circulação de água aquecida (2 zonas de aquecimento);
5. Sistema de aquecimento do molde em 5 zonas, incorporado ao painel de comando da máquina;

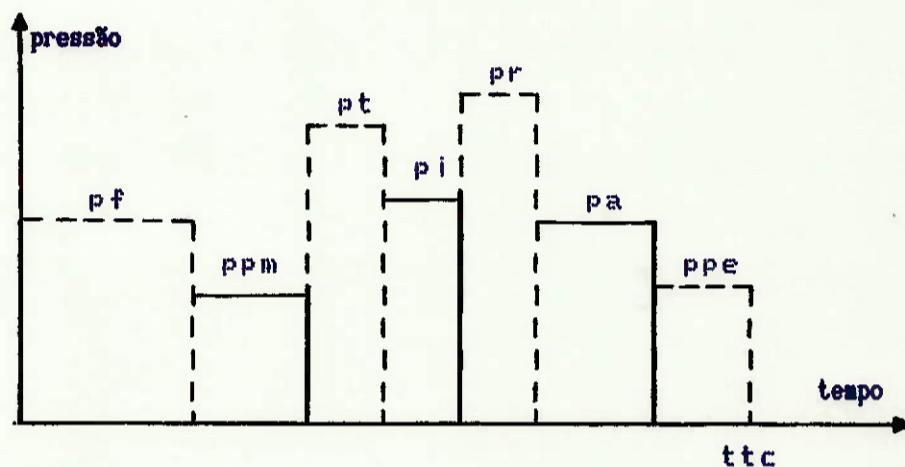
6. Ciclo de injeção com abertura parcial do molde para dosagem, definido no programa.

O grande inconveniente das máquinas nacionais é que elas possuem poucas rosca com compressões diferentes, o que impossibilita um melhor aproveitamento do material, em processos que exigem rosca especiais.

Uma das grandes evoluções das máquinas da Romi foi a colocação de uma guia para o deslocamento do molde, e com isso não sobrecarrega as colunas, permitindo que seu dimensionamento seja apenas por tração, e que estas tenham um diâmetro menor.

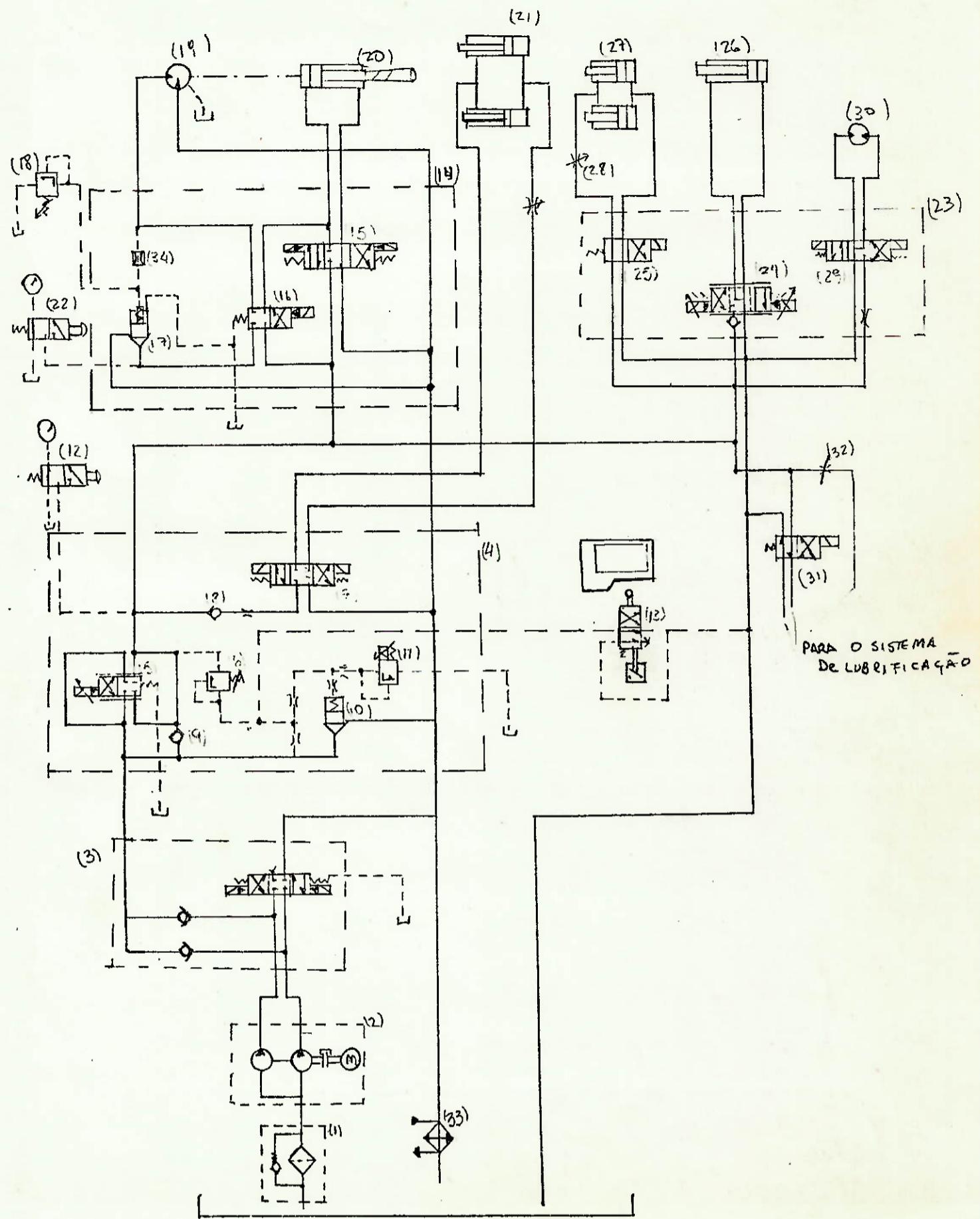
### Sistema Hidráulico de uma Máquina de Injeção de Plástico

A maioria das máquinas de injeção são comandadas por um sistema hidráulico. Nas máquinas mais antigas, tínhamos dois sistemas separados para comandar, independentemente, a injeção e o fechamento. Entretanto, é interessante notar que as operações são sequenciais, com pressões e vazões diferentes. O desenvolvimento de válvulas e sistemas de controle proporcional de pressão e vazão, possibilitou a centralização do comando. Abaixo vemos um gráfico da pressão do sistema em função do tempo de ciclo, em um processo hipotético. O mais importante é notar que nenhuma operação é iniciada sem que a anterior acabe, e que as pressões variam de acordo com o comando, que depende do processo.



onde,  $p_f$ : pres. de fechamento;  $ppm$ : pres. de proteção do molde;  
 $pt$ : pres. de travamento;  $pi$ : pres. de injeção;  $pr$ : pres.  
de recalque;  $pa$ : pres. de abertura;  $ppe$ : pres. nos pinos  
extratores;  $tcc$ : tempo total de ciclo.

Na próxima página, o esquema da máquina 300 TGR é mostrado. Esta máquina será objeto de estudo até o final do trabalho.



O sistema hidráulico tem como fluido de trabalho o óleo especificado pela Romi, que pode ser o "Rand HDB ou HD46 da TEXACO" ou "Duro AW 0ii S 2i5 da ATLANTIC", que têm como características possuir proteção contra oxidação, ferrugem e corrosão; possibilitar maior vida ao equipamento através de um aditivo antidesgaste; e evitam queda repentina de pressão, devido ao agente antiespumante.

Em (1) temos o filtro por onde passa todo o óleo que circula no sistema. A válvula unidirecional que se tem ao lado do filtro é para permitir um alívio ao sistema. Em (2) temos o conjunto motor-bomba, sendo uma bomba dupla da "VICKERS", sendo uma de alto volume e outra de alta pressão, e o motor de 40 CV. Todo o óleo do sistema é bombeado por estas bombas. O conjunto (3) direciona a bomba que está alimentando o sistema, pois se a válvula estiver nesta posição central, as duas bombas alimentam o sistema, se ela estiver na posição paralela, a bomba da direita estará ligada com o reservatório, portanto todo o óleo desta bomba irá para lá. Na posição cruzada, o mesmo acontece com a bomba da esquerda. As válvulas unidireccionais são para evitar um contra fluxo nas bombas.

