

EQUIPAMENTOS AUXILIARES E PERIFÉRICOS

1 PREPARAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS

1.1 EQUIPAMENTOS PARA PREPARAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS

Como já foi estudada e analisada anteriormente 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:

1.1.1 GUILHOTINA

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



Figura 1 - Guilhotina.

1.1.2 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.

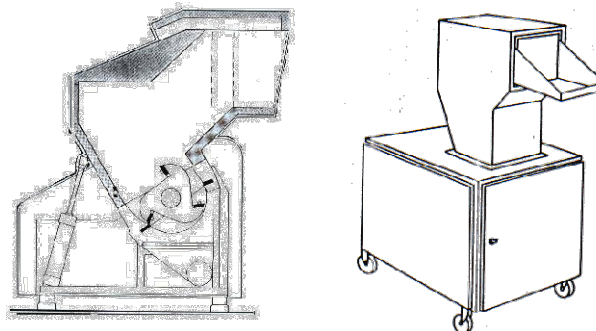


Figura 2 - Trituradores: à esquerda, corte mostrando facas giratórias e fixas; à direita, um moinho com bandeja no bocal.

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.

1.1.3 MOINHOS DE MICRONIZAÇÃO

O volume do polietileno no mercado da rotomoldagem em todo mundo é de 95% ou mais. 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 0.020 pol. (0.25 a 0.5 mm); o ajuste para o segundo moinho é tipicamente ao redor 0.010 pol. (0.25 mm) a menos do que o do primeiro, mas os discos não devem estar mais próximos do que 0.005 pol. (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 único moinho atua igualmente como moinho secundário, repassando as partículas maiores do primeiro corte.

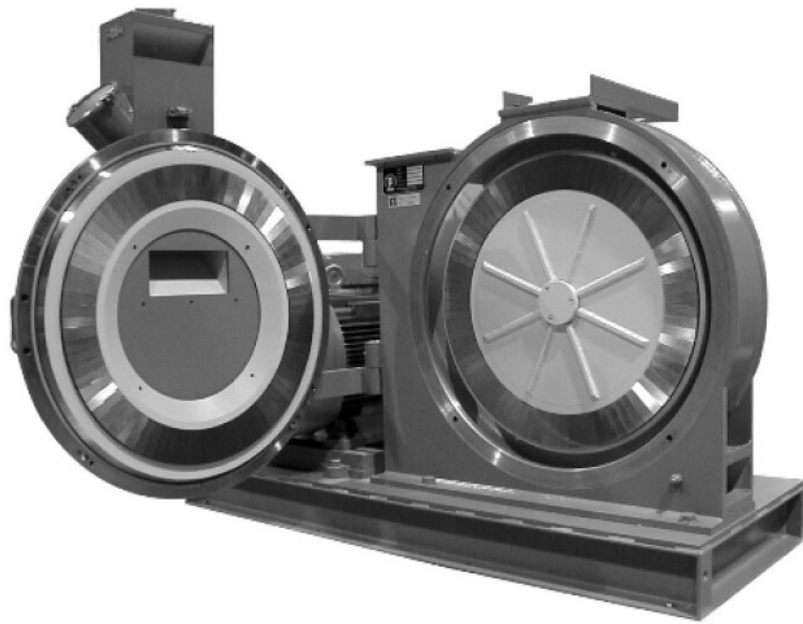


FIGURE 6.7 Static and rotating disks inside a large attrition mill. (Courtesy of Pallman GmbH.)

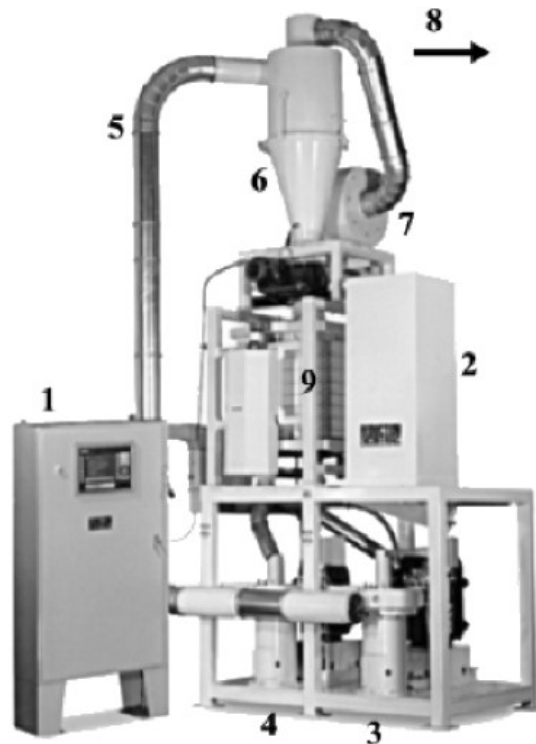


FIGURE 6.8 Two-stage attrition grinding mill. (Courtesy of Reduction Engineering, Inc.)

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 fazer com que o moinho pare de girar. Os moinhos tem um termostato nesta área para impedir que isto aconteça. Também, como as partículas são extraídas dos moinhos peneiradas, a temperatura do ar joga

um papel 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 demasiado baixa afetará a qualidade do pó, enquanto manter uma temperatura relativamente alta melhorará a densidade e secará o fluxo. 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 balançar 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 a presença 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.

1.1.4 AGLUTINADORES

Os aglutinadores têm por função recuperar material oriundo de filmes plásticos finos, transformando-os (aglutinando-os) em pequenos grãos.

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.

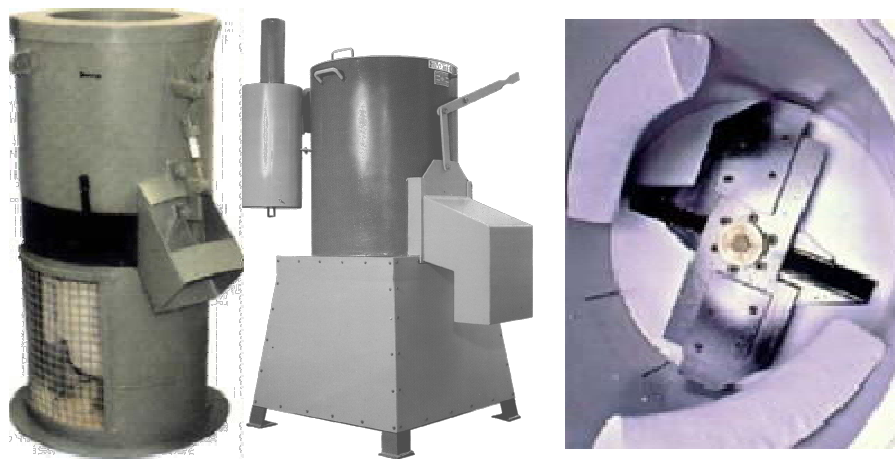


Figura 3 – Aglutinadores de filmes. À direita, o interior do aglutinador, mostrando as facas rotativas.

1.1.5 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.

