

### **Equipamentos para preparação de matérias-primas**

- Guilhotina
- Moinhos ou trituradores
- Moinhos de micronização
- Aglutinadores
- Linhas de extrusão - granulação
- Misturadores
- Dosadores
- Secadores
- Transportadores
- Tratamento corona.

---

### **Equipamentos para preparação de matérias-primas**

Como já foi estudada e analisada anteriormente, na disciplina de Extrusão, a importância da alimentação das matérias-primas para os processos de transformação, cabe-nos apenas mostrar os equipamentos básicos para o fornecimento das matérias-primas alimentadas aos mais variados processos de transformação:

#### **Guilhotina**

Tem a função de reduzir o material a ser recuperado. A faca é pressionada hidráulicamente contra a plataforma ou barra de corte.



Fig.1 - Guilhotina.

### Moinhos ou trituradores

Tem a função de moer o material a ser recuperado. Existem muitos tipos, embora o mais utilizado seja o de facas. Este equipamento é composto por um conjunto de facas giratórias que cortam o material em pedaços pequenos suficientes para serem reprocessados. O número de facas depende da quantidade de material a ser processado, e disso depende a potência instalada.

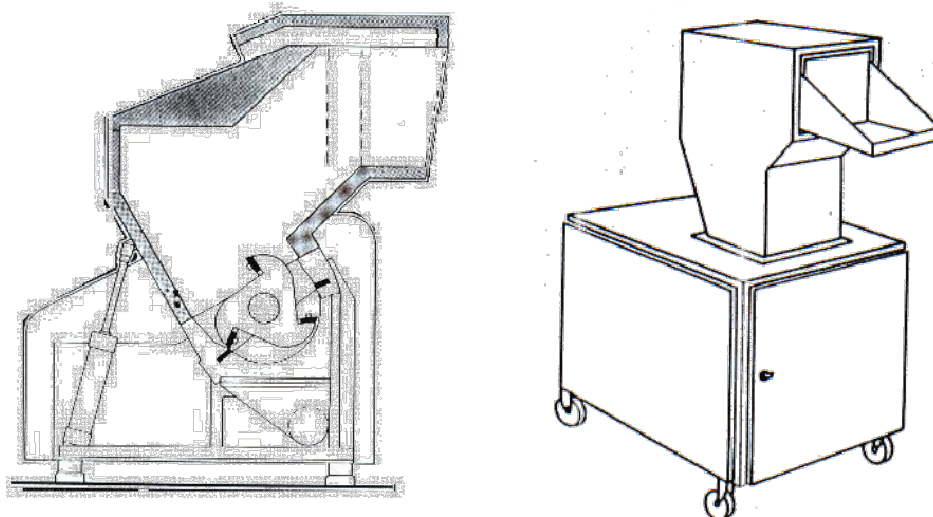


Fig.2 - Trituradores: à esquerda, corte mostrando facas giratórias e fixas; à direita, um moinho com bandeja no bocal.

Existem também equipamentos para moagem fina, conhecidos como micronizadores ou pulverizadores. São indispensáveis para a preparação de material em pó para processos de extrusão de PVC e rotomoldagem, além de outras aplicações.

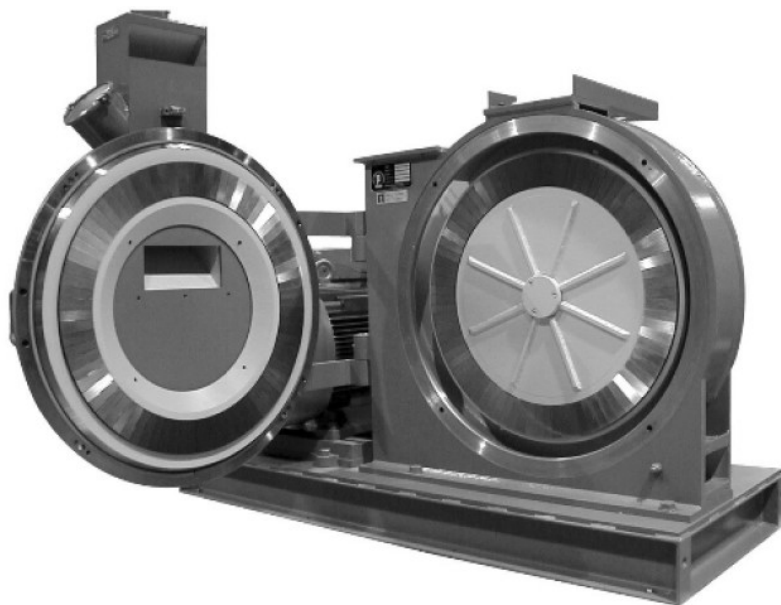
### Moinhos de micronização

O volume do polietileno no mercado mundial da rotomoldagem é ao redor de 95%. O polietileno é um material relativamente resistente que é difícil de se dividir. O método mais comum da micronização é executado usando os moinhos compactadores (de atrito) de alta velocidade que moem peletes de aproximadamente  $\frac{1}{16}$  a  $\frac{1}{4}$  pol. (5 a 6 mm) no diâmetro.

Um moinho compactador usa um disco estacionário e um de giro com uma série de dentes radiais serrilhados usinados dentro de uma carcaça do moinho. Os discos são posicionados opostamente com uma folga estreita de acoplamento do centro das placas à borda exterior. A figura 6.7 mostra o interior de um grande moinho compactador, e a figura 6.8 mostra a disposição de um moinho compactador de dois estágios. Os moinhos modernos tendem à operação horizontal para uma produção mais uniforme do pó e o desgaste reduzido nos dentes de corte. As unidades de produção usam configurações simples, duplas, e triplas do moinho de acordo com a produção exigida.

Altas velocidades são exigidas para cortar eficientemente o material na combinação entre as duas placas. Um volante é conectado ao eixo do disco giratório, balanceado para eliminar a vibração em altas velocidades e para reduzir igualmente a deflexão do disco de giro durante o corte. O disco estacionário é montado numa carcaça com circulação de água de resfriamento para controlar a temperatura durante a operação. O disco estacionário pode ser movimentado para dentro e para fora da parte externa da máquina permitindo que a folga entre as caras de corte dos discos seja ajustada.