O conjunto (4) é o mais importante do sistema, sendo a unidade de pressão, que consegue determinar a vazão e a pressão que irá alimentar todo o sistema. O manômetro (12) mostra a pressão que está alimentando o sistema. Quanto ao funcionamento da unidade temos: A válvula (5) é de controle proporcional, regulando a vazão que passa ao sistema, funcionando como uma restrição regulável, sendo que a válvula unidirecional (9) impede que passe para o

restante do sistema, a vazão que vem direto da bomba. A válvula (ii) é regulada para determinar a pressão do sistema, sendo ela, regulada eletricamente. O elemento (10) é chamado de elemento lógico e sua função é equilibrar a pressão do sistema. Este elemento consiste de um êmbolo equilibrado com uma mola e pressão de um lado da linha permitindo uma maior ou menor vazão de acordo com a pressão do outro lado da linha. Como a pressão aumenta com uma diminuição da passagem, ela força uma abertura maior diminuindo a pressão, e consequentemente, diminuindo a passagem, que provocará um aumento de pressão. Como é possível reparar, este elemento tem como função, dar ao sistema um equilíbrio dinâmico de pressão, possibilitando uma resposta rápida do sistema. A válvula (ii) equilibra a pressão do sistema, pois ela determina a máxima pressão acima deste elemento lógico. Esta unidade opera com a válvula (6) aberta ou fechada, sendo esta somente ajustada na instalação da máquina. Se ela estiver fechada é porque a pressão depois da válvula proporcional de vazão (5) está baixa, pois se isto acontece é porque antes de (5) a pressão é baixa. A pressão antes de (5) pode ser baixa se (ii) for regulada a baixa pressão, permitindo que o elemento lógico (10) fique muito aberto, baixando a pressão da linha. Se a pressão de abertura de (6) for baixa, ela apenas equilibrará a pressão do sistema. O mecanismo de equilíbrio é o seguinte: se a pressão antes de (5) é grande o suficiente para abrir (6), permitindo a ligação entre o sistema e a linha de controle, a válvula (ii) pode estar aberta ou fechada. Se ela estiver aberta, significa que a pressão na linha onde está (6) é limitada por ela, e com isto, equilibra a

pressão depois de (5). O elemento (10) continuará em equilíbrio, pois as pressões, antes e depois da linha, não se alteram. Se (ii) estiver fechada, então, com (6) aberta, aumenta a pressão em cima do elemento lógico, devido a pressão que vem da linha, fechando mais a passagem, aumentando a pressão da linha, consequentemente, aumenta a pressão que passa por (6), aumenta a pressão que chega a (ii), até esta se abrir, equilibrando a pressão do sistema. As restrições provocam uma perda de carga esperada, para se ter uma pressão em (6) intermediária entre a pressão em (ii) e a da linha.

A grande vantagem deste sistema é permitir que a mudança de pressão na linha seja feita rapidamente, através do ajuste elétrico, feito pelo comando, da pressão necessária para se abrir (ii). Por exemplo, se a pressão na linha tiver que abaixar rapidamente, abrimos mais (ii), o elemento (10) permitirá que uma vazão maior escape, abaixando a pressão em (6), e consequentemente, abaixará a pressão no sistema.

Temos nesta unidade, um sistema de segurança (13), que quando a porta estiver aberta, a pressão na linha de controle será zero, pois ligará diretamente com o reservatório, abrindo totalmente o elemento lógico (10), deixando o sistema sem pressão. Portanto, a máquina não funciona com a porta aberta.

Nesta unidade também temos a válvula (7) para movimentar o conjunto de cilindros (21), encostando ou afastando o bocal na montante do molde. Esta válvula, na máquina da Romi, só permite o seu recuo ou avanço, através do botão de movimentação do painel, em processo manual, sendo a posição paralela para recuo, e a cru-

zada para avanço.

O conjunto (14) é a unidade de injeção. Ela controla a injeção e a plastificação do material. Com a válvula (15) aberta, temos a injeção do material, com o avanço do pistão (20). Quando ela está cruzada, temos o recuo, mas nesta hora precisamos de uma contra pressão para plastificar o material. Também temos um motor hidráulico (de 5 pistões, "VICKERS") (19) funcionando, através da posição cruzada da válvula (16), e que ajuda a manter a contra pressão. A linha cruzada faz com que a pressão da linha movimente o motor (19) a uma rotação controlada pela vazão liberada pela unidade (4), por ser esta rotação importante para a dosagem e plastificação. A outra linha vem do pistão, que através do dispositivo (17), faz com que a pressão se eleve para vencer a resistência da mola e da linha, que tem uma grande perda de carga através de (34), sendo a pressão controlada pela válvula limitadora de pressão (18). Podemos ver o valor da contra pressão através do manômetro (22). Se a contra pressão for muito grande, o que pode significar que o pistão está parado, e consequentemente, a rotação do motor é indesejada. Para isto temos uma linha de controle atuante em (16), fechando a válvula e parando o motor. O comando PCR-7 não permite que a válvula (16) atue durante a injeção, pois durante a injeção a rosca não pode girar.

Um fator importante de regulagem do processo é o limite de movimento do pistão de injeção, porque ele será responsável pela dosagem do material, pois o seu recuo encherá a frente do parafuso, que é a dosagem de material que vai encher o molde. Este limite é controlado por chaves elétricas limitadoras de curso, que tam-

bém informa ao painel a posição do parafuso. A velocidade de injeção será determinada pela vazão de óleo que a unidade de pressão libera para o sistema, pois não existe um controle de vazão nesta unidade. Portanto o processo que necessite de várias velocidades de injeção, com pressão constante, terá mudanças na quantidade de óleo liberada pela unidade (4).

O conjunto (23) é a unidade de fechamento. Ela controla a movimentação do molde (cilindro (26)), dos pinos extratores (cilindros (27)) e do motor hidráulico que controla a altura do molde e a força de fechamento (30). A válvula proporcional de vazão (24) controla a velocidade de fechamento, já que a pressão é controlada pela unidade de pressão (4). A posição cruzada avança o molde, enquanto que a paralela, recua. Temos uma válvula unidirecional na entrada, para evitar que forças que o molde aplica, contrárias ao movimento, causem um contra fluxo no sistema. A posição intermediária, deixa o pistão livre, pois as posições limites não precisam da atuação deste. Quando o molde está travado, a articulação, que está em ponto morto, não permite o recuo do molde, enquanto que na posição recuada do molde, a própria inércia mantém o molde parado. As posições do molde são controladas por limitadores de curso, atuando diretamente no PCR-7.

A válvula (25) comanda o sistema de extração de peças. Os pinos extratores do molde são fixados em uma placa, cuja movimentação é controlada pelo conjunto de cilindros (27). Na posição paralela, os pinos estão recuados, portanto fica parada nesta posição durante a injeção. A válvula não atua com o molde avançado, sendo limitada pelo comando PCR-7. Pode-se limitar a velocidade e a

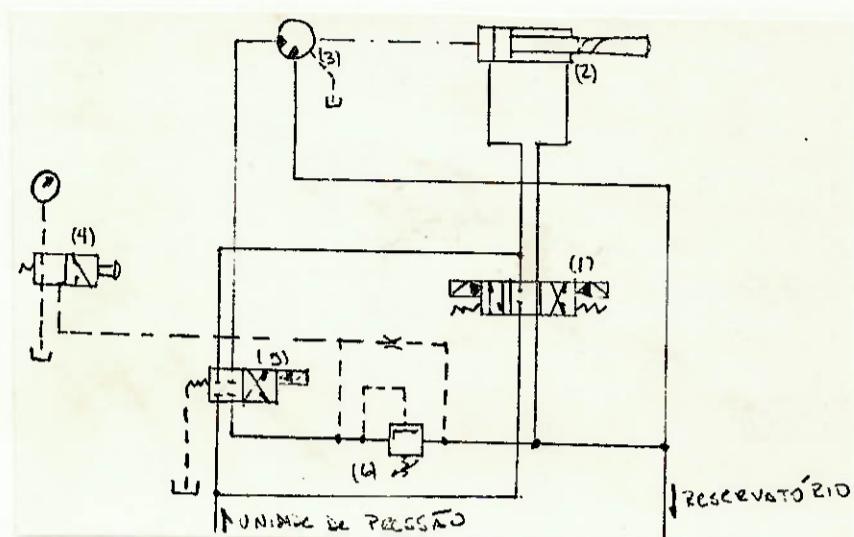
força dos pinos extractores através de uma restrição regulável (28), para que estes não danifiquem a peça injetada. A operação de extração pode se repetir de 2 a 3 vezes em cada ciclo, através de rápidas e contínuas mudanças de posição da válvula (25).