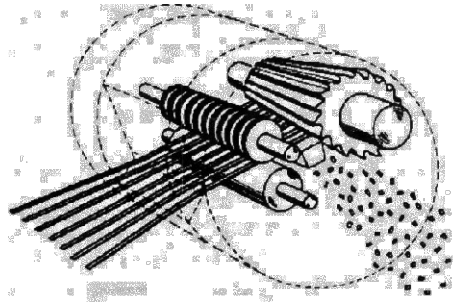
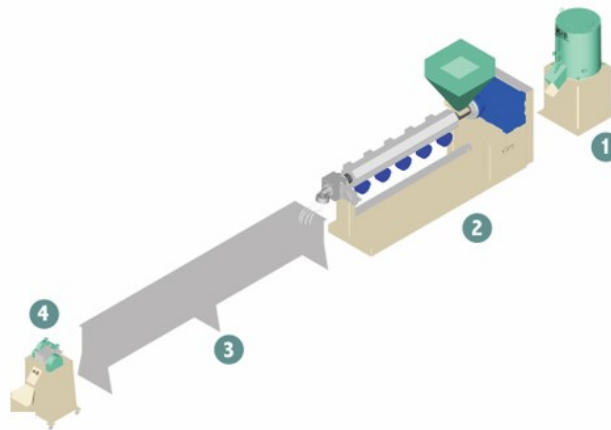


Figura 4 – Detalhe do interior do granulador, mostrando os cordões extrudados sendo cortados.



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

Figura 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.

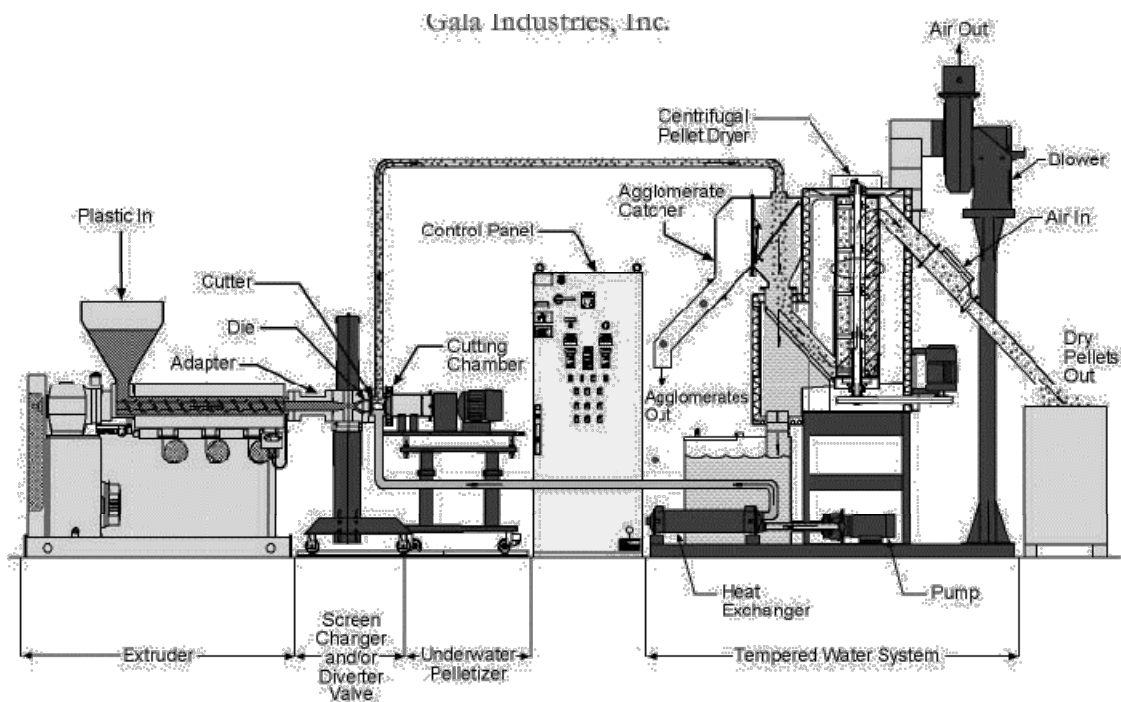


Figura 6 – Esquema de uma linha de extrusão-granulação com corte na cabeça.

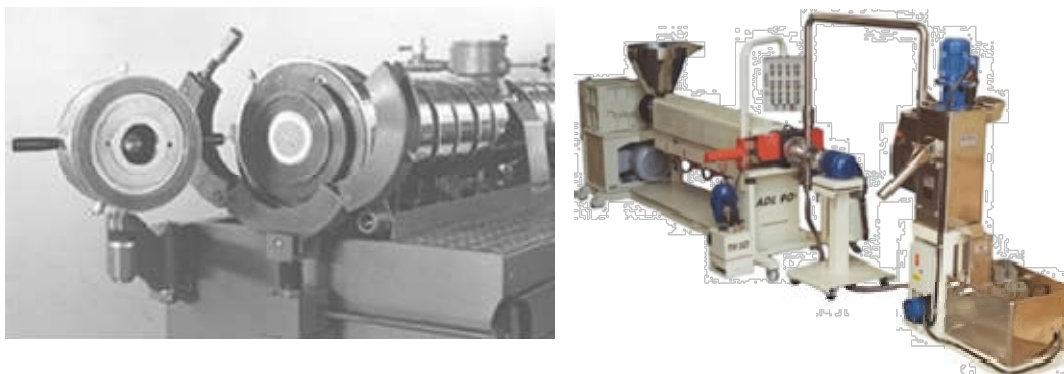


Figura 7 – À direita, uma linha completa de corta na cabeça. À esquerda, a matriz aparece em primeiro plano, deslocada do adaptador com a tela-filtro.

1.1.6 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).

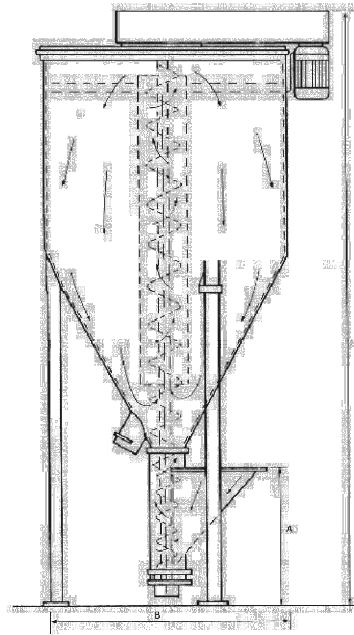
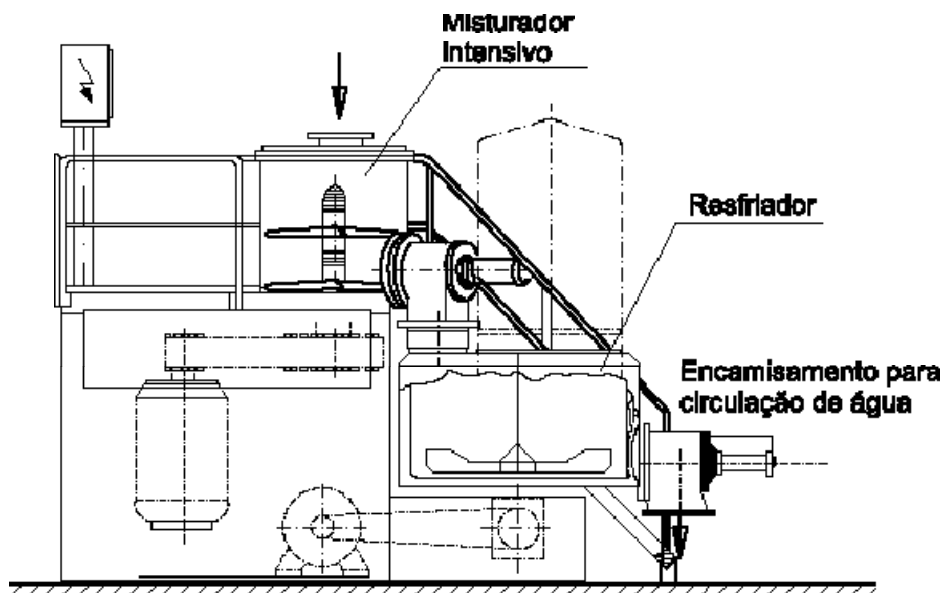


Figura 8 – Este misturador possui um parafuso interno na vertical, que circula os grãos pelo seu interior, misturando-o fisicamente.