*Folga.* A separação entre os discos girando é muito importante para aperfeiçoar o tamanho e a distribuição das partículas. Estas afetam por sua vez a densidade e a taxa de fluxo do pó seco. Os ajustes de uma folga maior produzirão dimensão das partículas maiores; ajustes menores podem gerar demasiado calor e afetar a produção total do sistema. Em sistemas de dois moinhos, os ajustes típicos da folga para o primeiro moinho podem estar entre 0,010 e 0,020pol. (0,25 a 0,5 mm); o ajuste para o segundo moinho é tipicamente ao redor 0,010pol. (0,25 mm) a menos do que o do primeiro, mas os discos não devem estar mais próximos do que 0,005pol. (0,125 mm). Os ajustes são afetados pelo tamanho inicial do pelete, a dureza do material, a taxa total de produção, e assim por diante. Aperfeiçoar os ajustes para um único moinho diferirá de um sistema de moinho duplo, tendo em vista que o moinho único terá que repassar as partículas maiores do primeiro corte numa segunda operação.



**FIGURE 6.7** Static and rotating disks inside a large attrition mill. (Courtesy of Pallman GmbH.)

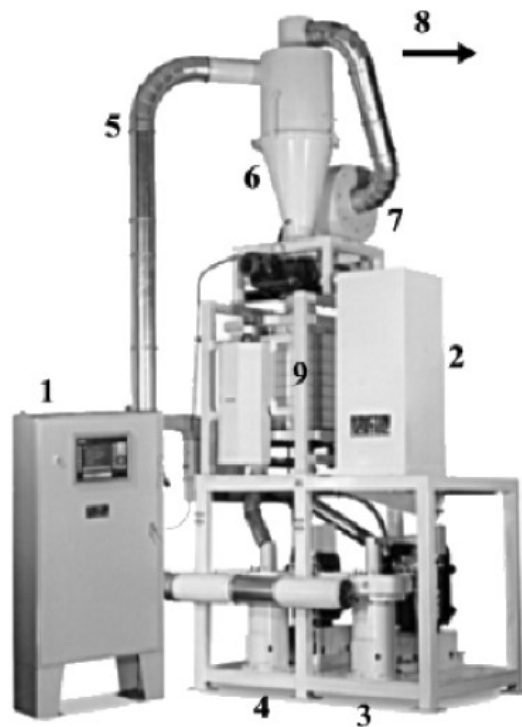


FIGURE 6.8 Two-stage attrition grinding mill. (Courtesy of Reduction Engineering, Inc.)

*Dentes de corte.* O número e a condição dos dentes de corte afetarão a qualidade da moagem. Um disco de 360 dentes é mais grosseiro e produzirá partículas maiores, um disco de 480 dentes é mais refinado e produzirá partículas menores. O projeto das extremidades dos dentes é importante, também o vale entre os dentes afeta a quantidade de material cortada - maior o ângulo, maiores as partículas produzidas. Uma borda afiada nas lâminas de corte é importante para uma ação de corte limpa. Os compactadores grandes geram mais calor enquanto os peletes rolam através das lâminas produzindo partículas mais finas.

*Temperatura de moagem.* Monitorar as temperaturas durante a moagem é importante para a boa operação e a qualidade final do pó. Superaquecer o moinho pode causar uma situação de fusão que pode travá-lo. Os moinhos tem um termostato para impedir que isto aconteça. Também, como as partículas são extraídas dos moinhos peneiradas, a temperatura do ar é um fator importante no “polimento” das partículas. Uma temperatura suficientemente alta é exigida para amaciar as partículas e para permitir a retração das caudas e fios no corpo principal da partícula, formados durante o corte. As temperaturas de funcionamento estão na faixa de 194 a 212°F (90 a 100°C). Uma temperatura muito baixa afetará a qualidade do pó, enquanto manter uma temperatura relativamente alta melhorará a densidade e secará o fluxo total do pó produzido. A moagem dupla e tripla exige um balanço entre os moinhos para assegurar que demasiado trabalho não esteja sendo feito num sobre o outro. A monitoração das taxas de alimentação, do tamanho da produção, e o consumo de corrente do moinho podem ajudar a balancear a produção total.

*Tela (Peneira).* A tela no moinho é tipicamente uma peneira empilhada (uma superfície contínua longa dobrada em vários níveis para o uso máximo do espaço) selecionada para o tamanho final do pó exigido. A eficiência das peneiras é afetada pela presença de partículas de pobre qualidade com demasiadas caudas e fios, que podem obstruir as telas e reduzir a eficiência, e também favorecem na geração de estática.

*Moagem criogênica.* A moagem criogênica usa o nitrogênio líquido para congelar o material antes de alimentá-lo no moinho e para manter uma baixa temperatura durante todo o processo. É usada para os materiais sensíveis ou os muito resistentes que não podem ser moídos em temperaturas normais. Congelando, os peletes são quebrados enquanto passam através do moinho. Os materiais moídos criogênicos tendem a parecer um tanto grosseiros em comparação com os pós polidos do polietileno.

### **Aglutinadores**

Os aglutinadores têm por função recuperar material oriundo de filmes plásticos finos, transformando-os (aglutinando-os) em agregados de maior massa, similares a grânulos desuniformes.

Este equipamento é semelhante a um liquidificador, pois consiste de um tambor munido de facas giratórias no fundo. Estas cortam o material em pequenos pedaços e os aquecem por atrito contra as paredes do tambor. Assim, os pequenos pedaços de filme, fundem-se parcialmente e aderem uns aos outros formando aglutinados. A diferença para um liquidificador é que o aglutinador possui facas fixas nas paredes internas do tambor, contra as quais o material é picotado pelas facas giratórias.

Uma vez pronto, o material deve ser rapidamente resfriado, despejando-se água no interior do tambor, para que o material não seja aglutinado a ponto de formar grãos muito grandes ou uma única massa unida. Os grãos resultantes, tem um aspecto diferente dos *pellets*, apresentando forma e superfície bem mais irregulares.

