



Memória descritiva referente à
patente de invenção de SOCIETE
DES PRODUITS NESTLE S.A., suíça,
industrial e comercial, com sede
em Vevey, Suíça, para "SECADOR E
PROCESSO DE SECAGEM"

Memória descritiva

A presente invenção refere-se aos processos
e aparelhos de secagem.

Os materiais em partículas são usualmente
formados por secagem de uma pulverização. Um líquido é atomizado
para formar gotículas e as gotículas são expostas a um gás seco,
tal como ar quente. Os constituintes líquidos das gotículas eva-
poram-se, deixando partículas de material seco. Na indústria dos
alimentos e das bebidas, este processo é usado para preparar pro-
dutos tais como pó de café solúvel, leite seco e substitutos do
leite seco.

A secagem de uma pulverização tem tipicamen-
te sido efectuada pelo contacto do líquido atomizado com ar quen-
te, numa câmara ou "torre" grande, que se estende verticalmente.
Um secador do tipo de torre que tem capacidade suficiente para um
processo industrial pode ter 20 metros de altura e 6 metros de
diâmetro. Um tal aparelho de grandes dimensões é de construção
cara.



O aquecimento do material na secagem de uma pulverização tipicamente tem afectado de maneira adversa a qualidade do produto seco. A recirculação do ar no interior do secador pode provocar a retenção prolongada de partículas secas no interior do secador e portanto pode agravar o dano provocado pelo calor. Estas dificuldades são particularmente significativas na indústria dos alimentos e das bebidas, visto que muitos materiais comestíveis incorporam constituintes de sabor susceptíveis de perda ou degradação pelo calor.

A patente americana Nº. 3 038 533 apresenta uma variante do processo de secagem de uma pulverização no qual se descarrega ar de atomização ou "primário" através de um pulverizador com uma velocidade relativamente elevada. Um líquido que se pretende secar é atomizado, formando partículas diminutas, pelo ar primário quando passa através do pulverizador. As gotículas diminutas passam para montante no jacto de ar primário que sai do pulverizador e secam rapidamente.

O jacto de ar primário tende a criar uma zona de vácuo parcial junto do jacto e portanto tende a provocar a recirculação do ar circundante. Para impedir tal recirculação, a patente propõe dirigir o jacto ao longo do eixo de uma câmara tubular e insuflar ar adicional ou "secundário" para o interior da câmara na mesma direcção que o jacto de modo que o jacto é envolvido pela corrente de ar secundário.

As técnicas de secagem de uma pulverização, tais como são apresentadas na patente, pareceria que resolveriam algumas das dificuldades encontradas na secagem de uma pulverização convencional. Todavia, tais técnicas de secagem de um jacto de uma pulverização trazem inconvenientes que lhe são próprios. O material seco tende a acumular-se na parede da câmara tubular. Além disso, as técnicas de secagem de uma pulverização não se têm



mostrado apropriadas para o processamento de materiais que resistem à atomização em gotículas muito finas, tais como os extractos de bebidas extremamente concentrados. Por conseguinte, há necessidades importantes de aperfeiçoamento nos processos e aparelhos de secagem de uma pulverização.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção proporciona tais aperfeiçoamentos.

Num processo de secagem de uma pulverização segundo a presente invenção, o material líquido a secar é atomizado e uma corrente do material atomizado é projectada num sentido de jusante. Um gás de secagem é projectado para dentro, no sentido da corrente de material atomizado, num fluxo turbulento, transversalmente em relação à direcção para jusante, de lados opostos da corrente. O gás de secagem que flui para dentro é distribuído ao longo do comprimento ou na extensão de montante para jusante da corrente de modo que, quando o material atomizado se desloca para jusante, passa entre fluxos opostos dirigidos para dentro de gás de secagem. O material atomizado e o gás são assim agitados continuamente e vigorosamente quando o material passa para jusante, promovendo assim uma secagem. O material atomizado e o gás são assim agitados continuamente e vigorosamente quando o material passa para jusante, promovendo assim uma secagem rápida.

O material pode ser projectado para jusante pela passagem de um gás impulsor através de um pulverizador de modo que o gás impulsor sai do pulverizador como um jacto e arrasta o material no jacto. O material pode ser arrastado no gás impulsor a montante do pulverizador e atomizado em gotículas finais pe



lo gás impulsor quando o gás e o líquido passam através do pulverizador.

Quando se utiliza um jacto de gás impulsor o gás de secagem de preferência é projectado de modo tal que pelo menos na parte de montante do seu comprimento, o jacto seja completamente envolvido pelo gás de secagem que flui para dentro. Por conseguinte, o arrasto do gás pelo jacto não pode criar uma zona de vácuo parcial adjacente ao vácuo. A recirculação de gases e de material seco associada com essa zona de vácuo parcial é substancialmente eliminada. Além disso, o gás de secagem que flui para dentro tende a dissipar o jacto, suprimindo ainda mais completamente a recirculação.

O gás de secagem gera assim uma turbulência mas suprime a recirculação. A turbulência difere da recirculação. Tal como é usado nesta descrição, o tempo (digo: o termo) "recirculação" refere-se à acção de um turbilhão que é estável e mantém-se numa localização substancialmente fixa durante um tempo apreciável. O termo "turbulência", tal como é usado na presente descrição, refere-se à acção de um turbilhão envolvido no interior de um fluxo de gás circundante maior, de modo que o turbilhão desloca-se com o fluxo maior. Numa base macroscópica, a turbulência não afecta o movimento de material arrastado no gás e não promove a passagem repetida de material através do secador.