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.



adaptado de Titow, W. V. (1984). PVC Technology.

Figura 9 – Misturador intensivo para compostos de PVC.

1.1.7 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.

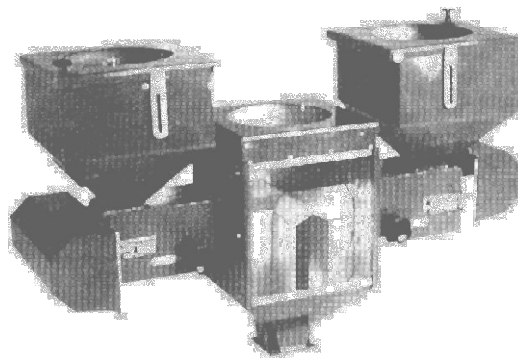


Figura 10 – Este dosador volumétrico permite a mistura de três componentes. Parafusos transportadores abaixo de cada funil giram em velocidades diferenciadas, de acordo com a proporção programada para a dosagem.

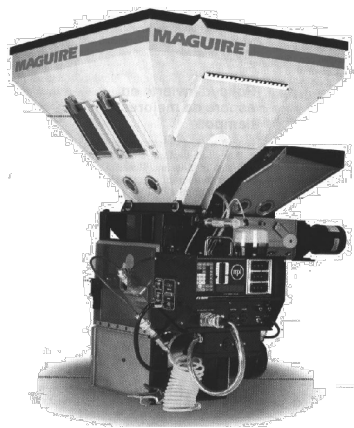


Figura 11 – Dosador gravimétrico.

1.1.8 SECADORES

São utilizados para a secagem do material. Alguns materiais termoplásticos são extremamente higroscópicos. 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.

Há muitos tipos de resinas diferentes, portanto existem diversas tecnologias para secagem. A eliminação da umidade ao nível requerido gera produtos de boa qualidade e redução de rejeitos (retrabalho)

O ar ambiente sempre contém água na forma de vapor. A medida que aumenta a temperatura do ar, aumenta também o conteúdo de água (umidade relativa – nível de saturação do ar com água numa determinada temperatura).

Sólidos ou grãos de plástico podem absorver a umidade do ar de forma superficial ou internamente:

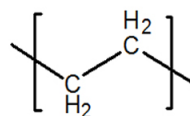
Materiais não-higroscópicos - a água condensa sobre a superfície.

Materiais higroscópicos – inserção das moléculas de água dentro de sua estrutura molecular (umidade interna).

Cada material plástico higroscópico possui uma capacidade específica de absorção de água. O nível de umidade alcançado pela resina depende de fatores externos como: temperatura, umidade ambiente, tempo (umidade inicial).

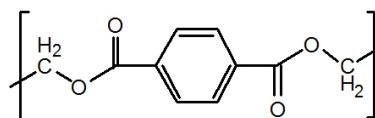
A umidade superficial das partículas de polímero evapora na temperatura de processo, podendo produzir bolhas.

A umidade interna pode desencadear reações químicas em alguns polímeros sensíveis a hidrólise, rompendo cadeias e diminuindo suas propriedades físicas. Por estes motivos deve-se secar os polímeros de forma suficiente e com técnica apropriada. Mantendo um conteúdo de umidade residual constante nas partículas de plástico consegue-se repetibilidade no processo.



PE (polietileno)

Figura 12A - Os polietilenos não são higroscópicos, estes materiais são apolares e possuem apenas C e H na cadeia.



PET (polietileno tereftalato – um poliéster)

Figura 12B – O PET é higroscópico, este material é polar e apresenta heteroátomos na cadeia, como o oxigênio.

Náilon 6 ou Poliamida 6



Figura 12C – Os náilons são higroscópicos, estes materiais são polares e apresentam heteroátomos na cadeia, como oxigênio e nitrogênio.

Opções de secagem – Tipos de secadores

Termos gerais:

Tempo de residência – tempo que o material permanece na câmara de secagem

Fluxo específico de ar – volume de ar necessário para aquecer o material e extrair a umidade para fora da câmara

Temperatura de secagem – varia para cada material (ABS cerca de 80°C, PC cerca de 120°C)

Ponto de orvalho do processo – a temperatura na qual um gás (ar no caso) deve ser esfriado para produzir condensação

Aquecedores de ar quente – para materiais não higroscópicos

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.

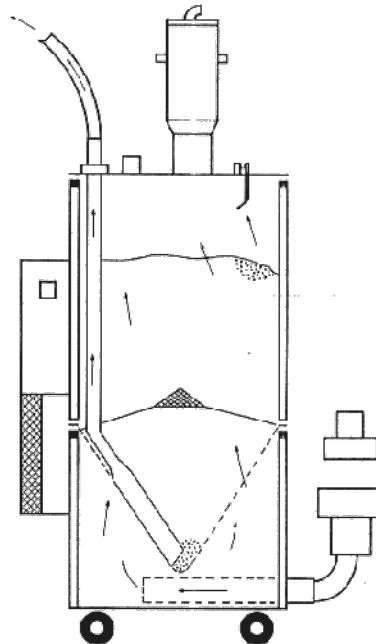


Figura 12D – Esta figura do interior do secador mostra seu princípio de funcionamento: o ar aquecido por resistências (em baixo, à direita) entra por baixo e retira a umidade do material ao subir por entre os grãos. Um tubo (à esquerda) aspira os grãos após a secagem, levando-os ao funil da máquina processadora.

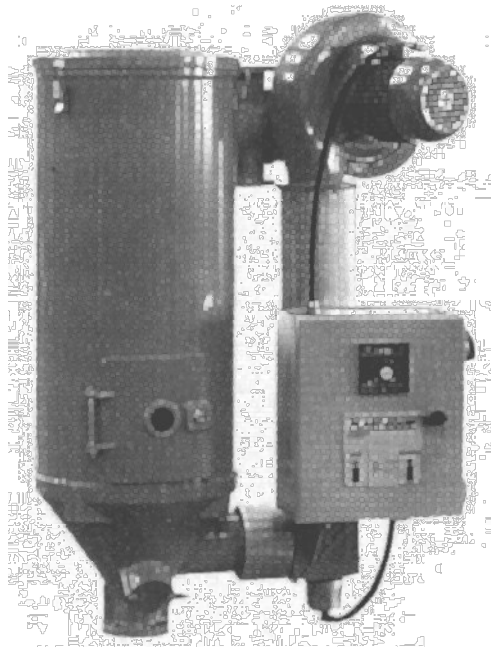


Figura 13 – Vista externa de um secador semelhante ao da figura 8. Nota-se o compressor de ar (em cima) e o painel de controle com as resistências.