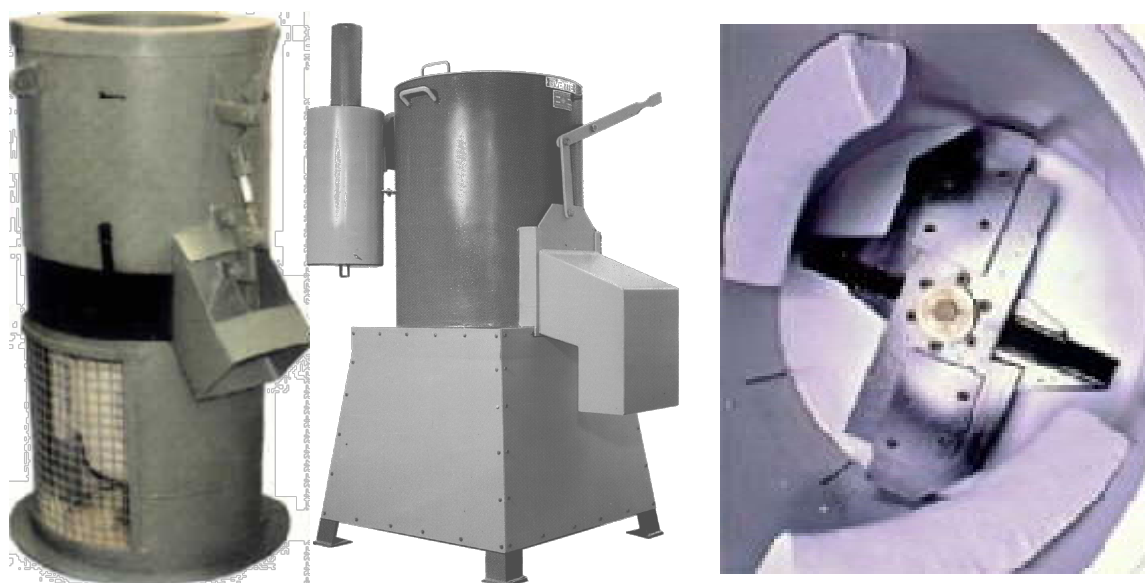


Fig. 3 – Aglutinadores de filmes. À direita, o interior do aglutinador, mostrando as facas rotativas.

### **Linhas de extrusão - granulação**

Com o princípio de funcionamento semelhante aos moinhos. Estes equipamentos tem a função de cortar o material, fazendo assim os *pellets*.

Uma extrusora, especificamente utilizada para reciclagem e/ou composição de material, é alimentada por material previamente moído ou aglutinado (até mesmo virgem, no caso de composição de material). Através de uma matriz com pequenos orifícios dispostos lado a lado, são extrudados cordões (vulgarmente chamados de “espaguete”), que após resfriados em um tanque de água, passam por um granulador (figura 4). Ali, os cordões solidificados e frios são cortados em pequenos cilindros de forma e tamanho regular, semelhantes aos *pellets* de material virgem.

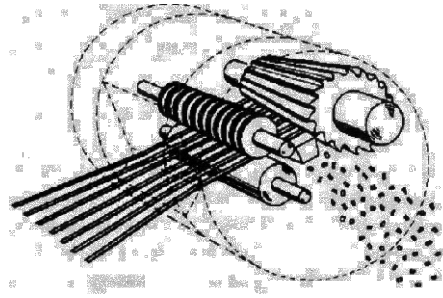
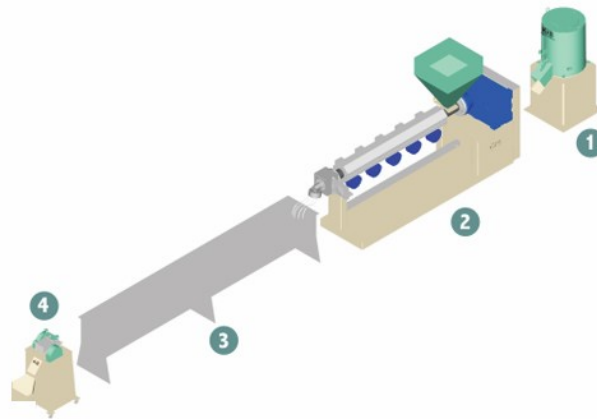


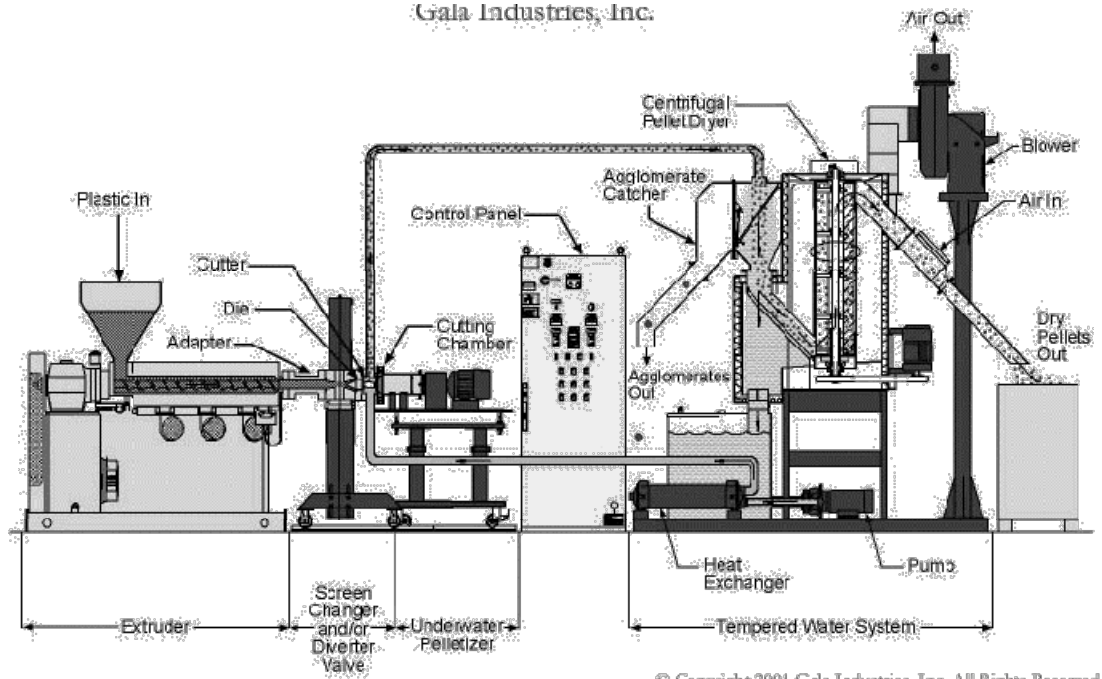
Fig. 4 – Detalhe do interior do granulador, mostrando os cordões extrudados sendo cortados.