A válvula (29) controla o acionamento do motor hidráulico (30), que atua na movimentação do conjunto móvel da unidade de fechamento. Além de se regular a altura do molde, o motor também é acionado para a operação de tonelagem automática, movimentando o conjunto móvel até a posição que causará uma deformação nas colunas, resultando uma tração, que atuará como força de fechamento, desejada. Este controle da força de fechamento já foi explicado anteriormente. Este motor ("ROSS") deve ser reversível para permitir aumentar e diminuir a altura do molde. Portanto a válvula (29) tem três posições, sendo uma paralela, cruzada (uma para cada sentido de rotação) ou a intermediária, que equilibra a pressão dos dois lados do motor, impedindo a sua movimentação.

A válvula (31) atua depois de um número determinado de ciclos, provocando uma lubrificação na máquina. A máquina necessita de graxa, nas articulações, para que o sistema de pressão não seja sobrecarregado ou que não consiga movimentar o molde. Temos a restrição (32) que é aberta quando se deseja limpar a máquina. Podemos notar que o sistema tem duas linhas de retorno, sendo que uma com trocador de calor. Isto é interessante por duas razões: só uma parte do óleo que vem do sistema precisa ser refrigerado (o que vem do sistema de injeção, pois lá tem aquecimento), portanto o dimensionamento do trocador de calor pode reduzir seu tamanho; e o sistema de injeção fica de um lado da máquina, enquanto

to que a unidade de fechamento fica do outro da máquina, o que dificulta ou encarece a unificação das linhas de retorno.

O sistema descrito acima é utilizado nas máquinas 200, 300 450 TGR. Nas outras máquinas temos algumas mudanças. Nas máquinas 100 e 150 TGR temos apenas uma bomba, e uma mudança na unidade de injeção, que é mostrada abaixo.



A unidade é diferente apenas no controle da contra pressão, sendo que a válvula (1), o cilindro (2) e o motor (3) têm as mesmas funções e funcionamento do circuito já detalhado. O manômetro (4) também tem a mesma função, isto é, verificar a contra pressão. O mesmo podemos dizer da válvula (5), onde a posição cruzada aciona o motor e liga a linha de retorno do cilindro no mecanismo de contra pressão. A diferença está na válvula limitadora de pressão, que fica fechada até a contra pressão alcançar o desejado. Esta válvula é regulável, permitindo o ajuste desejado da contra pressão.

Como o sistema só tem uma bomba, não temos o conjunto inicial de escolha de bombas, que existe nas máquinas 200, 300 e 450 TGR.

Nas máquinas 600, 800, 110 e 1250 TGR temos 3 bombas, portanto o conjunto de escolha de bombas tem uma bomba que passa direto, e para as outras duas temos um mecanismo de escolha. Nos outros detalhes as máquinas têm o mesmo circuito hidráulico, só variando o seu dimensionamento, que está de acordo com as capacidades da máquina.

Baseados nos dados do catálogos e de dados coletados junto ao fabricante da máquina, faço alguns cálculos de esforços, velocidades, etc. envolvendo o sistema hidráulico, dimensionando os cilindros. Segundo o fabricante a bomba dupla "VICKERS" tem como vazão total 348 litros por minuto, sendo que cada bomba tem uma vazão de 174 l/min, com uma pressão de 172 bar ou 168,56 kgf/cm<sup>2</sup>. Uma observação importante é que os dados usados serão de uma máquina 300 TGR, com uma capacidade de injeção de 567 gramas de material plástico.

Usando os dados de vazão e pressão do sistema, estimado as perdas, e comparando com os dados do catálogo, chegamos ao diâmetro do cilindro de injeção.

Q<sub>i</sub> = vazão que chega ao cilindro de injeção;

P<sub>i</sub> = pressão de injeção;

D<sub>p</sub> = diâmetro do parafuso de injeção;

R<sub>i</sub> = razão máxima de injeção;

P<sub>p</sub> = pressão que chega ao cilindro;

os dados conseguidos e estimados estão abaixo:

Q<sub>i</sub> = 320 l/min (estimando algumas perdas na bomba e no elemento lógico);

$$P_i = 1450 \text{ bar} = 1421 \text{ Kg/cm}^2;$$

$$D_p = 6,35 \text{ cm};$$

$$R_i = 332 \text{ cm}^3/\text{s};$$

$$P_p = 168,56 * 0,9 = 151,70 \text{ Kgf (perdas do sistema)}$$

A geometria do bocal faz a pressão aumentar na cabeça do parafuso, e temos um aumento de pressão de 1,7 (dados do fabricante).

Portanto a pressão na cabeça do parafuso é:

$$P = P_i * 1,7 = 1421 * 1,7 = 2415,7 \text{ Kg/cm}^2;$$

a força que o parafuso aplica é:

$$A_p = D_p * D_p * 3,1416 / 4 = 31,67 \text{ cm}^2;$$

$$F_p = P * A_p = 76505,22 \text{ kgf};$$

esta força é transmitida ao cilindro que é responsável pela transmissão desta força. Como temos a pressão que chega ao cilindro, teremos a área do cilindro:

$$A_c = F_p / P_p = 504,32 \text{ cm}^2;$$

podemos ter então o diâmetro do cilindro:

$$D_c * D_c = A_c * 4 / 3,1416;$$

$$D_c = 25,4 \text{ cm}$$

O comprimento da haste é determinado com a máxima dosagem e o diâmetro do parafuso. Portanto o comprimento da haste é:

$V_i$ -volume máximo injetado = 603 cm<sup>3</sup>;

$$L = V_i / A_p = 19,0 \text{ cm}$$

A máxima contra pressão exigida pelos materiais é da ordem de 138 kgf/cm<sup>2</sup>. Com este valor podemos chegar a área da haste do cilindro de injeção:

$C_p$ -contra pressão = 138 Kg/cm<sup>2</sup>;

$$A_h = A_c - (A_c * C_p) / P_p = 45,55 \text{ cm}^2;$$

o diâmetro da haste é:

$$D_h * D_h = A_h * 4 / 3,1416;$$

$$D_h = 7,62 \text{ cm}$$

Para se dimensionar o cilindro da unidade de fechamento, precisamos saber a força que a alavanca articulada necessita para fechar o molde. Isto é possível sabendo a multiplicação da força, na posição de início de travamento. Segundo o fabricante, a relação de transmissão é da ordem de 46. Com base nos dados anteriores, e uma perda de carga de 85%, chegamos a área do cilindro de fechamento:

i - relação de transmissão;

Ff - força de fechamento;

Fp - força do pistão;

$$i = F_f / F_p;$$

$$F_p = F_f / i = 300.000 / 46 = 6521,74 \text{ Kgf};$$

$$P_p = 168,56 * 0,85 = 143,28 \text{ Kgf/cm}^2;$$

$$A_c = F_p / P_p = 45,52 \text{ cm}^2;$$

calculando o diâmetro do cilindro:

$$D_c * D_c = A_c * 4 / 3,1416;$$

$$D_c = 7,62 \text{ cm}$$

O diâmetro da haste deve resistir a compressão e a tração, para suportar o travamento e a abertura. Repare que a força de abertura não é tão importante dimensionar, pois quanto menos a haste, melhor. Dever-se entretanto verificar se a força é suficiente:

Tr - tensão de ruptura a tração = 20,8 Kgf/mm<sup>2</sup>;

Fm - força máxima no eixo = 6521,74 Kgf;

$$A_h = F_m / (Tr / 3) = 940 \text{ mm}^2;$$

o diâmetro da haste portanto é:

$$D_h \times D_h = A_h \times 4 / 3,1416;$$

$$D_h = 34,6 \text{ mm} = 3,46 \text{ cm};$$

na verificação da força no pistão, temos que a diferença entre as áreas da haste e do cilindro multiplicada pela pressão é a força resultante:

$$A_c - A_h = 45,52 - 9,40 = 36,12 \text{ cm}^2;$$

$F_{mc}$  - força máxima no cilindro;

$$F_{mc} = 36,12 \times 143,28 = 5175,27 \text{ Kgf}, \text{ que é suficiente.}$$

A velocidade de deslocamento do pistão é determinado pela vazão de uma bomba, pois para economia de potência, temos apenas uma bomba ligada ao sistema, sendo desnecessário a utilização das duas, pois no processo precisamos de mais tempo para a retirada da peça.