Segundo um outro aspecto da presente invenção, a temperatura do ambiente de secagem em cada ponto ao longo do comprimento ou dimensão montante-justante da corrente pode ser controlada como se desejar. Devido ao facto de o gás de secagem ser distribuído ao longo do comprimento da corrente e dirigido transversalmente em relação à corrente, o material atomizado está exposto, em cada ponto ao longo do comprimento da corrente, ao gás a uma temperatura que varia com a temperatura do gás



de secagem dirigido para esse ponto. Fornecendo gás de secagem a temperaturas diferentes a regiões diferentes da corrente, o material atomizado pode ser exposto a temperaturas diferentes numa sequência predeterminada à medida que o material passa para jusante. Por exemplo, fornecendo gás de secagem reletivamente quente a uma região a montante e gás reletivamente frio a uma região a jusante, a temperatura na região a jusante pode ser limitada para controlar a temperatura do produto na saída do secador, mas mantendo temperaturas muito altas na região de montante para promover a secagem rápida.

A secagem é também promovida pela atomização fina do líquido. Porém, os processos segundo a presente invenção ainda proporcionam uma secagem efectiva e rápida com gotículas maiores que as que são tipicamente usadas nos processos de secagem anteriores por jacto. Por conseguinte, os materiais que são viscosos ou de outro modo resistentes à atomização muito fina podem secar-se eficazmente. Crê-se que a misturação melhorada e as temperaturas desejáveis do gás atingidas nas formas preferidas da presente invenção contribuem para este resultado vantajoso.

A presente invenção proporciona também aparelhos secadores aperfeiçoados. O aparelho incorpora meios para atomizar o material a secar e projectar uma corrente de material atomizado no sentido de jusante. O aparelho inclui igualmente meios para projectar um gás de secagem num fluxo turbulento, no sentido da corrente, a partir de lados opostos do mesmo, transversalmente em relação à direcção montante-jusante, de modo que o gás de secagem que flui para dentro é distribuído ao longo do comprimento da corrente. De preferência, os meios de projecção do gás de secagem estão colocados para proporcionar gás de secagem a temperaturas diferentes ao longo do comprimento da corrente. Os meios de atomização e projecção podem incluir um pulverizador e meios para fornecer um gás impulsor ao pulverizador e meios pa-



ra arrastar o material a secar no gás impulsor a montante da garanta do pulverizador.

O aparelho segundo a presente invenção pode ser extraordinariamente compacto para uma dada capacidade de secagem. Nas suas formas preferidas, o aparelho pode ter apenas um cehtésimo do volume de um secador de pulverização normal com uma capacidade equivalente.

Outros objectos, características e vantagens da presente invenção serão evidentes na descrição pormenorizada de certas formas de realização adiante apresentadas, feita em ligação com os desenhos anexos.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A fig. 1 é uma vista esquemática e parcialmente em corte do aparelho segundo a presente invenção.

A fig. 2 é uma vista fragmentada, esquemática e em corte numa escala maior, que mostra uma porção do aparelho ilustrado na fig. 1.

A fig. 5 é uma vista esquemática em corte feito pela linha (3-3) da fig. 1.

A fig. 4 é uma vista esquemática em corte que ilustra uma porção do aparelho segundo uma outra forma de realização da presente invenção.

As fig.s 5 e 6 são vistas fragmentadas, esquemáticas em perspectiva que ilustram o aparelho segundo outras formas de realização ainda do aparelho segundo a presente invenção.



DESCRIÇÃO PORMENORIZADA DAS FORMAS DE REALIZAÇÃO

O aparelho segundo uma das formas de realização da presente invenção inclui um conjunto injector (10) montado na extremidade de montante de um difusor poroso em forma de casquilho tubular alongado (12). O conjunto injector inclui um tubo de gás (14) que possui uma peça de transição (16) cónica (fig. 2) na sua extremidade de jusante. Na extremidade de jusante da peça de transição está montado um injector (18). A superfície interior do injector é uma superfície de revolução em torno do eixo central (22) do injector, que converge para uma garganta ou parte mais estreita (24) na extremidade de jusante do injector.

Uma caixa (26) está suportada no interior do tubo de gás por meio de parafusos de centragem (27), terminando a caixa a montante do injector. Um tubo de alimentação (28) está montado na caixa, estendendo-se a extremidade de jusante do tubo de alimentação para o interior do injector e terminando ligeiramente a montante da garganta (24) do injector. Um isolamento térmico envolve o tubo dentro da caixa. Os parafusos de centragem (27) mantêm a caixa, e portanto a extremidade de jusante do tubo de alimentação, coaxialmente com o injector.

O conjunto do injector está montado de modo que o injector (18) é coaxial com o casquilho (12) e a extremidade de jusante do injector está alinhada com a extremidade de montante do casquilho. Uma parede de topo (29) estende-se entre o casquilho e a parede do casquilho, tendo a parede de topo uma face de jusante (30) plana alinhada com a extremidade de jusante do injector.