• 1. Aglutinador • 2. Extrusora • 3. Banheira de Resfriamento • 4. Granulador

Fig. 5 – Esquema de uma linha de extrusão-granulação com corte em granulador.

Outra opção é a linha de extrusão com corte na cabeça, que costuma ser muito utilizada pelas petroquímicas de segunda geração para a produção dos *pellets* de material virgem e pelas empresas que preparam compostos. Nesse tipo de linha, o granulador consiste de facas com eixo de rotação colinear à extrusora, montado imediatamente após a matriz. Os furos da matriz, em número muito superior ao da matriz da linha “espagueteira”, são dispostos de forma anelar. Ao contrário da linha “espagueteira”, o resfriamento ocorre após o corte. Como mostrado nas figuras abaixo, uma linha de água (ou ar, em alguns tipos de linha) passa pelo interior do granulador, recolhendo e resfriando os pellets recém cortados. Na seqüência, uma série de equipamentos são empregados para separar *pellets* aglomerados, remover a água da superfície e secar.



© Copyright 2001 Gala Industries, Inc. All Rights Reserved.

Fig. 6 – Esquema de uma linha de extrusão-granulação com corte na cabeça.

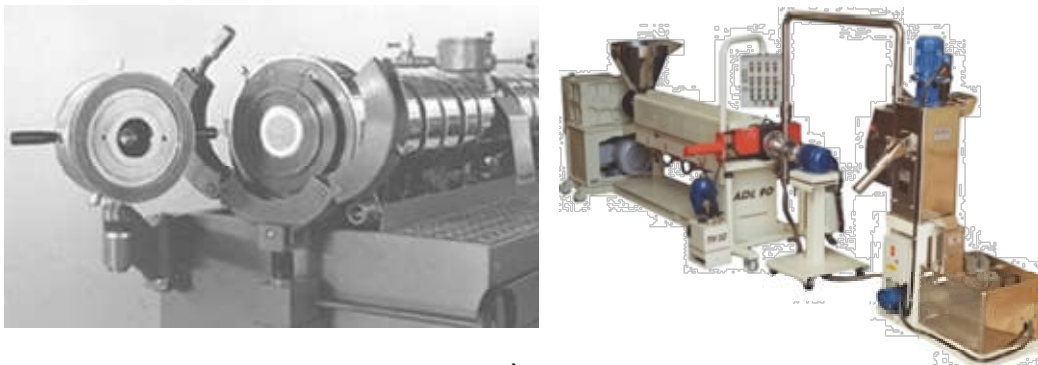


Fig. 7 – À direita, uma linha completa de corta na cabeça. À esquerda, a matriz aparece em primeiro plano, deslocada do adaptador com a tela-filtro.



## Misturadores

Os misturadores, como o próprio nome já diz, tem a função de misturar fisicamente os materiais.

São utilizados principalmente nas seguintes situações:

- adição de algum tipo de aditivo ao material virgem;
- mistura de material recuperado com novo;
- mistura de dois tipos de resinas (processamento de blendas).

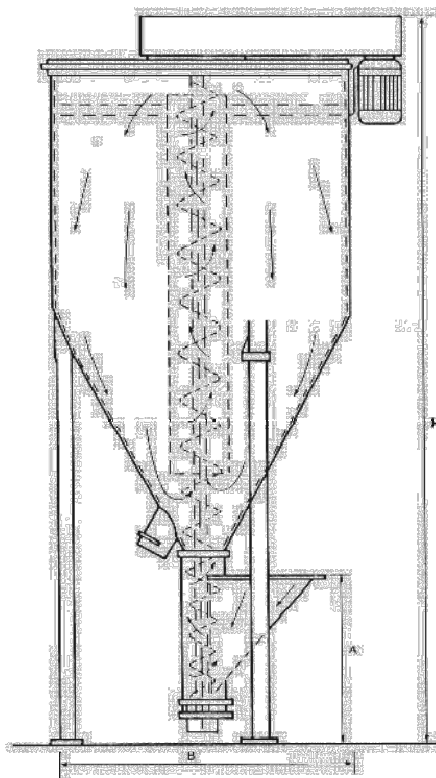


Fig. 8 – Este misturador possui um parafuso interno na vertical, que circula os grãos pelo seu interior, misturando-o fisicamente.

A concepção deste equipamento varia muito, dependendo da necessidade. Não são raros, inclusive, os misturadores construídos ou montados dentro da própria empresa transformadora.

Misturadores intensivos, como o mostrado na figura 9, são muito empregados para a preparação de compostos em pó. É o caso, por exemplo, dos compostos de PVC usados na extrusão de tubos e perfis ou do material micronizado empregado na rotomoldagem.