Sabendo que a vazão é de 150 l/min (levando em conta as perdas), podemos saber a velocidade de abertura e fechamento:

$V_f$  - velocidade máxima de fechamento;

$$V_f = 150.000 / 45,52 = 3333,3 \text{ cm/min.}$$

$V_a$  - velocidade máxima de abertura;

$$V_a = 150.000 / 36,12 = 4166,7 \text{ cm/min.}$$

Quanto o tempo mínimo do ciclo, com máxima abertura leva em conta tempos de proteção do molde e de travamento, portanto temos:

$C_m$  - curso máximo de abertura e fechamento;

$L_h$  - comprimento da haste =  $C_m = 57,2 \text{ cm.}$

$T_{mc}$  - tempo mínimo de ciclo;

$$T_{mcf} = C_m / V_f = 1,6 \text{ s.}$$

$$T_{mca} = C_m / V_a = 0,14 \text{ s.}$$

Tempos extras = 1,2 s;

portanto,

$$T_{mc} = T_{mcf} + T_{mca} + T_e = 3,0 \text{ s}$$

Sabendo a força máxima de extração, podemos também calcular os cilindros de extração, que são dois devido a força de extração ser elevada. O dimensionamento deve ser feito por compressão e por relação de áreas necessária para se ter força de extração:

$F_c$  - força em um cilindro = 4600 Kgf;

$T_r$  - tensão de ruptura = 20,8 Kgf/mm<sup>2</sup>;

$P_v$  - pressão na válvula limitadora de pressão;

$P_p$  = 80,5 Kgf/cm<sup>2</sup>;

$P_p$  = 143,28 Kgf/cm<sup>2</sup>;

calculando o diâmetro da haste:

$$A_h = F_c / (T_r / 3) = 663,46 \text{ mm}^2;$$

$$D_h * D_h = A_h * 4 / 3,1416;$$

$$D_h = 2,91 \text{ cm};$$

usando a força de extração necessária temos:

$$P_p * A_c = P_v * (A_c - A_h) = F_c;$$

$$A_c = (F_c - P_v * A_h) / (P_p - P_v);$$

$$A_c = 64,76 \text{ cm}^2;$$

portanto:

$$D_c * D_c = A_c * 4 / 3,1416;$$

$$D_c = 9,08 \text{ cm}$$

O comprimento de haste ou curso é estabelecido pelo processo, e deve ser de 140 mm.

O último conjunto de cilindro a ser dimensionado é o carro de movimentação do canhão ou cilindro de injeção. O curso é determi-

nado pelo deslocamento do carro que é de 431,8 mm. Os cilindros serão dimensionados para vencer a força de atrito:

$F_a$  = força de atrito em cada cilindro;

$F_a = 210 \text{ kgf}$ ;

$F_a = P_p (A_c - A_h)$ ;

$A_h = F_a / (T_r / 3) = 30,28 \text{ mm}^2$ ;

portanto:

$A_c = (F_a + P_p * A_h) / P_p = 44,12 \text{ mm}^2$ ;

temos então os diâmetros:

$D_c * D_c = A_c * 4 / 3,1416$ ;

$D_c = 2,37 \text{ cm}$ ;

$D_h * D_h = A_h * 4 / 3,1416$ ;

$D_h = 1,96 \text{ cm}$

Com isso temos os quatros conjuntos de cilindros dimensionados, para a máquina 300 TGR versão para 567 gramas.

Bibliografia

- Baer, Eric - "Engineering Desing for Plastics" - Van Nostrand Reinhold Company - "Polymer Science and Engineering"-1964-caps. 16 e 19 - Cleveland, Ohio;
- Chiaverini, Vicente - "tecnologia Mecânica" - McGraw Hill-1986- 2 edição - Vol.3 - cap. 22 - São Paulo,SP;
- Dubois, J. Harry and John, Frederick W.-"Plastics"-Van Nostrand Reinhold Company - 1974 - 5th edition - New York,NY;
- Kirk-Othmer - "Encyclopedia of Chemical technology" - John Wiley & Sons - 1968 - 2nd edition - vol.15;
- Miles, D. C. e Briston, J. H.-"Tecnologia dos Polímeros" - USP/ Polígono - 1975;
- Redfern, C. A. - "Tecnologia das Matérias Plásticas" -Polígono- 1962;
- Wolynec, Stephan -"Impacto de Novos Materiais sobre a Indústria e Economia"- Escola Politécnica - 1988;
- Apostilas do curso "Manutenção e Operação de Injetoras de Plástico" - 1 a 5/08/1988 - Santa Bárbara D'Oeste - ROMI;
- Catálogo de Máquinas - ROMI;
- Manual de Peças - ROMI;
- Manual de Treinamento - Rexroth Hidráulica Ltda.



# ROMI

## INJETORAS PARA TERMOPLÁSTICOS E TERMOFIXOS



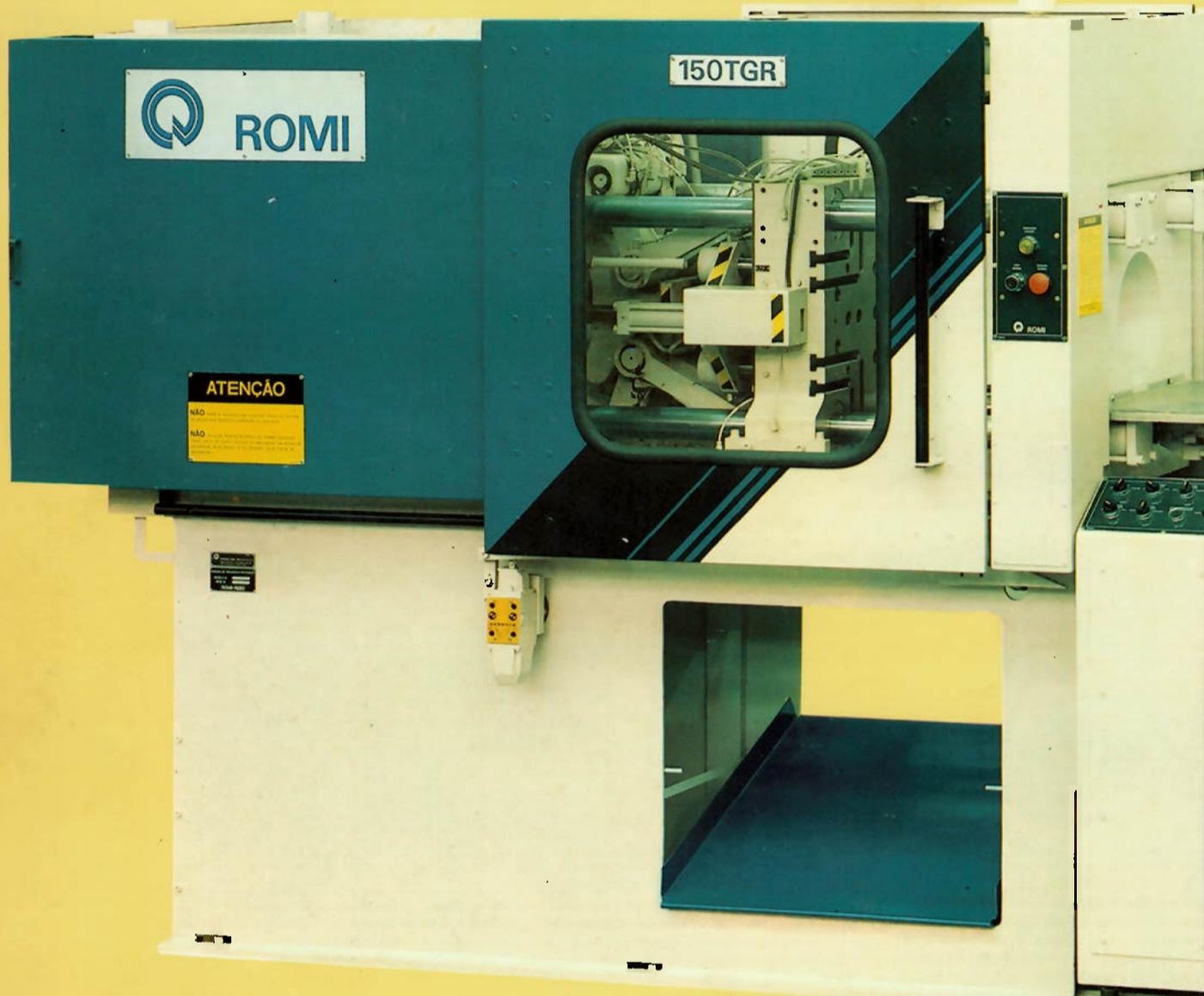
A TECNOLOGIA DO FUTURO

# **ROMI**

## **Modelos completamente novos de 150 a 250 toneladas.**

### **Compacta. Menor custo de operação.**

Novo e exclusivo sistema de fechamento de joelhos duplos, possibilita um ciclo mais rápido e diminui sensivelmente o comprimento da máquina, oferecendo ainda maior distância entre as colunas.