A parede do casquilho (12) inclui um colar troncocónico a montante (31) adjacente ao conjunto do injector e



um colar cilíndrico (32) (fig. 1) a jusante, coaxial com o colar de montante. Cada colar é formado por um metal sinterizado poroso e define muitos poros ou aberturas minúsculas distribuídas pela sua superfície. O calor de montante (31) está colocado no interior de uma primeira caixa (34) que define um canal anular ou espaço anular (36) que envolve o colar de montante e que fica em frente da sua superfície exterior. O colar de jusante (32) está colocado no interior de uma caixa semelhante (38), que define um outro canal anular (40), estando os canais (36) e (40) separados um do outro por uma parede (41). A extremidade de jusante do colar (38) está ligada através de um tubo de saída (42) a um separador de ciclone (44) convencional.

O tubo de alimentação (28) do conjunto do injector está ligado a uma fonte (46) de fornecimento de um líquido a secar, fonte que pode incorporar um depósito de armazenamento convencional, uma bomba e um dispositivo de medição. O tubo de gás (14) está ligado a uma fonte (48) para o fornecimento de gás a uma temperatura controlável, a uma pressão pré-seleccionada, e os canais (36) e (40) estão ligados a fontes de gás (50) e (52) análogas controláveis independentemente, respectivamente. As fontes de gás podem incorporar compressores, reguladores, permutadores de calor e medidores de caudal convencionais.

Num processo segundo a presente invenção, um gás impulsor fornecido pela fonte (48) através do tubo (14) escoar-se através do injector (18) a uma velocidade elevada. Um líquido que se pretende secar é forçado pela fonte (46) através do tubo de alimentação (28). Quando o líquido sai da extremidade de jusante do tubo de alimentação, é arrastado pelo gás impulsor que passa através do injector (18) e atomizado quando o gás passa através da garganta (24) do injector de modo que se projecta uma corrente de gotículas do injector juntamente com o gás impulsor. O gás impulsor com as gotículas arrastadas passa para jusante do



injector sob a forma de um jacto cónico (54) com o seu eixo montante-jusante coincidente com o eixo (22) do injector e portanto coincidente com o eixo longitudinal do difusor ou casquilho (12).

A fonte (50) fornece uma primeira porção de gás de secagem ao canal anular (36). Como o canal (36) oferece pequena resistência ao escoamento, a pressão no interior do canal é substancialmente uniforme. Por conseguinte, a superfície exterior do colar (31) fica exposta a uma pressão do gás substancialmente uniforme em torno de toda a sua periferia. A parede do colar (31) tem uma porosidade substancialmente uniforme a toda a sua volta, de modo que o gás de secagem passa através da parede do colar com um caudal por unidade de área substancialmente uniforme em torno da periferia circular do colar. Como os poros da parede do colar são microscópicos e estão pouco afastados, as correntes de gás que emergem dos poros adjacentes fundem-se umas com as outras a distâncias microscópicas da superfície interior do colar, antes de o gás de secagem encontrar o jacto. Assim, a região de montante do jacto é envolvida por um fluxo contínuo de gás de secagem que se desloca radialmente para dentro no sentido do eixo do jacto, a partir do exterior da periferia do jacto, como está ilustrado pelas setas na fig. 3. O gás de secagem tem também uma velocidade baixa a jusante, paralela ao eixo.

Uma segunda porção do gás de secagem, fornecida pela fonte (52), passa através do canal (40) e através da parede do colar de jusante (32), de modo que a zona de jusante do jacto é envolvida por um fluxo contínuo semelhante de gás de secagem. Junto da união dos dois colares na parede limite (41), o fluxo inclui o gás de secagem fornecido através dos dois colares.

O gás de secagem passa para jusante com o gás impulsor e as gotículas. Quando as gotículas passam para jusante, a humidade nas gotículas evapora-se, de modo que as gotí-



colas são convertidas em partículas secas antes de atingir o tubo de saída (42). As partículas e os gases passam através do tubo de saída para o separador (44), onde as partículas são separadas do gás e removidas do sistema.

O gás de secagem fornecido através da parede do casquilho penetra no interior do jacto e mistura-se com o gás impulsor no jacto. Além disso, o fluxo de gás de secagem no sentido do eixo promove a turbulência no jacto e portanto promove a permuta de gases entre a zona central ou núcleo do jacto junto do eixo e a região periférica do jacto, afastada do eixo. Uma tal mistura completa e a adição contínua de gás seco mantêm os gases em todas as zonas do jacto com a baixa humidade desejada, apesar da contínua transferência de humidade do material que está a ser seco e os gases.

A temperatura de cada porção do gás de secagem e a temperatura do gás impulsor podem ser controladas independentemente. A primeira porção do gás de secagem, fornecido através do colar de montante (31) mistura-se com o gás impulsor e com o material que está a secar-se na zona de montante, junto do injector, enquanto que a segunda porção do gás de secagem fornecida através do colar de justante (32) se mistura com os outros gases e material na zona de jusante. Assim, o calor introduzido em cada zona do secador, e portanto a configuração das temperaturas do gás a que o material se expõe quando passa jusante, pode ser controlada como se desejar.

Em muitos casos, é preferível expor o material a uma temperatura de gás relativamente elevada na zona de montante e a uma temperatura relativamente baixa na zona de jusante. Na zona de montante, o material tem um teor de humidade relativamente elevado e uma grande quantidade de calor é consumida na transformação da humidade na fase de vapor. Na zona de jusante, o



material está relativamente seco, de modo que está disponível menos humidade para evaporação. Por conseguinte, é necessário menos calor para a evaporação na zona de jusante. Fornecendo o gás impulsor e o gás de secagem à zona de montante a temperaturas relativamente elevadas e fornecendo o gás de secagem à zona de jusante a uma temperatura relativamente baixa, a entrada de calor é estreitamente ajustada às necessidades de calor em cada região do secador. Assim, o calor fornecido aos gases é usado eficientemente para efectuar a evaporação desejada em vez de ser desperdiçado.