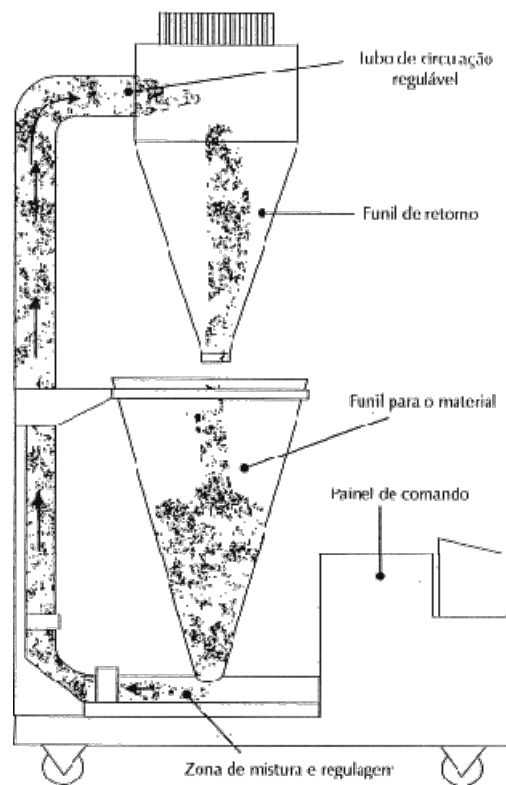


Figura 14 – Secador com funil de alimentação: uma corrente de ar aquecida por resistências é fornecida por um compressor, faz circular o material a uma temperatura selecionada. A corrente de ar arrasta o material ao passar pela zona de regulagem e entra tangencialmente na tubulação. Ao chegar no funil superior, o ar aquecido 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.

Secadores de ar comprimido

São usados para pequenas capacidades (cerca de 25kg/h), instalados diretamente sobre o bocal da extrusora, seca todos os tipos de material, o processo é contínuo e eficiente. Alimenta-se com ar comprimido, o ar é expandido na pressão atmosférica, gera-se ar de processo com temperatura de orvalho muito baixa, o ar é aquecido até a temperatura necessária. O ar comprimido é o insumo mais caro. Fácil operação e baixo custo

Um secador de ar comprimido simples é visto na figura 14A e funciona da seguinte maneira: uma pequena quantidade do ar comprimido {A} é separado do sistema central de ar comprimido e fornecida para o secador. O ar é descomprimido por um jogo de válvulas {B}, aquecido por um aquecedor elétrico {C} e lançado na parte inferior do funil {H} pelo distribuidor de ar. O distribuidor do ar lança o ar aquecido pelas saídas {D} e {E} em níveis diferentes dentro do funil, garantindo que o tempo de residência da resina sob uma temperatura máxima seja suficiente para aquecer até o centro dos grânulos.

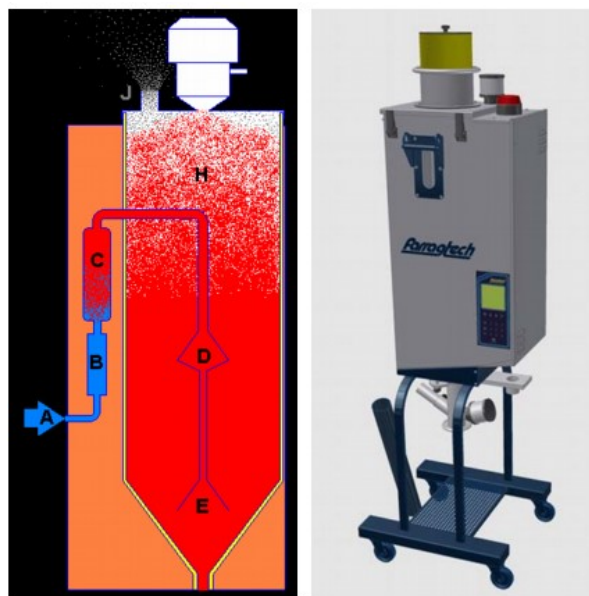


Figura 14A – Secador com ar comprimido simples.

Um secador de ar comprimido mais complexo, figura 14B, funciona do seguinte modo: o insuflador {C} leva o ar através do aquecedor {D} para o distribuidor de ar {E}. O ar quente se eleva entre a resina para a parte superior do funil {A} e aquece os grânulos, fazendo com que a pressão da umidade aumente. O ar finalmente, volta para o insuflador situado na parte de cima do funil {F}. Uma quantidade pequena de ar comprimido seco e filtrado {G} é descomprimido para a pressão atmosférica e entra no aquecedor {H} passando pelo distribuidor {K} localizado no fundo do funil secante. O ponto de orvalho do ar pré-seco cai devido à descompressão e se torna suficiente para remover a umidade dos grânulos enquanto passa pela resina pré-aquecida na parte mais baixa do secador {B}. Uma quantidade pequena de ar comprimido seco e filtrado {G} é descomprimido para a pressão atmosférica e entra no aquecedor {H} passando pelo distribuidor {K} localizado no fundo do funil secante. O ponto de orvalho do ar pré-seco cai devido à descompressão e se torna suficiente para remover a umidade dos grânulos enquanto passa pela resina pré-

aquecida na parte mais baixa do secador {B}. O ar do meio ambiente se torna excessivamente saturado com a umidade quando comprimido para altas pressões. A umidade em excesso no ar comprimido é facilmente separada em secadores standards de refrigeração.

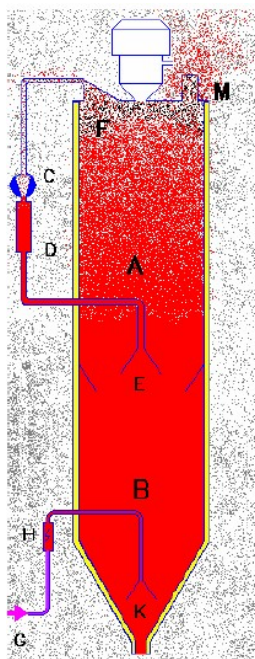


Figura 14B – Secador com ar comprimido mais complexo.

Secagem a vácuo

Indicado para materiais higroscópicos A temperatura de secagem é menor neste tipo de secadores, adequado para materiais sensíveis ao calor e semicristalinos. Possuem tempo de ciclo muito curto. Funciona por lotes ou de forma contínua.

Ao invés de soprar ar quente sobre os grãos para retirar a umidade, se reduz a pressão do ar para diminuir o ponto de ebulição da água e extraí-la do material plástico.

Os fabricantes deste tipo de equipamento argumentam uma economia de 20% de energia e 17% do tempo de um secador dessecante convencional.

Há modelos de secadores a vácuo que trabalham com três câmaras, na primeira, o material é pré-aquecido com um fluxo de ar quente, a segunda câmara é selada para extrair o ar e na terceira câmara o material seco se mantém pronto para o processamento.