Economiza espaço, permite a retirada de peças pelos lados e do interior da base, por meio de transportador opcional.

Mais vida útil para os seus moldes utilizando o ajuste automático de tonelagem.

IHA TGR

s. Com força de fechamento

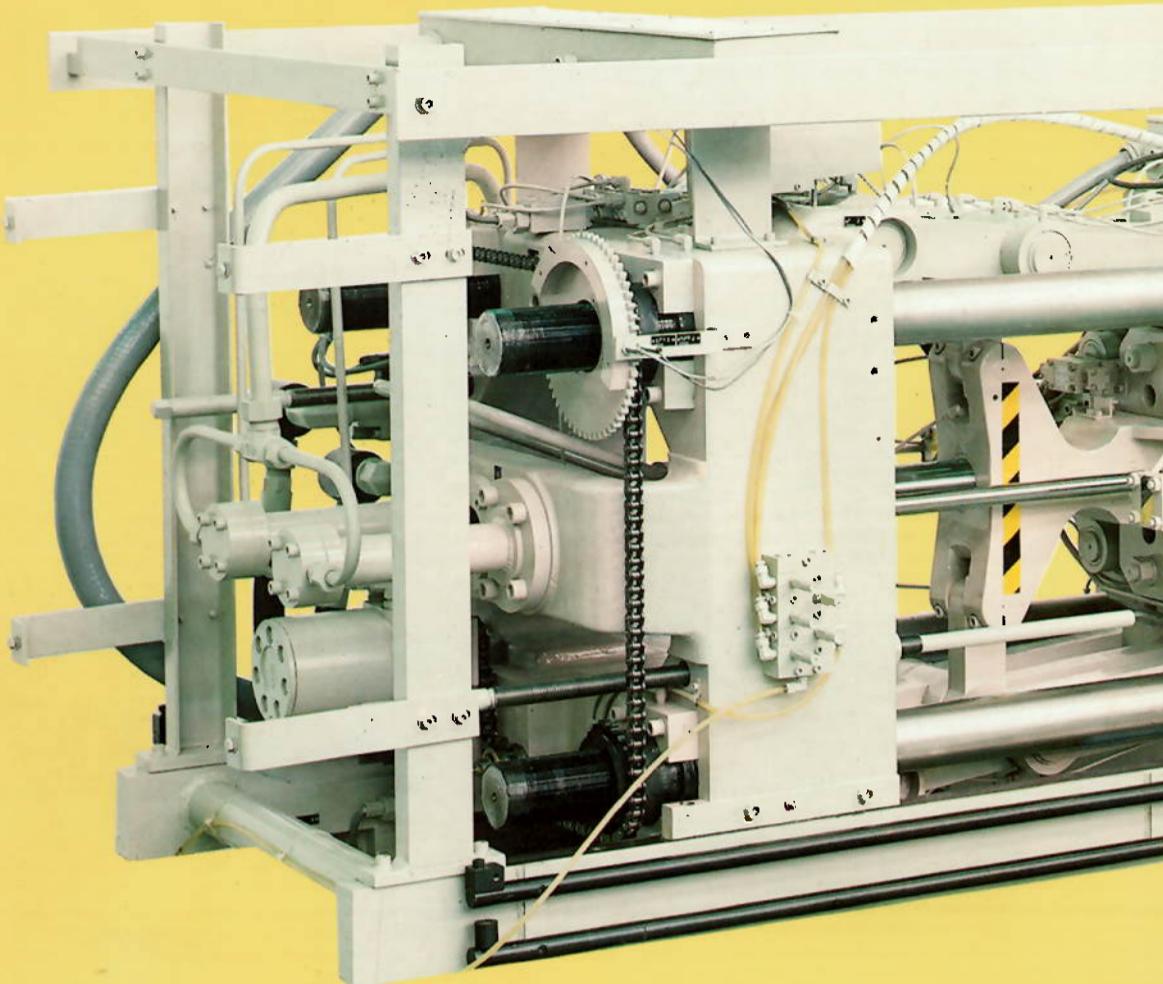
90 toneladas.

ão. Maior capacidade de injeção.



Velocidades e pressões são  
controladas por válvulas proporcionais  
comandadas por cartões eletrônicos,  
garantindo a repetibilidade dos  
movimentos.

**Desenho exclusivo de rechamento  
para um funcionamento rápido, positivo  
e fácil montagem dos moldes.**



## **Unidades de injeção TGR garantem plastificação eficiente e injeção a alta velocidade.**

Parafuso plastificador 16:1 para uso geral como equipamento standard.

Parafuso plastificador 20:1 para aplicações especiais, como equipamento opcional.

Facilidade de conversão para PVC e termofixos.

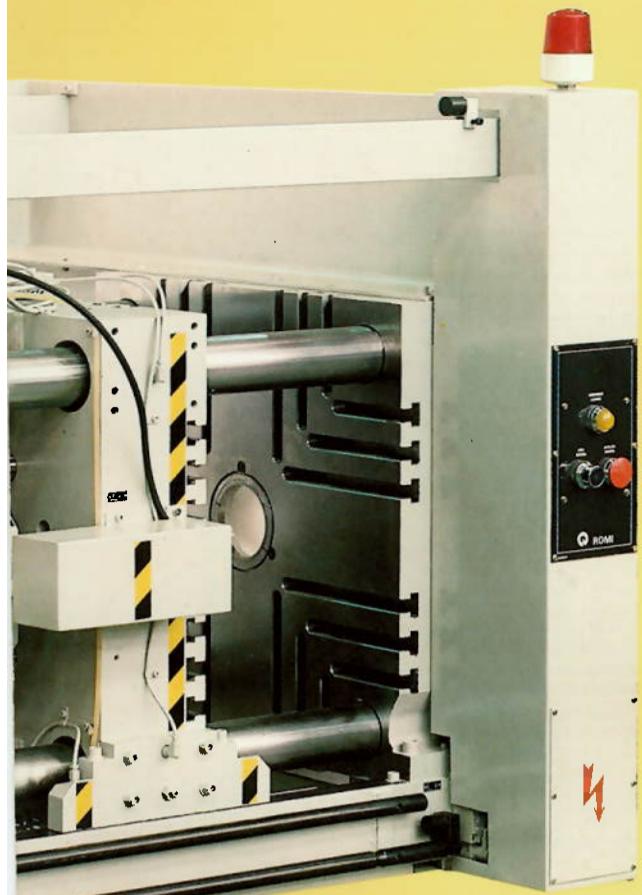
Maiores capacidades de injeção.

Três diâmetros de parafuso plastificador para todos os modelos.

Controle por posicionamento potenciométricos de todas as funções da unidade de injeção.

Unidade de injeção deslocável p  
facilitar a manutenção e a limpeza  
do parafuso plastificador.





Controle por posicionamento potenciométrico de todos os movimentos do mecanismo de fechamento.

Maior superfície de apoio da placa móvel sobre a base da máquina, para maior estabilidade dimensional e melhor paralelismo, garantem longa vida e maior precisão do sistema de fechamento.

Maior abertura livre entre as placas.

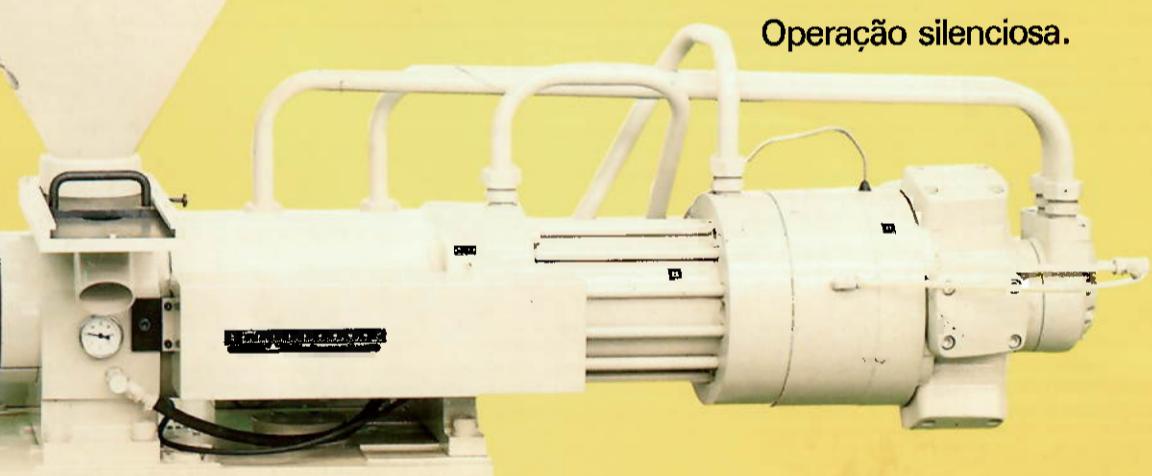
Mais espaço entre as colunas.