Além disso, fornecendo os gases impulsor e de secagem a temperaturas diferentes ao longo do comprimento do jacto pode obter-se uma secagem efectiva sem aumentar a temperatura do material que está a secar-se para além de limites desejáveis. Na zona de montante, onde o material tem um teor substancial de humidade e quantidades substanciais de calor são consumidas na evaporação, a temperatura das gotículas é substancialmente mais baixa que a temperatura dos gases circundantes. Os gases na zona de montante podem portanto ser mantidos a uma temperatura relativamente elevada para promover a evaporação, sem aumentar indevidamente a temperatura do material a secar. Quando o material passa para jusante e se torna progressivamente mais seco, diminui a taxa de evaporação. Com a transferência contínua de calor dos gases para o material a secar, a temperatura do material aproxima-se da temperatura dos gases circundantes. A temperatura dos gases na região de jusante deve ser limitada para impedir o sobreaquecimento do material. Fornecendo o gás de secagem a temperaturas diferentes ao longo do comprimento da corrente, pode manter-se uma temperatura do gás elevada na zona de montante, ao mesmo tempo que se mantém uma temperatura baixa na zona de jusante.

Se a temperatura do gás de secagem fornecido para a zona de jusante for suficientemente baixa, a temperatura dos gases misturados na zona de jusante pode ser mais baixa



que a temperatura do material a secar. Nesse caso, o calor é transferido do material para os gases. O material seco é assim arrefecido na corrente, antes de ser recolhido. A exposição íntima do material aos gases conseguida pela projecção do gás de secagem transversalmente em relação à direcção da corrente proporciona um arrefecimento efectivo e rápido. Embora o termo "gás de secagem" seja, por uma razão de conveniência, usado para designar o gás projectado transversalmente em relação à corrente, deve entender-se que uma parte ou todo o gás de secagem utilizado no arrefecimento do material pode contactar com o material depois de este estar já seco. Uma parte ou todo o gás de secagem utilizado para arrefecer pode ser projectado a jusante do ponto ao longo do comprimento da corrente em que o material atinge o seu teor final de humidade.

Quando o material é arrefecido na corrente antes da recolha, fica exposto a temperaturas elevadas apenas durante o tempo necessário para a secagem. Pelo contrário, nos processos convencionais de secagem de uma pulverização, é tipicamente impraticável arrefecer o material seco antes da recolha. Nos processos convencionais, o material seco tipicamente é recolhido a uma temperatura elevada e portanto é susceptível de degradação térmica depois da recolha.

Nas formas de realização atrás descritas, duas porções de gás de secagem a temperaturas diferentes são usadas. Os efeitos desejados obtidos pelo fornecimento do gás de secagem a temperaturas diferentes em zonas diferentes ao longo do comprimento da corrente podem ser ampliados fornecendo o gás de secagem em mais de duas porções, em mais de duas zonas. Por exemplo, podem fornecer-se três porções de gás de secagem a temperaturas alta, intermédia e baixa.

Podem usar-se outros padrões de temperaturas dos gases. Assim, se o gás impulsor for fornecido a uma tem-



peratura mais baixa que a do gás de secagem projectado na direcção da zona de montante da corrente, a temperatura dos gases misturados será baixa imediatamente junto do injector e aumentará progressivamente no sentido de jusante, no interior da zona de montante. Assim, a temperatura do material atomizado será muito baixa durante a porção inicial do processo de secagem. Este efeito pode ser realçado fornecendo o gás de secagem a uma temperatura baixa à maior parte da zona de montante e a uma temperatura mais elevada à zona seguinte. Uma temperatura baixa nas fases iniciais da secagem é útil com materiais que sejam particularmente sensíveis ao calor quando húmidos mas que se tornam menos sensíveis quando se tornam mais secos. Por exemplo, crê-se que os extractos de café e de chá se tornam menos susceptíveis à perda dos aromas voláteis pelo calor quando se tornam mais secos.

Nas disposições atrás descritas, o fluxo ou escoamento do gás de secagem faz-se simetricamente em relação ao eixo do jacto. O fluxo interior do gás de secagem a partir de cada porção do difusor ou da parede do casquilho é equilibrado por um fluxo interior igual no sentido oposto, a partir da porção de parede diametralmente oposta. Os fluxos opostos de gás de secagem não desviam o material atomizado do eixo. Porém, como pode apreciar-se melhor na fig. 3, o gás de secagem tende a manter o material atomizado afastado da parede do casquilho. Qualquer gotícula ou partículas que se move para fora no sentido da parede do casquilho encontra o gás que flui para dentro e é desviado novamente para o eixo.

Um jacto de gás tende a arrastar os gases circundantes e portanto tende a criar um vácuo parcial junto da extremidade de montante do jacto. O vácuo parcial, por sua vez, tende a fazer com que os gases circundantes fluam para montante para fora do jacto, criando assim a recirculação. O gás de secagem que flui para dentro impede tal recirculação.