O policarbonato, por exemplo, seca em 20 minutos de aquecimento e 20 minutos de vácuo, sendo um tempo muito menor que as 4 horas típicas num sistema dessecante.

Capacidade de 50 até 1000kg/h. Investimento inicial alto

O secador, figura 14C, se constitui de cilindros múltiplos numa configuração tipo carrossel. A resina é carregada em uma das câmaras e aquecida por ar quente. O carrossel gira e a câmara, juntamente com a resina aquecida, é colocada sob vácuo, enquanto que a câmara seguinte é enchida e aquecida. O carrossel é girado novamente e a resina seca é evacuada da câmara, enquanto a câmara seguinte é colocada sob o vácuo para secar a

resina aquecida. A rotação continua enquanto o secador supre continuamente a resina seca para o processo.

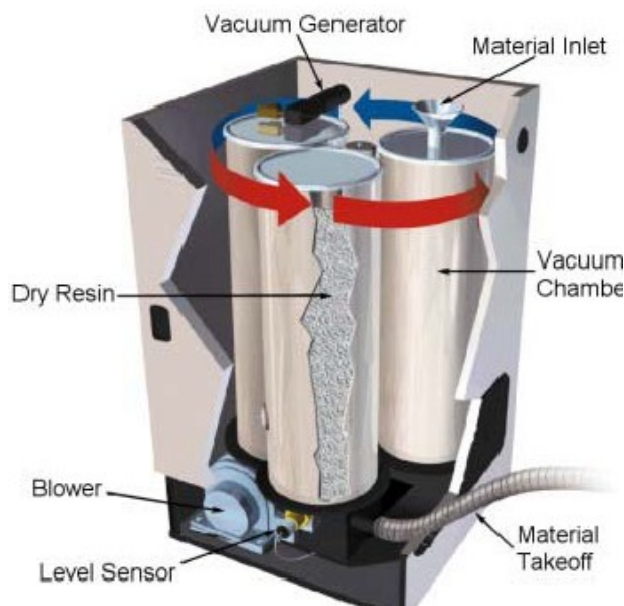


Figura 14C – Secador a vácuo.

Secadores com dessecantes

Usado para todos tipos de material (higroscópico e não higroscópico). Podem ser unidades grandes ou pequenas, utilizam ar em ciclo fechado, o ar é desumidificado passando por um dessecante (peneiras moleculares de silicato de alumínio alcalino). O ar é aquecido de acordo com o tipo de material (temperatura adequada para cada polímero), o ar aquecido passa pelo material, removendo a água, o ar passa novamente na peneira molecular num ciclo contínuo. Após atingir o tempo de secagem recomendado a resina é processada. Utilizam-se sistemas duplos de leitos dessecantes, enquanto um trabalha o outro é regenerado. Tem custo elevado. Eficientes para ar com baixa umidade.

O sistema de secagem com dessecante pode ser visto na figura 14D e funciona da seguinte maneira: o ar é sugado pela parte superior do funil {G} segue para o secador {Z} passando pelo filtro {H} e pelo trocador opcional do aquecimento {J}. Os distribuidores {R} e {S} guiam o ar para o dessecante incluído em um dos 2 adsorventes {O} ou {P}. No nosso exemplo, o ar processado passa por um dessecante adsorvedor {P}. O dessecante adsorve a umidade do ar processado. O ar seco vai para o lado da sucção do insuflador {D} passando pelo distribuidor {S}. O insuflador devolve o ar seco pelo aquecedor {E} e pelo distribuidor {F} no fundo do funil. A quantidade da umidade adsorvida pelo dessecante aumenta com o tempo e, o dessecante tem que ser regenerado. O dessecante no recipiente {O} é regenerado, enquanto que o dessecante no recipiente {P} adsorve a umidade do ar processado.

O ar ambiente é sugado pelo insuflador {L}, passando por um filtro {K}, seguindo para o processo de regeneração. O aquecedor {M} aquece o ar regenerado para temperaturas altas de até 300°C, antes de ser conduzido para dessecante no recipiente {O} através de um distribuidor. O ar regenerado

remove a umidade contida no dessecante e depois, é solto para o ar ambiente {X}.

O dessecante aquecido é depois esfriado pelo ar ambiente (o aquecedor {M} é desligado) antes de ser usado para a secagem com ar processado. Os distribuidores de ar {R} e {S} voltam a trabalhar dirigindo o ar processado para o recipiente {O}, e o ar quente regenerado para o recipiente {P}. O dessecante regenerado no recipiente {P} agora tem a habilidade de secar o ar processado enquanto que o dessecante saturado no recipiente {O} é regenerado. Cronômetros automáticos, ou um instrumento medidor de ponto de orvalho, são usados para controlar o ciclo de regeneração nos secadores dessecantes

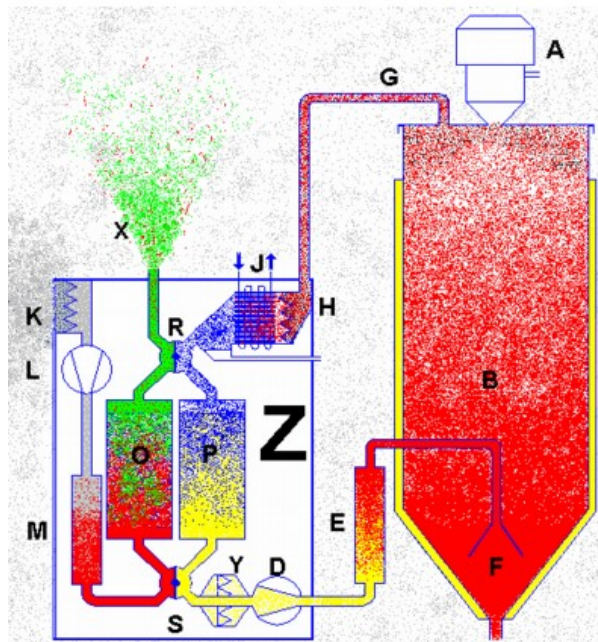


Figura 14D – Secador com dessecante ar é sugado pela parte superior do funil {G} segue para o secador {Z} passando pelo filtro {H} e pelo trocador opcional do aquecimento {J}. Os distribuidores {R} e {S} guiam o ar para o dessecante incluído em um dos 2 adsorvedores {O} ou {P}. No nosso exemplo, o ar processado passa por um dessecante adsorvedor {P}. O dessecante adsorve a umidade do ar processado. O ar seco vai para o lado da sucção do insuflador {D} passando pelo distribuidor {S}. O insuflador devolve o ar seco pelo aquecedor {E} e pelo distribuidor {F} no fundo do funil. A quantidade da umidade adsorvida pelo dessecante aumenta com o tempo e, o dessecante tem que ser regenerado. O dessecante no recipiente {O} é regenerado, enquanto que o dessecante no recipiente {P} adsorve a umidade do ar processado.

Secador com material dessecante ou ar quente?