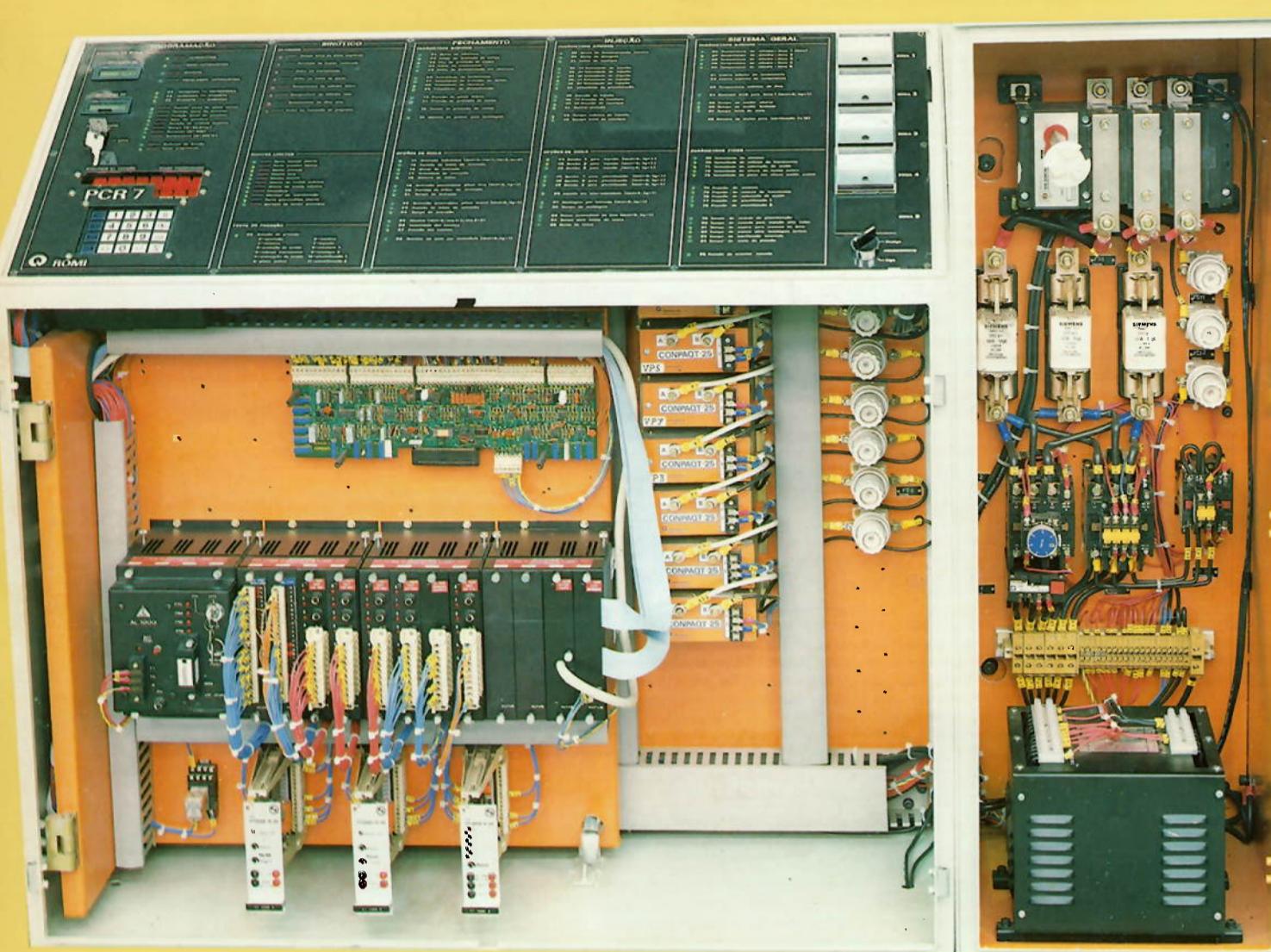
Placas fixa e móvel maiores, com rasgos em "T", o que permite uma melhor e mais universal fixação dos moldes.



Funil circular para facilitar montagem de acessórios.

Operação silenciosa.

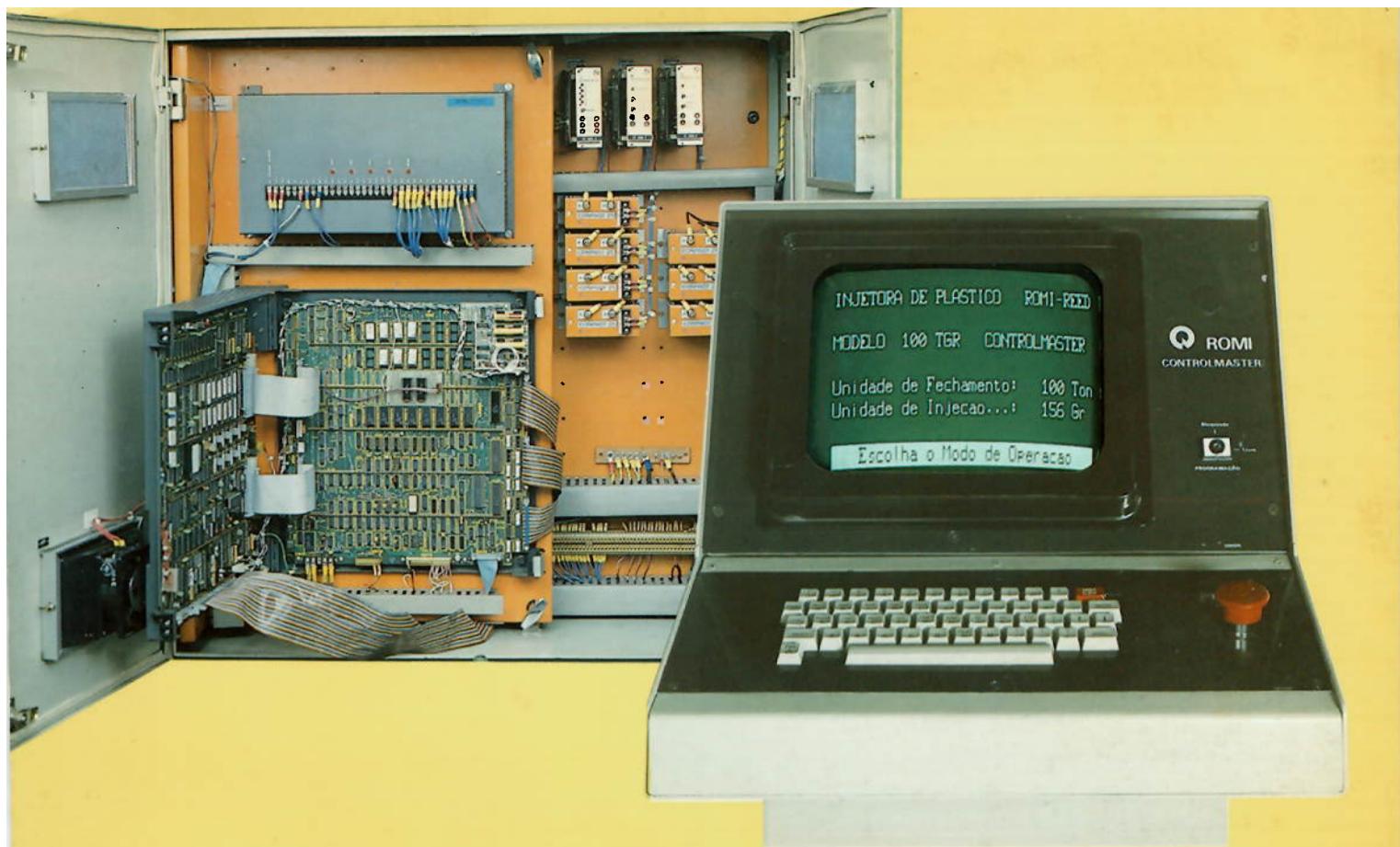




## Painel PCR 7

- Painel de controle baseado em controlador programável a microprocessador de 8 bits de alta velocidade.
- Controla todos os parâmetros da máquina, a saber:
  - cursos • pressões • velocidades • tempos • contadores • temperaturas • tonelagem