Um jacto é caracterizado por um perfil distinto de velocidades do gás, com as velocidades mais elevada na zona central, junto do eixo, e velocidades mais baixas na zona periférica, afastada do eixo. Quando se dissipa o perfil de velocidades distintas associado com o jacto, a sua solicitação de arrastamento ou tendência para arrastar os gases circundantes diminui, diminuindo portanto a sua tendência para provocar a recirculação. Cre-se que a mistura total gerada pelo gás de secagem promove uma transferência de quantidade de movimento entre a zona central do jacto e a zona periférica do mesmo. O gás de secagem promove assim a dissipação do perfil das velocidades do jacto e portanto reduz a sua solicitação de arrastamento.

Além disso, o gás de secagem que flui para dentro, fornecido através da parede do casquilho, satisfaz a solicitação restante de arrastamento do jacto. O caudal do gás de secagem através da parede do casquilho por unidade de comprimento axial junto da extremidade de montante do casquilho desejavelmente excede a solicitação de arrastamento do jacto por unidade de comprimento. Assim, há um certo escoamento para jusante do jacto por unidade de comprimento. Se o caudal de gás de secagem por unidade de comprimento axial for menor que a taxa de solicitação de arrastamento do jacto, o excesso de gás de secagem que se escoar para jusante pode compensar a deficiência. A situação inversa, com uma deficiência de gás de secagem na zona de montante e um excesso na zona de jusante, é menos desejável. Haveria um escoamento para montante de gás de fora do jacto, que poderia dar origem a recirculação. Por outras palavras, o caudal total com que o gás de secagem é projectado para qualquer porção do jacto a montante de um ponto arbitrário ao longo do comprimento do jacto, e portanto o caudal total de gás de secagem através da parede do casquilho a montante desse ponto arbitrário, de preferência é igual ou maior que a solicitação total de arrastamento para essa porção do jacto.



A solicitação actual de arrastamento de um jacto que diminui sob a influência do gás de secagem projectado para dentro não é fácil de calcular. No entanto, para um jacto criado por dado fluxo de gás impulsor através de um injector dado, a solicitação actual de arrastamento será menor que a solicitação de arrastamento do jacto livre correspondente, isto é, um jacto de gás impulsor que tem o mesmo caudal e que sai do mesmo injector para um espaço infinito sem qualquer gás de secagem projectado para dentro. A solicitação de arrastamento por unidade de comprimento E de um tal jacto livre é dado aproximadamente pela fórmula:

$$E = \frac{0,26 (M_0)}{D}$$

onde: M_0 é o caudal de massa do gás impulsor através do injector e

D é o diâmetro da garganta do injector.

Tal como é usado nesta descrição, o termo "solicitação de arrastamento teórica" refere-se à solicitação de arrastamento para o jacto livre calculada de acordo com a fórmula anterior. Se o fluxo de gás de secagem para dentro for igual ou maior que a solicitação de arrastamento teórica do jacto, então o fluxo do gás de secagem excede a solicitação de arrastamento actual do jacto. A relação desejada pode exprimir-se pela seguinte fórmula:

$$x = q$$

$$Rdx$$

$$x = 0$$

$$x = q$$

$$Edx$$

$$x = 0$$



onde : R é o caudal de gás de secagem através da parede do casquilho por unidade de comprimento axial;

x é a distância axial para jusante da garganta do injector; e

q é um valor arbitrário

A relação anterior entre a solicitação de arrastamento e o fluxo de gás de secagem de preferência é mantida na zona imediatamente adjacente ao injector, numa distância axial igual ou maior que 10 vezes o diâmetro do injector; isto é, para qualquer valor de q entre 0 e 10 D . Como o jacto diminui apreciavelmente nesta zona, é menos importante manter essa relação mais para jusante. Porém, a manutenção da relação especificada para distâncias maiores que 10 diâmetros do injector para jusante, tipicamente até cerca de 30 a 60 vezes o diâmetro do injector, proporciona uma segurança ainda maior contra a recirculação.

Crê-se que nos processos de secagem segundo as formas de realização preferidas da presente invenção vários factores cooperam para suprimir a adesão do material que está a secar às paredes da câmara de secagem. A adesão tipicamente resulta do impacto do material húmido com a parede da câmara; o material seco tipicamente não aderirá à parede. A misturação melhorada e as distribuições desejáveis das temperaturas dos gases segundo a presente invenção promovem a secagem rápida e portanto promovem a secagem do material antes de poder chocar com a parede. A recirculação tende a levar o material que está a secar para fora, no sentido da parede da câmara e portanto promove os impactos e a adesão. A supressão da recirculação pelo gás de secagem servem assim para suprimir a adesão. Igualmente, o gás de secagem que flui para dentro tende a soprar o material que está a secar para dentro, afastando-o da parede da câmara, suprimindo ainda mais a adesão do material à parede.



Para minimizar os choques do material húmido com a parede do casquilho, esta parede, na zona de montante, está de preferência colocada fora do limite lateral do jacto. Um jacto não terá limites físicos definidos; a distâncias progressivamente maiores do eixo do jacto, a velocidade do gás no sentido de jusante diminui, sem qualquer discontinuidade apreciável entre o jacto e o meio circundante. O limite lateral de um jacto livre, não perturbado pelo fluxo do gás para dentro é usualmente considerado definido por um tronco de cone teórico que se alarga para fora a partir da garganta do injector e que tem um ângulo de inclusão de cerca de $23,5^\circ$. Embora o jacto real se alargue em menor grau, devido à acção do gás de secagem, pode usar-se a aproximação do jacto livre na concepção do aparelho de secagem segundo a presente invenção. Assim, a parede do casquilho pode ser disposta de modo que a zona de montante do casquilho se situe fora do referido tronco de cone. Na zona de jusante, onde o material atomizado está substancialmente seco e carece de importância o impacto do material na parede do casquilho, esta parede pode estar colocada dentro do tronco de cone teórico.