- Materiais não higroscópicos: PP, PE, PS, usar ar quente.
 - Remover umidade de condensação aderida na superfície dos grânulos
 - Sopros de ar ambiente aquecido sobre a superfície dos grânulos, em contra-corrente, para evaporar e remover a umidade para fora do sistema
 - Se o processo ou o produto aceitarem um pouco de umidade, não é necessário sistema de secagem.
- Materiais higroscópicos: ABS, PET, PBT, Nylon, Resinas de Engenharia, sistema de secagem com dessecante.
 - Estes materiais absorvem umidade dentro dos grânulos
 - Nas temperaturas de processamento, com umidade ainda dentro dos grânulos, pode haver: degradação do polímero, formação de bolhas e danos superficiais do produto
 - Secagem efetiva com secadores que contêm materiais dessecantes, removendo a umidade mediante ar quente desumidificado. O ar desumidificado atua como uma esponja para remover a umidade mais rapidamente que o ar ambiente aquecido
 - Com dessecante: maior consumo de energia e maior custo de aquisição

Qual configuração de secador?

- Três configurações básicas:
 - Montado sobre a máquina:
 - Secador e funil montados diretamente sobre a máquina. Normalmente utilizada em máquinas grandes com uso de uma plataforma superior.
 - Observar o grau de estabilidade às vibrações e estrutura que permita circulação do pessoal de forma segura.
 - Haverá tempo adicional de preparação para ajustes de funcionamento e limpeza do funil e do secador.
 - Em equipamentos menores o secador fica no piso ao lado da máquina.
 - Montado sobre um carro portátil:
 - Podem ser movimentados de um ponto a outro prestando serviço a diversas máquinas de processamento
 - Atualmente é a configuração mais utilizada pela flexibilidade e mobilidade que permite.
 - A secagem do material pode ser feita distante da máquina, sendo transportado por um sistema de alimentação à vácuo montado no funil da máquina.
 - Os serviços de manutenção são realizados fora da linha, reduzindo tempos mortos de processo durante a troca de materiais.
 - Sistema central de secagem:
 - Mais econômicos de adquirir e operar, principalmente para secar grandes quantidades de materiais similares processados em várias máquinas.

- Quando os espaços da planta estão limitados, estes sistemas podem ser montados distantes da área central de produção.
- Uma versão consiste em um secador e um funil localizados em um ponto central distribuindo o material à várias máquinas. Ideal para processos de longos em que todas as máquinas trabalham com uma única resina.
- Uma segunda configuração central é apropriada para processar vários tipos de materiais. Um secador central de grande capacidade proporciona ar desumidificado a múltiplas máquinas que possuem funil de secagem montados sobre elas.
- Uma terceira configuração consiste de um secador central e funis individuais de secagem montados em um suporte comum em um ponto também central. Secagem de vários materiais de forma simultânea enviados à múltiplas máquinas.

Usar ou não ar de transporte aquecido?

- Uma revisão completa do sistema deve ser realizada como critério para determinar a necessidade ou não de secar o ar de transporte.
- Isto raramente é necessário. Na maioria dos casos os benefícios tem mais a ver com a percepção do que com a realidade.
- As velocidades de transporte são rápidas e pouco contribuem para que o material absorva umidade do ar de transporte.

Qual o tamanho do secador?

- É função da capacidade de produção da linha – kg/h
- As condições mais importantes são:
 - Fluxo de ar (ft³/min – cm³/min – m³/h – l/min)
 - Temperatura de processo do ar (°F - °C)
 - Considerar custos, antecipar requisitos para futuro e o tipo de material que se processará.
- Regra geral:
 - 1 ft³/min para cada lb/h de vazão de material, ou 62 l/min para cada kg/h.
 - Verifique com o fornecedor a vazão real de ar do sistema, não se decida só pelos dados de catálogo.
 - A faixa de temperatura de secagem pode ser conseguida com os fornecedores de resinas.
 - Em geral os fabricantes fornecem dois tipos de faixa: de 150 a 300 °F (65 a 150 °C) e de 150 a 400 °F (65 a 205 °C). O de faixa mais elevada deve ter custo um pouco maior.

Qual o tamanho do funil de secagem?

- É função da capacidade de produção da linha – kg/h, do tempo de residência recomendado para a resina e da densidade aparente da mesma.
- O tempo de residência (na temperatura recomendada) se obtém da ficha técnica da resina. Como regra geral:

- Resinas não higroscópicas - residência de 1,5 horas.
- Resinas higroscópicas - ao menos de 2,5 horas.
- A densidade aparente também é consideração importante, principalmente se será utilizado material reciclado. Verificar densidade aparente do material virgem, do reciclado e dos percentuais que serão utilizados.
- Regra geral para cálculo:
 - Tamanho do funil de secagem (m³) = produção (kg/h) / densidade aparente (kg/m³) x tempo de residência (h)
 - Especifique o tamanho de funil padrão imediatamente superior ao calculado.

É necessário um pós ou pré resfriador?

- Fornecedores de resinas indicam as temperaturas adequadas para secagem.
- Devido à perdas de calor que podem existir em alguma parte do sistema, pode ser necessário utilizar temperatura um pouco mais elevada. O importante é que o funil de secagem possua termômetro que permita controlar a temperatura real.
- Todos os condutos de ar e o funil devem possuir isolamento térmico para evitar perdas de calor.
- Os pós resfriadores e pré resfriadores são necessários em aplicações nas quais se especificam temperaturas extremamente altas ou baixas, respectivamente.
- O pós resfriador se instala na linha de retorno entre o funil de secagem e o secador. É recomendado quando se utiliza temperatura de secagem maior que 250 °F (120 °C), e obrigatório quando se utiliza temperatura acima de 300 °F (150 °C).
- A secagem contínua a altas temperaturas sem o uso de um pós resfriador pode reduzir a eficiência do material dessecante dos secadores com desumidificação.
- O pré resfriador se instala na linha de recalque do ar do secador para o funil de secagem. É recomendado para temperatura de secagem abaixo de 180 °F (80 °C), e obrigatório quando se utiliza temperatura abaixo de 160 °F (70 °C).
- Quando se utiliza pré resfriador se recomenda o uso de um termômetro na entrada de ar do funil de secagem.

Como saber se o material está seco?:

- A única maneira certa e exata para conhecer o estado da resina é a análise direta de umidade de uma amostra.
- Qualquer outro método é apenas estimativo e não uma medida verdadeira do conteúdo de umidade do material.

Que características do secador garantem uma fácil manutenção?

- O tamanho reduzido do equipamento é o mais importante.
- O ponto de montagem e a facilidade de acesso aos componentes que requerem serviço, como filtros, resistências e material dessecante, também são requisitos básicos.

- Solicite ao fabricante a lista de peças que requerem manutenção e a sua frequência de serviço.
- Verifique se é fácil ou não montar e desmontar o secador, e o quão simples é limpar o funil nas trocas de materiais.
- Leve em conta a complexidade global do sistema de secagem.
- Considere o número de câmaras de dessecante nas quais se deve dar manutenção ou que devem ser substituídas, e a facilidade com que estas operações podem ser realizadas. Cada fabricante tem uma filosofia diferente de projeto e alguns são mais complexos que outros.
- Considere os tipos de controles do processo, Os controladores dedicados são mais difíceis de reparar ou substituir que os padrões da indústria, que também são resistentes, confiáveis e disponíveis no mercado.

Como saber se um secador é eficiente do ponto de vista energético?

Características disponíveis que permitem que os secadores funcionem com alta eficiência e poupem energia:

- Possuir monitoramento do ponto de orvalho e de temperatura
- Modos de operação de espera e de desligamento automáticos.
- Por exemplo, um obturador acionado pelo ponto de orvalho pode acionar os sopradores de ar no momento requerido, assegurando um mínimo de regeneração necessária para manter as condições desejadas de operação.