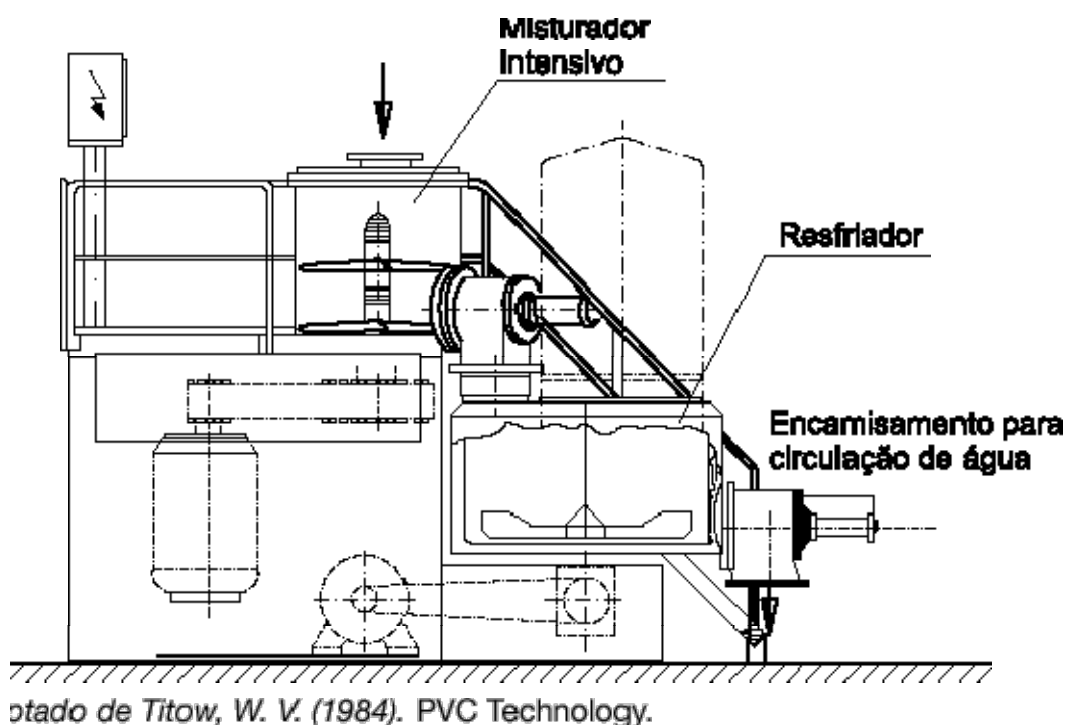


Fig. 9 – Misturador intensivo para compostos de PVC.

### Dosadores

Quando se quer, por exemplo, misturar 95% de uma resina termoplástica, com 5% de um *masterbatch* vermelho, pode-se pesar e colocar manualmente este material no misturador. Porém, isto tem as tradicionais desvantagens de qualquer método manual: desperdício de tempo, falta de precisão e alocação de um funcionário específico para tal.

Assim, os dosadores são responsáveis pela alimentação automática do misturador (ou do próprio funil da máquina), assegurando precisão à composição da matéria-prima. O equipamento tem um funil próprio para cada tipo de material, onde são despejados manualmente ou transportados automaticamente por outro dispositivo. Com a devida programação, o dosador abastece o misturador com a porcentagem desejada de cada material. Podem ser encontrados dosadores para mais de duas matérias-primas (como o da figura 10), dosadores/misturadores (como o da figura 11) e até dosadores/secadores.

Basicamente, dois são os métodos de dosagem dos componentes do material: volumétrico e gravimétrico. Os dosadores volumétricos, como o da figura 10, dosam a proporção dos componentes pelos seus respectivos volumes. Já os dosadores gravimétricos, usam a massa dos componentes como medida.

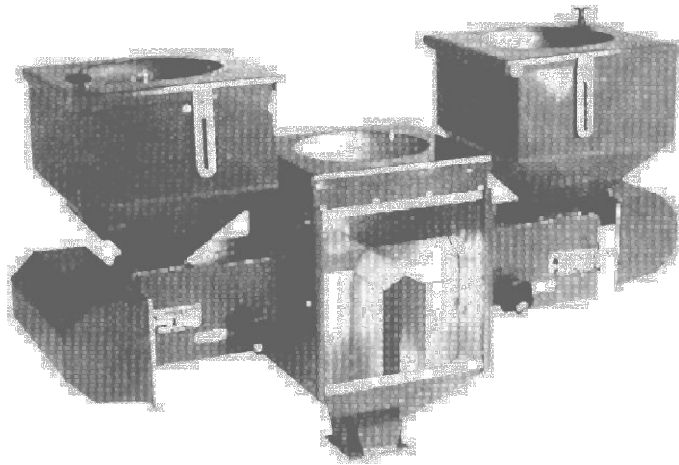


Fig. 10 – Este dosador volumétrico permite a mistura de três componentes. Parafusos transportadores abaixo de cada funil giram em velocidades diferenciadas, de acordo com a proporção programada para a dosagem.

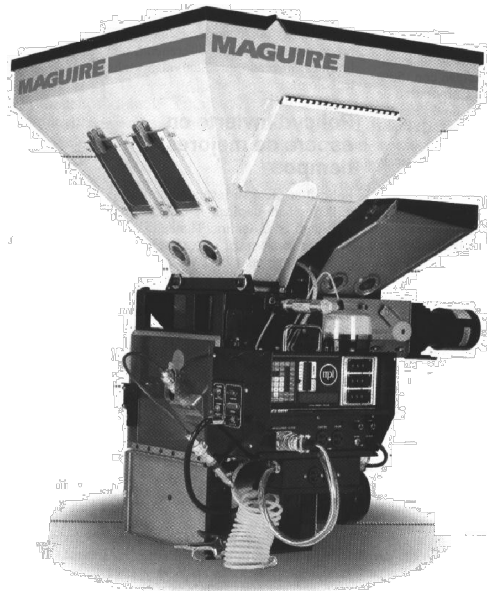


Fig. 11 – Dosador gravimétrico.

## Secadores

São utilizados para a secagem do material. Alguns materiais termoplásticos são extremamente higroscópios. Esta água retida acaba prejudicando o seu processamento, sendo necessário que este material passe algum tempo secando. O tempo de secagem necessário deve ser fornecido pelo fabricante do material, juntamente com a temperatura em que deve permanecer.

O princípio de funcionamento é simples. Em um dispositivo, o ar é aquecido e passado pelo material (daí a dificuldade de secar um material em forma de pó), removendo sua umidade. O secador já é construído de forma a facilitar a retirada do material depois de seco. Alguns funis de transportadores possuem um aquecedor que evita a reabsorção de água pelo material.