A parede do casquilho desejavelmente deve ser ou paralela ao eixo longitudinal do casquilho ou divergente de tal eixo segundo um ângulo menor ou igual a cerca de $3,5$ graus. Assim, uma parede troncocónica do casquilho tem um ângulo de preferência não maior que 7 graus. Se a parede do casquilho tiver a forma de uma superfície de revolução diferente da troncocónica, a geratriz de tal superfície não deve divergir do eixo longitudinal de um ângulo maior que cerca de $3,5$ graus.

Para proporcionar a melhor interacção entre o gás de secagem e as gotículas e para minimizar o volume do aparelho, a parede do casquilho ou difusor deve estar colocada o mais próximo possível do eixo longitudinal, tendo em atenção as considerações atrás estabelecidas. Embora a presente invenção não



seja limitada por qualquer teoria de funcionamento, crê-se que os turbilhões turbulentos são criados quando o gás de secagem passa através dos poros na parede do difusor e que estes turbilhões contribuem para a interacção entre o gás de secagem e as gotículas. Além disso, crê-se que estes turbilhões diminuem quando se deslocam para dentro com o gás de secagem. Crê-se que a justaposição estreita da parede do difusor e da corrente de material atomizado proporciona uma melhor exposição do material aos turbilhões. De preferência, pelo menos uma parte da parede do difusor está disposta dentro de cerca de 25 cm do centro da corrente para proporcionar a propagação efectiva dos turbilhões para o centro da corrente. Crê-se que a interacção mais efectiva entre os turbilhões e o material disperso se verifica junto da parede do casquilho ou difusor. Por conseguinte, crê-se que as gotículas que se aproximam da parede são mais rapidamente secadas, suprimindo ainda mais a adesão do material atomizado à parede.

Crê-se que as dimensões dos poros têm também importância. A dimensão dos turbilhões criados quando o gás de secagem sai dos poros está directamente relacionada com a dimensão dos poros. Crê-se que a interacção óptima entre os turbilhões e o material atomizado se verifica quando a dimensão dos turbilhões se aproxima da do diâmetro das gotículas. Para conseguir essa relação, as dimensões dos poros individuais devem predominantemente estar entre 0,1 e 10 vezes, e de preferência entre cerca de 1,0 a 5,0 vezes, o diâmetro médio das gotículas produzidas na fase de atomização. Neste contexto, "dimensões" de um poro significa o diâmetro da partícula esférica rígida maior que passa através do poro.

O aparelho segundo uma outra forma de realização da presente invenção, ilustrado esquematicamente na fig. 4, utiliza um injectador (60) com uma abertura rectangular alongada, um tubo de alimentação (62) com saída rectangular que está colocada



da no interior do injector. O injector está dirigido para o interior de um casquilho poroso tubular (64) de secção transversal na generalidade rectangular, alargando-se as paredes do casquilho para fora no sentido da extremidade de jusante do casquilho. O gás impulsor fornecido pelo injector (60) arrasta e atomiza o líquido fornecido pelo tubo de alimentação (62). O gás sai do injector como um jacto de secção na generalidade rectangular, arrastando consigo a corrente de gotículas. O gás de secagem é fornecido através quer dos lados estreitos, quer dos lados largos do casquilho (64). Precisamente como nas formas de realização atrás descritas com referência às fig. 1 a 3, o jacto é completamente envolvido pelo gás de secagem projectado para dentro a partir da parede porosa e o material atomizado passa entre correntes de gás de secagem dirigidas para dentro opostas.

As relações atrás mencionadas entre a solicitação de arrastamento do jacto e o caudal de gás de secagem através do casquilho aplicam-se às disposições tais como as da fig. 4 que usam um injector com secção transversal não circular. Com um injector rectangular, a dimensão estreita do injector deve ser tomada como diâmetro do injector. Um jacto que sai de um injector rectangular espalha-se para fora de uma maneira muito semelhante à de um jacto que sai de um casquilho circular. O limite lateral teórico de um jacto livre proveniente de um injector rectangular, não afectado por qualquer gás escoando-se para dentro, tem a forma de um obelisco com faces que se estendem dos bordos do injector, formando as faces opostas entre si um ângulo de cerca de $23,5^\circ$. Mais uma vez, embora o jacto seja constrangido em certa medida pelo gás de secagem, o limite do jacto livre teórico pode ser usado na concepção inicial do casquilho.

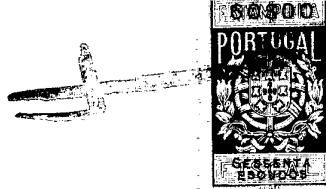
O aparelho ilustrado na fig. 5 inclui um certo número de casquilhos troncocónicos porosos (66) e tubos de gás associados (68). Cada um dos tubos de gás está disposto por forma a descarregar um gás impulsor para o interior de um casqui-



lho associado através de um injector e o material líquido a secar é fornecido através de um tubo de alimentação (não representado) no interior de cada tubo. O gás de secagem fornecido através das câmaras (não representadas) que envolvem os casquilhos é projectado através dos casquilhos. Assim, cada casquilho funciona da mesma maneira que a porção de montante da câmara de secagem atrás descrita com referência às fig. 1 a 3; o jacto que sai de cada injector é completamente cercado, ao longo da porção de montante do seu comprimento, por gás de secagem projectado para dentro. As extremidades de jusante dos casquilhos estão dispostas entre um par de placas porosas opostas (70), sendo fornecido gás de secagem adicional pelas câmaras (72) através das placas porosas.