Que opcionais são necessários?

- Pós resfriador: reduz a temperatura do ar de retorno e melhora o desempenho do secador. É recomendado quando se utiliza temperatura de secagem maior que 250 °F (120 °C), e obrigatório quando se utiliza temperatura acima de 300 °F (150 °C).
- Pré resfriador: estende a faixa de temperatura inferior de secagem. É recomendado para temperatura de secagem abaixo de 180 °F (80 °C), e obrigatório quando se utiliza temperatura abaixo de 160 °F (70 °C).
- Conduitos de ar isolados: os conduitos de transporte do ar de secagem isolados termicamente reduzem as perdas de calor entre o secador e o funil. Nunca isole as linhas de retorno entre o funil e o secador.
- Sistema de segurança redundante para operações a altas temperaturas: é um sistema de controle de temperatura auxiliar que corta a passagem de ar de processo para o funil de secagem quando a temperatura dispara fora de controle. Minimiza o risco de fundir o plástico dentro do funil e se recomenda sempre no tratamento de resinas sensíveis à temperatura.
- Filtro auto-limpante: jatos de ar são enviados ao recipiente do filtro para aumentar os intervalos de limpeza.
- Regeneração em circuito fechado: poupa energia acelerando o processo de regeneração. Maximiza a capacidade de absorção de umidade da unidade de dessecante, o que aumenta o tempo que a unidade pode estar em linha.
- Dessecante 13X: é um tipo de material dessecante de alta eficiência porque contem poros menores e uma área superficial aumentada.

Recomendado para tarefas de secagem especiais, como no caso do PET, que libera voláteis (acetaldeído) durante a secagem. Estes voláteis tendem a saturar os dessecantes comuns e os degradam relativamente rápido.

- Aquecimento dos funis de secagem: estes sistemas de aquecimento podem consistir de apenas uma resistência individual; ou uma resistência e um controlador de temperatura independente; ou de uma resistência, um controlador e um soprador de ar. Todos estes acessórios de aquecimento reduzem custos de operação porque evitam as perdas de calor entre o secador e o funil de secagem.
- Horímetro semanal: liga automaticamente o secador a fim de garantir o tempo de residência apropriado para a resina.
- Indicador de aquecedor avariado: confirma a operação normal de aquecimento.
- Alarme visual e auditivo: proporciona um sinal audível alto e um sinal luminoso para indicar uma condição de alarme no processo de secagem.
- Comunicações externas: proporciona saídas dos controladores de temperatura do secador. Este sistema permite chegar a um nível mais elevado de controle distribuído e de acompanhamento do processo.

1.1.9 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 acionado 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.

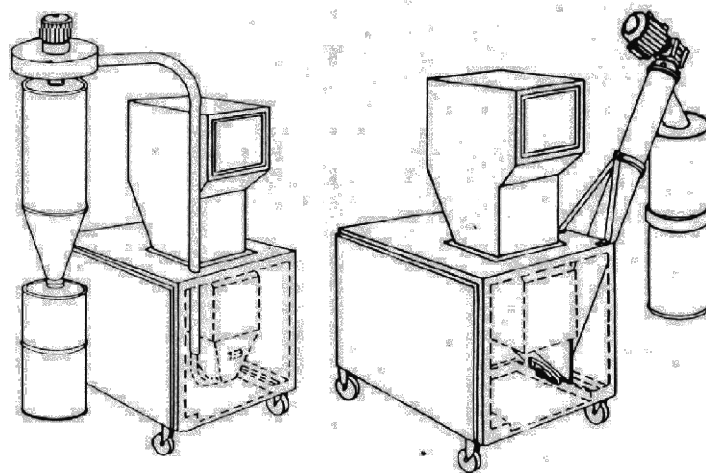


Figura 15 – À esquerda, um moinho com transportador pneumático; à direita, o material é retirado do moinho por um parafuso.

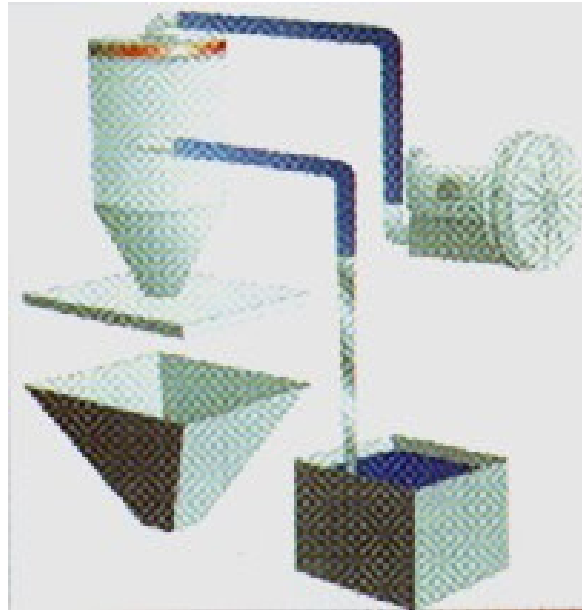


Figura 16 – Um compressor aspira o ar de um funil, fazendo com que o mesmo seja alimentado com material de um silo, saco ou tambor. Quando o funil da máquina (em baixo) precisa ser alimentado, o funil do transportador abre e despeja seu conteúdo.

2 OPERAÇÕES DE ACABAMENTO

Para que filmes sejam transformados em sacos, sacolas, rótulos, etc., além da linha de extrusão, são necessários equipamentos para operações de acabamento superficial e dimensional. Empresas produtoras de embalagens e rótulos costumam extrudar o filme e, em seguida, imprimi-lo, cortá-lo e soldá-lo.

2.1 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.

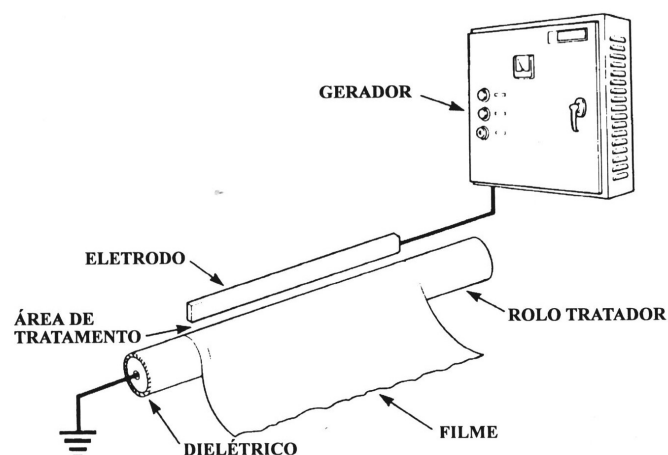


Figura 17 – Equipamento para tratamento Corona. Costuma ser montado na torre da máquina, entre os puxadores e o bobinador.

2.2 Impressão

Dois processos principais são utilizados para imprimir rótulos, códigos de barra, informações do produto, etc. em filmes: rotogravura e flexografia. Máquinas especiais para este processo imprimem o filme após seu devido tratamento superficial.