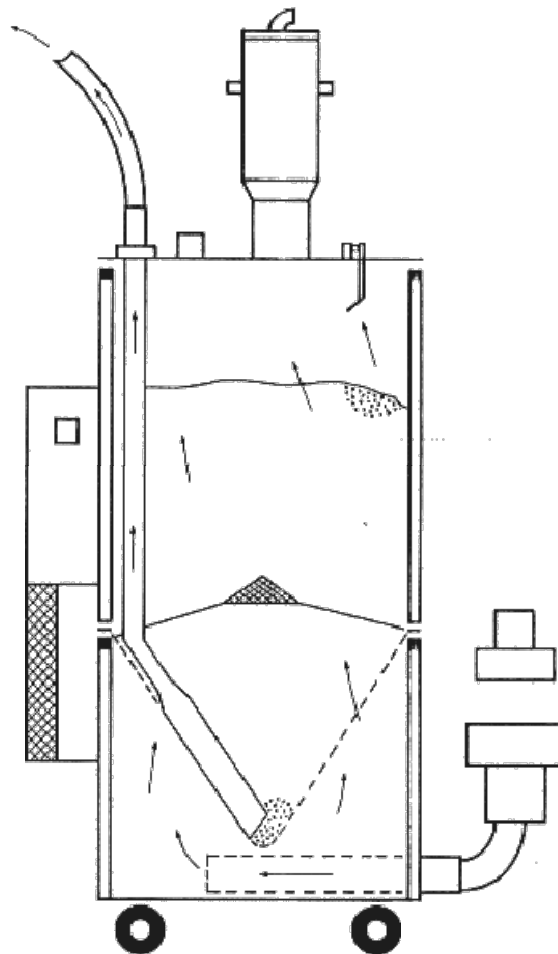


Fig. 12 – Esta figura do interior do secador mostra seu princípio de funcionamento: o ar aquecido por resistências (em baixo, à direita) entra por baixo e retira a umidade do material ao subir por entre os grãos. Um tubo (à esquerda) aspira os grãos após a secagem, levando-os ao funil da máquina processadora.

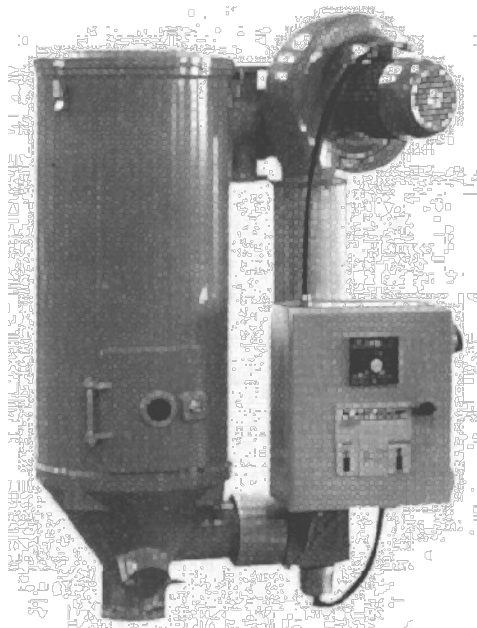


Fig. 13 – Vista externa de um secador semelhante ao da figura 8. Nota-se o compressor de ar (em cima) e o painel de controle com as resistências.

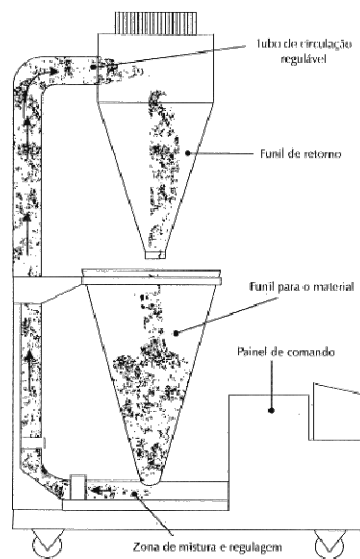


Fig. 14 – Secador com funil de alimentação: uma corrente de ar aquecida por resistências é fornecida por um compressor, faz circular o material a uma temperatura selecionada. A corrente de ar arrasta o material ao passar pela zona de regulagem e entra tangencialmente na tubulação. Ao chegar no funil superior, o ar quente que transferiu seu calor para os grãos deixa o circuito e o material cai no funil inferior, para que o ciclo se repita. A cada ciclo os grãos se aquecem, fazendo sua umidade evaporar. Quando o material está seco, o funil de superior tem sua saída fechada para acumular o material, sendo então girado por sobre o funil da máquina processadora e descarregado.

## Transportadores

Estes sistemas podem ser individuais ou parte de um conjunto, que é responsável por alimentar um grande número de máquinas a partir de um único depósito de materiais (silo).

Transportadores pneumáticos possuem um reservatório montado sobre o funil da máquina ou no lugar do próprio funil. São providos de sensores que determinam o nível de material no depósito da máquina (funil), se estiver muito baixo é acionada uma válvula ou outro dispositivo, dependendo do sistema usado, para se completar o nível material. Alguns destes incorporam dispositivos que permitem a dosagem de material virgem e recuperado, misturando-os no próprio depósito. Geralmente este transporte é feito à vácuo (transporte pneumático), mas pode também ser feito por parafusos sem-fim ou esteiras.

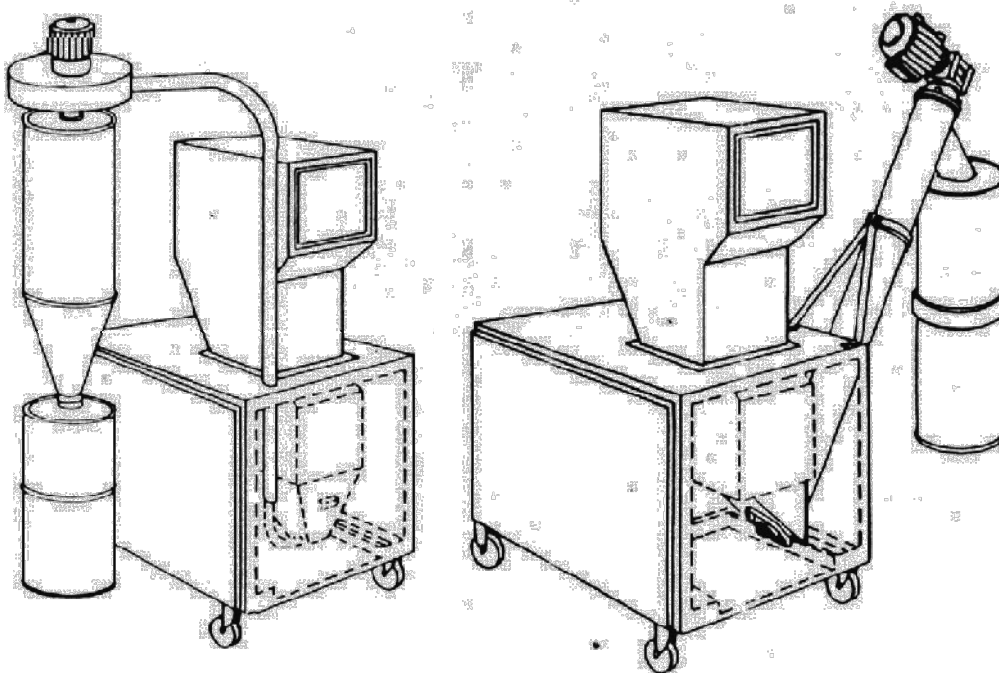


Fig. 15 – À esquerda, um moinho com transportador pneumático; à direita, o material é retirado do moinho por um parafuso.