Os gases e o material atomizado que saem dos casquilhos passam entre fluxos opostos e dirigidos para dentro de gás de secagem projectado das placas porosas, como se indica com as setas na fig.5. O gás de secagem que sai das placas mistura-se, em condições de turbulência, com o material atomizado e com os gases que saem dos casquilhos. As correntes de gás e material atomizado que saem dos casquilhos não são completamente cercadas por gás de secagem que se projecta para dentro quando passam nas placas. Para minimizar a possibilidade de recirculação nas zonas entre correntes adjacentes, a configuração dos casquilhos (66) e do fluxo do gás de secagem através dos casquilhos está disposta de modo que o jacto que sai de cada injector é substancialmente dissipado no interior do casquilho associado. Assim, cada casquilho de preferência estende-se para jusante do casquilho associado a uma distância de pelo menos 10 vezes o diâmetro do injector, e o gás de secagem de preferência é fornecido através de cada casquilho com um caudal pelo menos igual à solicitação de arrastamento teórico do jacto.

Nas formas de realização atrás descritas, o material é projectado num jacto de gás impulsor. Porém, o material



— pode ser atomizado e projectado sem utilizar um gás impulsor. O aparelho illustrado na fig. 6 inclui uma câmara de secagem (74) que é fechada na sua extremidade de montante e nos seus lados. Os lados opostos da câmara de secagem são definidos por placas difusoras porosas (76). Cada placa difusora porosa communica com as câmaras (78), estando estas câmaras ligadas às fontes de gás (não representadas). Na parede de montante da câmara são montados injectores de atomização tem um certo número de orifícios finos que abrem para o interior da câmara. Os injectores de atomização estão ligados a uma bomba de alta pressão (82).

Um líquido que se pretende secar é forçado através dos injectores (80) pela bomba (82), de modo que uma corrente de finas gotículas passa para jusante a partir de cada injector. O gás de secagem fornecido por intermédio das câmaras (78) é projectado através das placas porosas (76) no sentido da corrente de gotículas. As correntes passam entre fluxos de gás de secagem dirigidos para dentro opostos distribuidos ao longo do comprimento das correntes e o líquido disperso fica efectivamente exposto ao gás de secagem em condições de turbulência. De preferência, as placas porosas (76), e portanto os fluxos opostos dirigidos para dentro de gás de secagem, estendem-se para jusante para além do ponto em que o material está substancialmente seco.

Como a extremidade de montante da câmara está fechada, a continuação do fluxo de gás de secagem para o interior da câmara força o gás de secagem para o interior da câmara a jusante. O material seco é recolhido num separador (não representado) ligado à extremidade de jusanteda câmara.

Como não há qualquer jacto de gás impulsor, não há a necessidade de dispor o fluxo de gás de secagem de modo a impedir a recirculação gerada por tais jactos. Assim, as correntes de gotículas não são inteiramente cercadas pelo gás de seca-



gem projectado para dentro. Também, o calor necessário para a secagem é fornecido inteiramente pelo gás de secagem. Qualquer injectador de atomização do líquido capaz de proporcionar o desejado grau de atomização pode ser usado. Noutros aspectos, a operação de secagem é análoga às descritas atrás.

Independentemente do processo de atomização o tempo de secagem necessário varia de maneira marcada com o diâmetro das gotículas; gotículas maiores demoram mais a secar. Por conseguinte, a atomização até obter uma dimensão média das gotículas de cerca de 70 micrómetros ou menos é preferível. Gotículas muito grandes que secam de maneira relativamente lenta podem chocar com as paredes do secador enquanto ainda estão húmidas e podem portanto aderir às paredes. Normalmente, a proporção de gotículas muito grandes varia directamente com o grau de não uniformidade da distribuição dos diâmetros médios das gotículas. Assim quanto mais uniforme forem as dimensões das gotículas na distribuição, maior poderá ser o diâmetro médio das gotículas sem que se verifique a adesão. A atomização até um diâmetro médio das gotículas de cerca de 63 micrómetros, com 3% das gotículas acima dos 212 micrómetros de diâmetro e 12,2% entre 150 e 212 micrómetros pode ser usada com êxito. No que respeita ao processo de secagem, não há limite inferior para o diâmetro das gotículas. Os diâmetros das gotículas aqui referidos são determinados pela medição do diâmetro das partículas secas, admitindo a hipótese de que os diâmetros das partículas secas são mesmos (digo: os mesmos) que os diâmetros das gotículas produzidas na fase de atomização.

Os materiais líquidos que são viscosos ou por qualquer outro motivo difíceis de atomizar, tais como os materiais comestíveis aquosos com um teor de cerca de 40% de sólidos; ou mais, podem ser melhor atomizados arrastando o líquido no



gás impulsor e fazendo passar o gás impulsor através de um orifício, como atrás descreveu com referência às fig. 1 a 5. Tipicamente, a atomização mais efectiva é conseguida quando o gás impulsor se aproxima ou atinge a velocidade do som na garganta do injector.