2.3 Corte e solda

Como são muito variadas as aplicações dos filmes simples ou duplos, após sua produção estes passam por um dos diversos processos de corte e solda existentes. Um tipo de máquina específica corta o filme desbobinado de acordo com o tipo de sacola/saco/embalagem a ser produzido e realiza operações de soldagem.

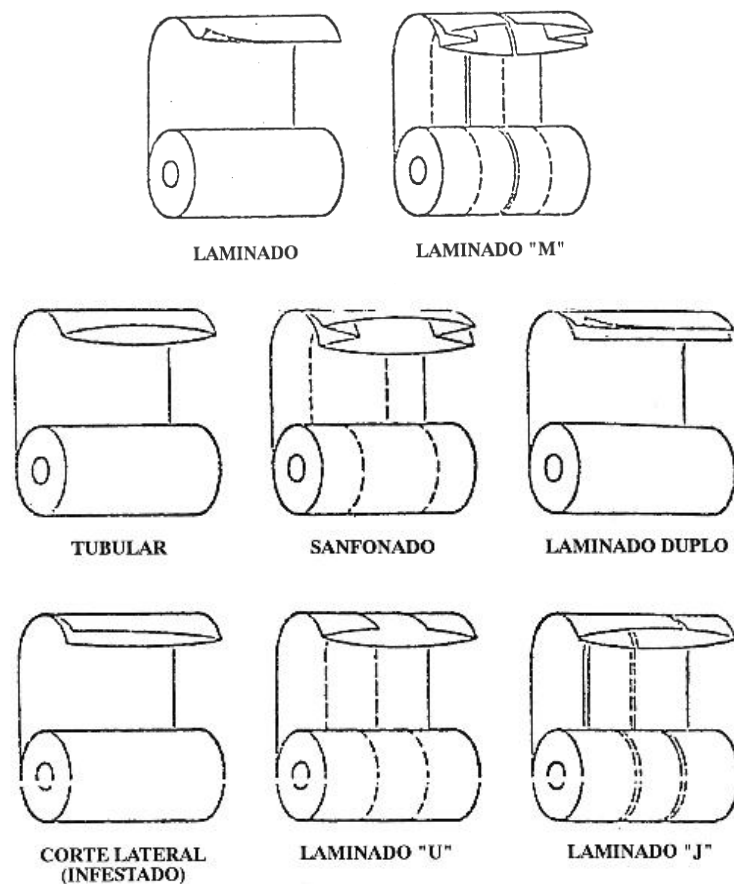


Figura 18 – Além do filme tubular propriamente dito, uma série de outras configurações pode ser obtida através de corte e dobramento na própria bobinadora.

3 PERIFÉRICOS

3.1 EQUIPAMENTOS PARA CONTROLE DE TEMPERATURA

3.1.1 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.

3.1.1.1 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.

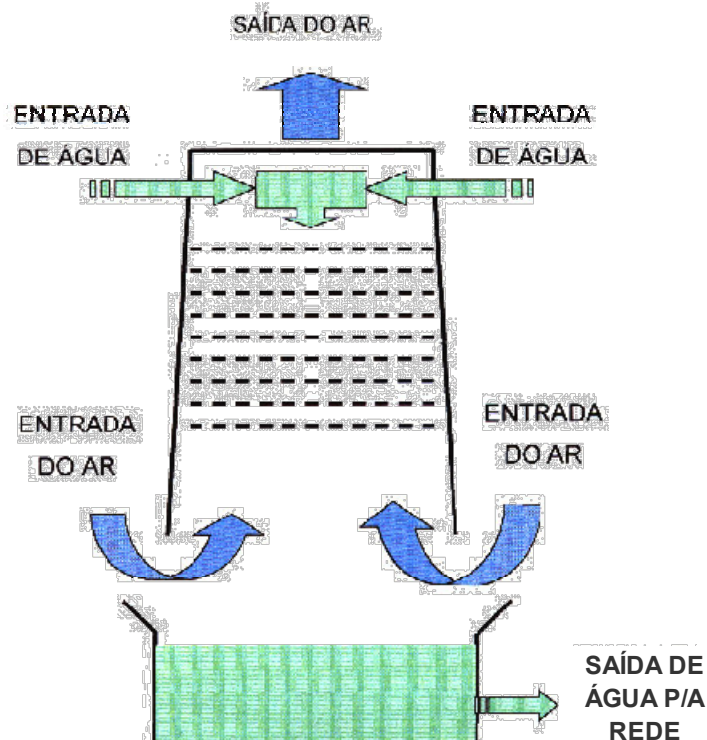


Figura 19 – Esquemático de uma torre de resfriamento.

3.1.1.2 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 de refrigeração 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 refrigerada 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 refrigerante se expande e evapora em uma válvula termostática ou em um capilar, na entrada do evaporador, com abaixamento de temperatura e aumento de volume.

O fluído refrigerante evaporando circula pela serpentina (evaporador) que se encontra dentro do reservatório de água do *chiller*, retirando o calor da água, necessário para sua evaporação. O gás refrigerante evaporado é aspirado pelo compressor, que vai novamente comprimi-lo, fechando desta forma o circuito.

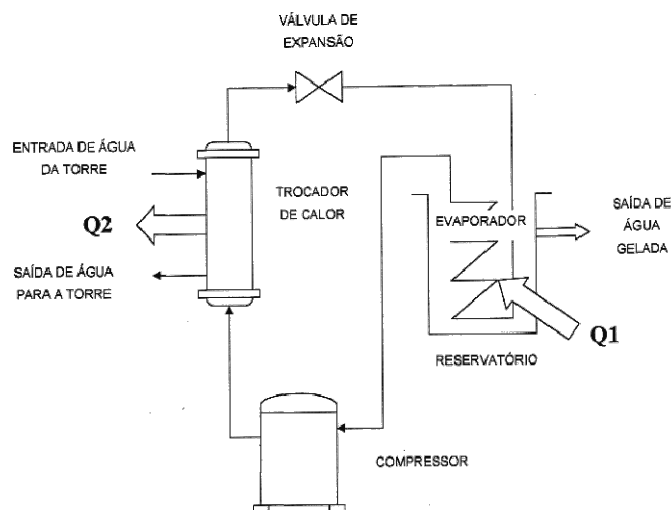


Figura 20 – circuito do gás refrigerante em uma unidade de água gelada

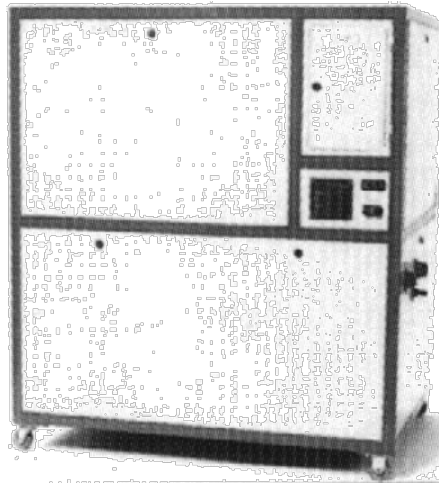


Figura 21 –Unidade de água gelada central, usada para abastecimento de mais de um equipamento. Centrais ainda maiores podem abastecer um pavilhão industrial inteiro.

3.1.2 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 22 – Unidade móvel de água gelada central, usada para controle de temperatura de apenas um equipamento.