Fig. 16 – Um compressor aspira o ar de um funil, fazendo com que o mesmo seja alimentado com material de um silo, saco ou tambor. Quando o funil da máquina (em baixo) precisa ser alimentado, o funil do transportador abre e despeja seu conteúdo.

### Tratamento corona.

Filmes produzidos com resinas como o PE possuem superfície não polar (baixa tensão superficial), portanto, não são capazes de manter tintas e adesivos. Durante um tratamento corona, a superfície do filme é exposta a uma descarga elétrica que a polariza, preparando-o para ser impresso.

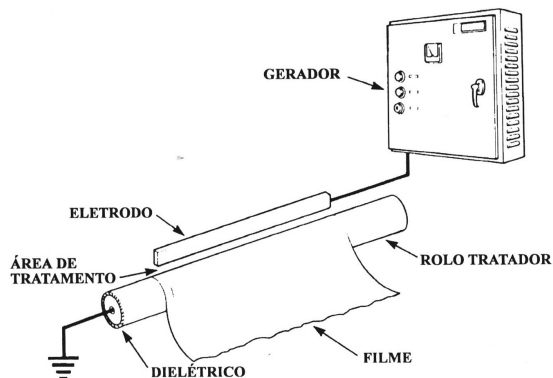


Figura – Equipamento para tratamento Corona. Costuma ser montado na torre da máquina, entre os puxadores e o bobinador.

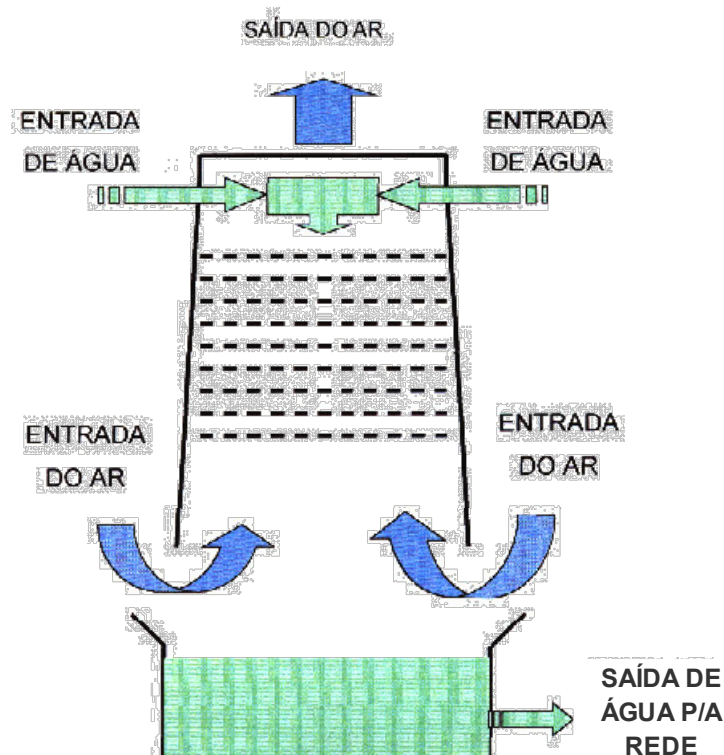
## EQUIPAMENTOS PARA CONTROLE DE TEMPERATURA

### Resfriamento do material:

- Em moldes (sopro e injeção), calibradores e tanques (extrusão), para diminuir o tempo de produção.
- Em sistemas/elementos de controle de temperatura do material na garganta de alimentação de extrusoras, injetoras e sopradoras.
- Resfriamento de óleo hidráulico:
- Em trocadores de calor de tanques de óleo de injetoras e sopradoras.

### TORRES DE RESFRIAMENTO

- Resfriar a água do sistema de resfriamento de moldes de injetoras e sopradoras, calibradores ou tanques de resfriamento de linhas de extrusão e condensadores.
- A água aquecida por estes equipamentos retorna para o topo da torre e é borrifada para baixo, indo, por queda livre até o reservatório na parte inferior.
- Ao cair, a água perde calor para o ar ambiente (as torres devem ser instaladas fora do pavilhão industrial, ao ar livre).
- Um termostato aciona um exaustor no topo da torre quando a temperatura da água do reservatório ultrapassa o valor regulado.
- O exaustor puxa o ar por aberturas acima do reservatório e cria um fluxo contrário à queda da água, tornando o resfriamento mais eficiente.
- Do reservatório, a água é bombeada para dentro do pavilhão industrial, passando novamente pelas máquinas e equipamentos, retirando calor e retornando ao topo da torre.





## **UNIDADE DE ÁGUA GELADA (*chiller*)**

- Resfriamento de água a uma temperatura abaixo da ambiente.
- Utilizado fundamentalmente para o resfriamento de moldes de injeção e sopro, no processamento de resinas como o PE, PS e PP.
- Para produtos que não exijam desempenho técnico/estrutural (como potes, tampas, garrafas, etc.) a água abaixo 20 °C garante um tempo de ciclo baixo, sem prejudicar a funcionalidade.
- Em alguns casos extremos, pode-se baixar a temperatura da água para 0 °C ou menos, com o uso de agentes anticongelantes (etileno-glicol).

### **Dois circuitos independentes, o da água e o do gás refrigerante:**

#### **Circuito da água:**

- Reservatório abastecido com água.
- A água deve sofrer tratamento para prevenir a formação de depósitos ou corrosão da tubulação e do molde.
- Com o reservatório abastecido e o compressor do gás ligado, uma bomba gera a vazão de água gelada pela tubulação que a conduz ao destino (molde) e que a faz retornar ao reservatório, aquecida.
- Dentro do reservatório a água é resfriada novamente, retornando posteriormente ao molde.