Estes parâmetros são programáveis através de teclado e display e são armazenados em memórias tipo RAM, que os mantém mesmo na falta de energia por tempo prolongado.
- Possui interface para comunicação, o que permite salvar os dados do programa em equipamentos periféricos e retorná-los à máquina quando necessário.
- Permite conexão à uma rede de comunicação entre máquinas, gerenciada por computador, que possibilita o armazenamento dos programas numa central única. Possibilita também o monitoramento da produção, através da leitura de dados emitidos pelo painel e adquiridos pelo computador central.
- Manutenção simples, devido ao pequeno número de componentes que o compõe, e facilitada pelo quadro sinótico autodidático, que mostra o estado atual de todas as funções da máquina.
- Tecnologia totalmente nacional, tanto para software como hardware, desenvolvida pela ROMI.



## Painel Controlmaster

- Painel de controle baseado em CNC de última geração.
- Controla todos os parâmetros da máquina, a saber:
  - cursos • pressões • velocidades • tempos • contadores • temperaturas • tonelagemEstes parâmetros são programáveis através de teclado e vídeo gráfico de alta resolução e são armazenados em memórias tipo RAM, que os mantém mesmo na falta de energia por tempo prolongado.
- Controle de processo de injeção adaptativo, que regula automaticamente os parâmetros necessários para que a máquina mantenha a repetibilidade pretendida durante a sua regulagem, e que eventualmente tenha sido alterada por mudanças das características do processo, como densidade e/ou qualidade do material, temperatura ambiente, viscosidade do óleo, desgastes do equipamento, etc.
- Acompanhamento gráfico dos principais parâmetros do processo.
- Grande quantidade de mensagens para o operador, avisando-o de falhas no processo ou uso incorreto do equipamento.
- Tem capacidade de memorizar entre 25 e 40 programas de diferentes peças. Cada programa pode ser acompanhado de comentários que ajudam a identificá-los e o número total de programas memorizáveis depende do tamanho dos comentários (mínimo 25).
- Possui interface para comunicação, o que permite salvar os dados do programa em equipamentos periféricos e retorná-los à máquina quando necessário.
- Permite conexão à uma rede de comunicação entre máquinas, gerenciada por computador, que possibilita o armazenamento dos programas numa central única. Possibilita também o monitoramento da produção, através da leitura de dados emitidos pelo painel e adquiridos pelo computador central.
- Manutenção simples, devido ao pequeno número de componentes que o compõe; é facilitada por uma página especial no vídeo, que mostra o estado atual de todas as funções da máquina.
- Tecnologia totalmente nacional, tanto para software como hardware, desenvolvida pela ROMI.

COMPOSIÇÃO DA MÁQUINA	PCR 7	CONTROL-MASTER
<b>UNIDADE DE FECHAMENTO</b>		
• Proteção do molde super-sensível	S	S
• Regulagem motorizada da altura do molde	S	S
• Extrator hidráulico com posicionamento potenciométrico	S	S
• Extração repetitiva	S	S
• Extração mantida avançada	O	O
• Extração pneumática na placa lisa	O	O
• Extração pneumática na placa móvel	O	O
• Controle de velocidade e pressão do molde por válvula proporcional	S	S
• Velocidade de fechamento e abertura programáveis	S	S
• Barra de segurança mecânica com auto-regulagem	S	S
• Colocação do molde com pressão e vazão reduzidas	S	S
• Posicionamento potenciométrico da placa móvel	S	S
• Prendedores do molde	O	O
• Distribuidor de água para refrigeração do molde	O	O
• Ajuste semi-automático da força de fechamento	S	—
• Ajuste automático da força de fechamento	—	S
• Rearme do ciclo por fotocélula	O	O
• Acionamento de machos: macho dentro e fora com molde aberto ou fechado	O	—
macho livremente programável	—	O
• Velocidade da extração hidráulica programável	S	S
• Fixação rápida do molde - vertical	EE	EE
• Placas porta-moldes - vertical	EE	EE
• Suporte para talha (até 450 TGR)	EE	EE
<b>SISTEMA GERAL</b>		
• Porta frontal de segurança interligada elétrica, mecânica e hidráulicamente	S	S
• Porta traseira interligada eletricamente	S	S
• Transformador para 110 V, 60 Hz para o controle	S	S
• Motor de acionamento de 1.200 rpm, 60 Hz, trifásico	S	S
• Intercambiador de calor para resfriamento do óleo	S	S
• Controle da temperatura do óleo, através de controle de fluxo da água no intercambiador	O	O
• Alarme de temperatura de óleo no tanque	S	S
• Filtro de óleo na succão	S	S
• Partida compensada tipo estrela/triângulo	S	S
• Lubrificação centralizada automática	S	S
• Contador de ciclos	S	S
• Contador de horas	S	S
• Alarme de tempo total do ciclo	S	S
• Calços niveladores	S	S
• Lâminas temperadas nas guias	S	S
• Bacia aparadora de óleo	O	O
• Esteira para retirada de peças	O	O
• Monitorização dos tempos de ciclo	S	S
• Entrada de valores através de teclado e display	S	—
• Entrada de valores através do teclado alfa-numérico e vídeo 12"	—	S
• Memória para até 40 programas	—	S
• Conexão com equipamentos periféricos para recepção e transmissão de programas	S	S
• Periférico para gravação de programas	O	O
• Quadro sinótico com indicação de estado das entradas e saídas, para facilitar operação e manutenção	S	S
• Idiomas: português castelhano	S	S
inglês	EE	EE

COMPOSIÇÃO DA MÁQUINA	PCR 7	CONTROL-MASTER
<b>UNIDADE DE INJEÇÃO</b>		
• Velocidade de injeção programável em 5 estágios, definidos por posicionamento potenciométrico	S	—
• Velocidade de injeção programável em 10 estágios, definidos por posicionamento potenciométrico	—	S
• Dois estágios de pressão de recalque, definidos por tempo	S	—
• Dez estágios de pressão de recalque, definidos por tempo	—	S
• Passagem de controle de velocidade de injeção para controle de pressão de recalque, definida por:		
- tempo	S	S
- posição	S	S
- pressão hidráulica	—	S
- pressão na cavidade	—	O
• Controle adaptativo do processo de injeção	—	S
• Motor hidráulico de pistões radiais para plastificação	S	S
• Velocidade de plastificação programável	S	S
• Curso de dosagem por posicionamento potenciométrico	S	S
• Descompressão após a dosagem	S	S
• Descompressão antes da dosagem	—	S
• Contra-pressão regulável por válvula manual	S	S
• Contra-pressão programável por válvula proporcional	O	O
• Limite máximo de pressão de injeção programável	S	S
• Controle de temperatura pelo sistema P.I.D., através de software específico	S	S
• Monitor de alta e baixa temperatura	S	S
• Amperímetros para zona de aquecimento	S	—
• Indicação de falha no sensor de temperatura	—	S
• Cilindro aquecido por resistências elétricas para 220 V/380 V/440 V	S	S
• Tacômetro para a rotação do parafuso	S	S
• Válvula de não retorno no parafuso standard	S	S
• Válvula homogeneizadora de cores	O	O
• Unidade de injeção deslocável para manutenção	S	S
• Grade magnética no funil	S	S
• Grade magnética de gaveta	O	O
• Rosca 16:1	S	S
• Rosca 20:1	O	O
• Parafuso e cilindro em aços especiais nitretados	S	S
• Adaptação para P.V.C. rígido	O	O
• Adaptação para termofixo	EE	EE
• Unidade hidrotérmica	EE	EE
• Cilindro plastificador bimetálico	EE	EE
• Rosca Stellite	EE	EE
• Injeção em alta velocidade (regenerativo)	O	O
• Injeção em alta velocidade (força máxima)	O	O
• Válvula pneumática de fechamento do bico	O	O
• Recuo automático do bico, com início determinado por tempo e curso programáveis	S	S
• Seleção de bombas durante a injeção e plastificação para otimização de ciclo	S	S
• Gráfico de temperatura x tempo	—	S
• Um bico de injeção aberto (raio = 12 mm, furo = 5 mm)	S	S

PCR 7 - Painel de controle programável a microprocessador de 8 bits.