#### **Circuito do gás, em 4 etapas:**

- Comprimir o gás refrigerante, diminuindo seu volume e elevando sua temperatura e pressão até o limite de poder ser condensado por retirada de calor em um trocador de calor com circulação de água da torre de resfriamento.
- O condensador é um cilindro, por onde passa o gás, com um feixe de tubos interno, por onde passa a água resfriada, proveniente da torre. A água retira calor do gás liquefazendo-o e resfriando-o.
- O líquido se expande e evapora em uma válvula termostática (capilar), na entrada do evaporador, com abaixamento de temperatura e aumento de volume.
- O fluído evaporando circula pela serpentina (evaporador) no reservatório de água do *chiller*, retirando o calor da água, necessário para sua evaporação. O gás evaporado é aspirado pelo compressor, que vai novamente comprimi-lo, fechando desta forma o circuito.

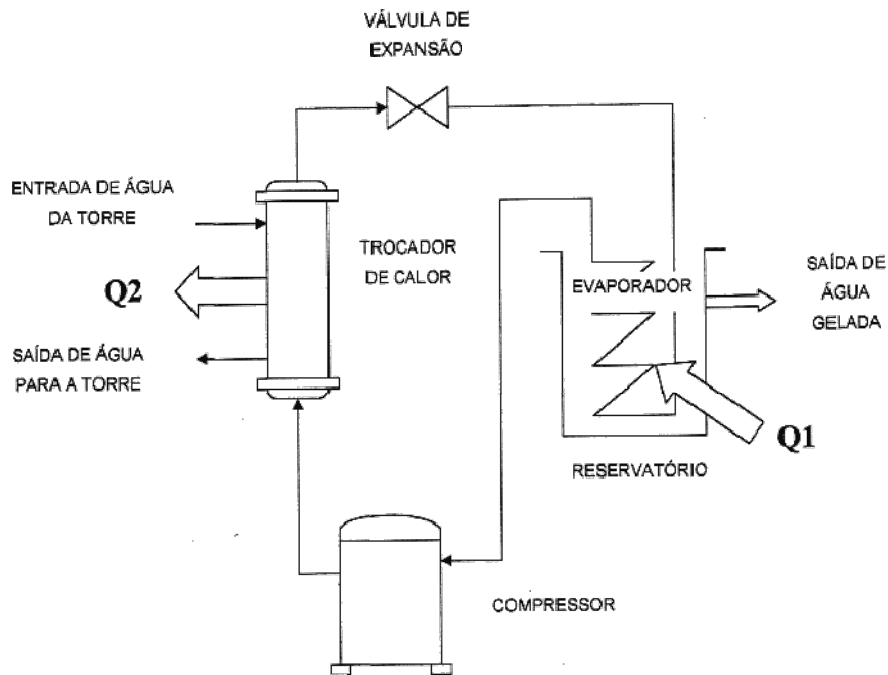


Figura 14 – circuito do gás refrigerante em uma unidade de água gelada

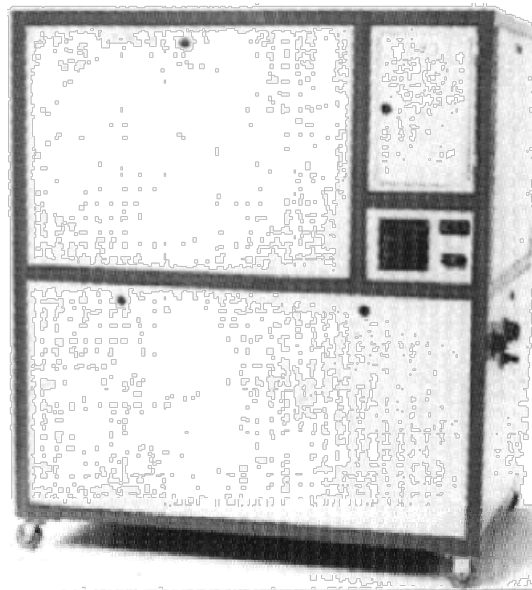


Figura 15 – Unidade de água gelada central, usada para abastecimento de mais de um equipamento.

Centrais ainda maiores podem abastecer um pavilhão industrial inteiro.

## UNIDADES TERMORREGULADORAS

- Muitas vezes, a temperatura ideal para o molde é maior do que a ambiente, não sendo possível, portanto, utilizar água de torre ou de *chillers*.
- O aquecimento do fluido refrigerante é feito através de um equipamento semelhante às unidades de água gelada, porém com o efeito inverso.

- Algumas unidades fornecem fluido refrigerante tanto abaixo quanto acima da temperatura ambiente.
- No caso do aquecimento, além da água, podem operar com óleo. O óleo é muito utilizado como fluido refrigerante aquecido, principalmente quando a temperatura de molde ideal está acima de 90 °C, devido à vaporização que ocorreria com água.
- É importante observar que os aquecedores de água ou óleo são utilizados para resfriar o molde, que esquenta em contato com o material que entra na cavidade do molde a temperaturas na ordem de 200 °C.

### UNIDADES MÓVEIS

- Independentemente de aquecer ou resfriar o fluido refrigerante, há atualmente uma tendência ao emprego de pequenas unidades móveis de controle de temperatura, dedicadas a uma única máquina, ao contrário das tradicionais unidades centrais de grande capacidade.
- O principal motivo é a impossibilidade das unidades centrais fornecerem fluido com temperatura individualmente controlada para cada máquina/equipamento que atendem.

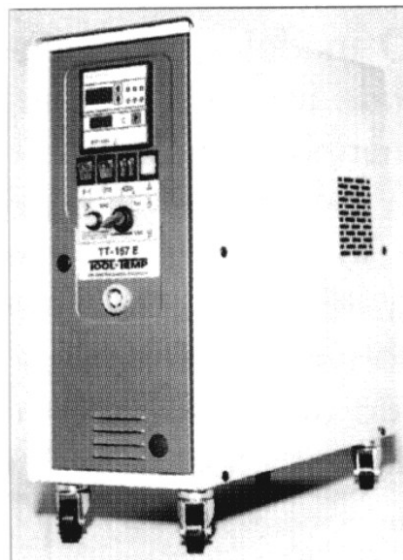


Figura 15 –Unidade móvel de água gelada central, usada para controle de temperatura de apenas um equipamento.