CONTROLMASTER - Painel de controle a CNC de última geração.

S - Standard

O - Opcional

EE - Execução Especial

Características e especificações sujeitas a alterações sem prévio aviso.

# Injetoras ROMI - Linha TGR

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	150 TGR				200 TGR		
	94(5)	156	298	567	298	567	992
<b>CAPACIDADE EM MATERIAL TERMOPLÁSTICO</b>							
Capacidade de plastificação (PS) (1)	kg/h	58	90	125	151	145	176
Capacidade de plastificação (PS) (1)	g/s	16	26	35	42	40	49
Volume máximo de injeção	cm <sup>3</sup>	100	166	318	603	318	603
Peso máximo de injeção	g	94	156	298	567	298	567
Capacidade do funil	kg	85	85	85	85	85	85
<b>UNIDADE DE INJEÇÃO</b>							
Pressão máxima de injeção	bar	2443	1473	1425	1450	1425	1450
Razão de injeção	cm <sup>3</sup> /s	144	238	246	242	286	281
Curso máximo de injeção	mm	124	124	157	190	157	190
Velocidade máxima do parafuso	rpm	400	400	270	172	315	200
Diâmetro do parafuso	mm	32	41,3	50,8	63,5	50,8	63,5
<b>UNIDADE DE FECHAMENTO</b>							
Força de fechamento do molde	t	150			200		
Força de extração hidráulica	t	3,9			7,0		
Curso máximo de abertura	mm	403			470		
Espessura do molde (máx. x min.)	mm	432 x 118			500 x 136		
Tamanho máx. do molde (hor. x vert.)	mm	432 x 660			501 x 760		
Tamanho das placas (hor. x vert.)	mm	654 x 660			750 x 760		
Espaço entre colunas	mm	432			501		
Diâmetro das colunas	mm	76,2			88,9		
Abertura livre máxima	mm	835			970		
Área projetada (2)	cm <sup>2</sup>	525			700		
Curso de extração	mm	95			108		
Ciclo mínimo a seco (3)	s	2,0			2,4		
<b>ESPECIFICAÇÕES GERAIS</b>							
Pressão do sistema hidráulico	bar	172	172	172	172	172	172
Motor principal	cv	25	25	30	30	30	40
Potência de aquecimento	KW	4,8	7,5	11,2	18,3	11,2	18,3
Capacidade do reservatório de óleo	l	360	360	360	360	420	420
Dimensões da máquina	comprimento	m	4,6	4,6	5,0	5,3	5,4
	largura	m	1,45	1,45	1,45	1,45	1,65
	altura	m	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
Peso da máquina (est.)		kg	5.100	6.000	6.300	6.900	8.400
						9.000	9.700

## OBSERVAÇÕES:

- (1) Volumes e pesos referidos a poliestireno, com 20,59 bar de contra pressão e temperatura de fusão de 215,5°C, aferidos segundo norma DIN 53455.
- (2) Dependendo do molde, material usado e desenho da peça.
- (3) Tempo baseado no curso máximo.



Fábrica de Injetoras - Santa Bárbara d'Oeste



Linha de montagem das Injetoras TGR

Divisão de Marketing  
São Paulo

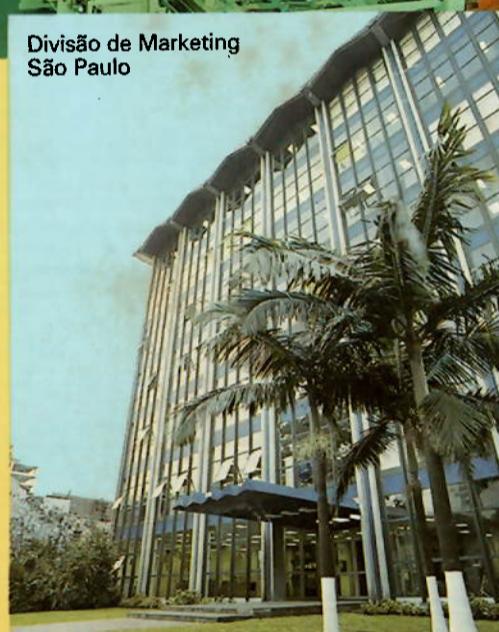


## Indústrias Romi S.A.

**Sede Social - Fábrica: Santa Bárbara d'Oeste - SP**  
Av. Pérola Byington, 56 - Tel.: (0194) 63-3922  
Caixa Postal 158/168 - Telegr.: Romilia  
Telex (019) 1054 - FAX (0194) 63-2499 - CEP: 13450

**Divisão de Marketing - Vendas: São Paulo - SP**  
Rua Coriolano, 710 - Tel.: (011) 262-4666  
Caixa Postal 30352 - Telegr.: Romilia  
Telex (011) 21922 - FAX (011) 659510 - CEP: 05047

- Araraquara (0162) 32-0872 • Bauru (0142) 22-5666 • Belém (091) 229-9704
- Belo Horizonte (031) 441-9022 • Brasília (061) 223-9750 • Caxias do Sul (054) 221-1982
- Criciúma (0484) 33-3728 • Curitiba (041) 223-0213 • Fortaleza (085) 223-2644
- Goiânia (062) 233-7466 • Joinville (0474) 22-1381 • Mococa (0196) 55-0033
- Porto Alegre (0512) 42-5066 • Pres. Prudente (0182) 22-3418 • Recife (081) 221-2244
- Ribeirão Preto (016) 634-7238 • Rio de Janeiro (021) 284-3845 • Salvador (071) 244-8366
- Santo André (011) 440-0488 • S.J. dos Campos (0123) 22-6056 • Sorocaba (0152) 31-7554
- Uberlândia (034) 232-0682 • Vila Velha (027) 229-1775



# modelo para cada aplicação

GR		450 TGR			600 TGR (4)			800 TGR (4)			1100 TGR (4)		
2	1417	992	1417	1985	1417	1985	2552	2552	3402	4536	3402	4536	5670(5)
5	209	320	288	403	331	465	457	558	820	687	899	751	751
1	58	89	80	112	92	129	127	155	228	191	250	209	209
2	1482	1042	1482	2082	1482	2082	2681	2681	3581	4826	3581	4826	6032
2	1417	992	1417	1985	1417	1985	2552	2552	3402	4536	3402	4536	5670
1	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
67	1514	1467	1514	1483	1514	1483	1458	1458	1439	1450	1439	1450	1450
9	319	460	446	455	514	525	605	764	871	864	950	943	943
9	257	229	257	292	257	292	311	311	349	381	349	381	476
0	93	209	130	130	150	150	110	140	156	97	171	106	106
2	85,7	76,2	85,7	95,3	85,7	95,3	104,8	104,8	114,3	127	114,3	127	127
0	450			600			800			1100			
2	9,2			9,2			14			23			
2	660			775			880			1200			
165	712 x 190			830 x 225			975 x 250			1150 x 300			
930	710 x 1080			828 x 1250			975 x 1470			1145 x 1730			
930	1080 x 1080			1250 x 1250			1470 x 1470			1730 x 1730			
2	710			828			975			1145			
9	132			152			175			205			
4	1372			1605			1855			2350			
0	1575			2100			2800			3850			
1	160			192			216			350			
1	3,7			4,5			5			6,0			
2	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172
40	50	50	50	50	50	50	60	75	75	75	100	100	100
3	32,1	25,8	32,1	38,3	32,1	38,3	49,3	49,3	60	75	60	75	100
0	470	620	620	620	760	760	760	1250	1250	1250	1250	1250	1250
7,2	7,2	7,6	8,0	8,2	8,6	9,0	9,6	10	10,4	11	11,4	11,9	11,9
1,8	1,9	1,9	1,9	2,1	2,1	2,1	2,30	2,30	2,30	2,8	2,8	2,8	2,8
5	2,35	2,42	2,42	2,42	2,6	2,6	2,6	2,95	2,95	2,95	3,4	3,4	3,4
00	13.800	18.000	19.000	20.000	26.200	27.200	28.000	39.500	40.000	41.000	65.000	66.000	66.800

(4) Somente a versão CONTROLMASTER.

(5) Somente com L/D = 20:1