Os gases impulsor e de secagem usualmente são o ar, mas podem ser usados outros gases. Embora os processos de secagem usualmente impliquem a evaporação de água, podem secar-se materiais que transportam líquidos diferentes da água. Os materiais à base de açúcar, tais como as soluções de açúcar na água, mel e melaço assumem um estado pegajoso, não cristalino depois da secagem e ficam nesse estado durante um tempo apreciável depois de se completar a secagem. Para evitar problemas de adesão no processamento de tais materiais, podem misturar-se outros materiais com os materiais à base de açúcar para proporcionar pontos de nucleação e acelerar a cristalização.

A presente invenção é particularmente apropriada para secar líquidos comestíveis tais como o leite, extractos aquosos de café, chicória e chá, mistura de tais extractos e combinações que incluem tais extractos justamente com açúcar, melaço e mel. Cre-se que a secagem rápida, a ausência substancial de recirculação no interior do secador e as temperaturas controladas do produto, que podem conseguir-se com a presente invenção preservam o aroma do produto.

Em formas de realização típicas da presente invenção para secar líquidos comestíveis aquosos, a temperatura do gás de impulsão a jusante do injector é tipicamente cerca de 500°C ou menos, o gás de secagem é fornecido à zona de jusante a menos de cerca de 80°C. O caudal de massa total do gás de secagem usualmente é cerca de 10 a 20 vezes o caudal de massa do gás impulsor. Nestas condições os líquidos comestíveis típicos



podem ser secos efectivamente em quantidades industriais com um tempo de permanência do material no secador da ordem dos 50 ms ou menos. O casquilho ou a câmara de secagem para um tal processo pode ter 1 a 2 metros de comprimento e menos de 1 metro de diâmetro.

Os exemplos seguintes ilustram certos aspectos da presente invenção. Os teores de sólidos e os teores de humidade estabelecidos nos exemplos como percentagens são percentagens em peso.

EXEMPLO 1

Empregou-se um aparelho semelhante ao ilustrado nas fig.s 1 a 3. O injector tem um diâmetro da garganta de 18 mm. O casquilho é troncocónico, com cerca de 1 metro de comprimento, cerca de 7 cm de diâmetro interior na sua extremidade de montante e cerca de 33 cm de diâmetro interior na sua extremidade de jusante. A dimensão média dos poros do casquilho é cerca de 30 micrómetros. Bombou-se extracto de café aquoso, contendo cerca de 45% de sólidos, através do tubo de alimentação com cerca de 70 Kg/h. Forneceram-se ao injector 267 Kg/h de ar de impulsão a cerca de 410°C; quando o ar impulsor passa através do injector é arrefecido por expansão a cerca de 310°C. Forneceram-se 1 662 Kg/h de ar de secagem a cerca de 160°C através da metade de montante do casquilho e 1 948 Kg/h de ar seco a cerca de 42°C através da metade de jusante do casquilho. O ar e o material seco saíram da extremidade de jusante do casquilho a cerca de 80°C. O extracto de café foi seco para obter partículas com diâmetros de cerca de 20 a 30 micrómetros e cerca de 5% de humidade.

Não se detectou qualquer acumulação de material na parede do casquilho. A bebida preparada a partir do produto seco foi preferida por provadores, num estudo cego, a uma bebida preparada a partir de um pó obtido pela secagem do mes



mo extracto por uma torre convencional de secagem de uma pulverização.

EXEMPLOS 2 a 6

O aparelho foi o mesmo utilizado no Exemplo 1, excepto que o casquilho tinha uma secção de montante troncocónica de cerca de 22 cm de diâmetro interior na sua extremidade de montante e cerca de 32 cm de diâmetro interior na sua extremidade de jusante, e uma secção de jusante cilíndrica com cerca de 32 cm de diâmetro interior. Ambas as secções têm poros de cerca de 30 micrómetros de dimensão média. Os caudais de ar foram medidos quando o ar entra no sistema à temperatura ambiente e à pressão atmosférica, antes do aquecimento e da compressão. A pressão do gás impulsor e a temperatura do mesmo foram medidas imediatamente a montante do injector. A temperatura da saída é a temperatura dos gases e dos produtos secos misturados no tubo de saída, medidas aproximadamente a 1 metro da extremidade de jusante do casquilho. Em todos os casos fizeram-se passar cerca de 28 300 litros de gás de secagem através de cada secção do casquilho por minuto. Os outros parâmetros para cada exemplo estão indicados no Quadro seguinte:

QUADRO

Exemplo Líquido	<u>Gás impulsor</u>		<u>Gás de secagem</u>		<u>Produto</u>	
	<u>Temp. °C</u>	<u>Pressão monométrica</u>	<u>Secção de mon- tante</u>	<u>Secção de ju- sante</u>	<u>teor de humidade %</u>	<u>Diametro médio das partículas, micrometros</u>
		<u>Caudal</u>	<u>Temp. °C</u>	<u>Temp °C</u>		<u>Rendimento</u>
		<u>Litros/minuto</u>				<u>Kg/h. em seco</u>
2	Extrac- to de ca- fé 46% de sólidos	312 <u>103</u> 6.800	170	103 92	3.66 <u>50</u> 67	
3	Extracto de café 45% de sólidos	153 <u>98</u> 6800	170	91 85	N.A. <u>63</u> 34	
4	Extracto de café e melaço ca- rameliza- do 44% sol.	316 <u>104</u> 3.680	139	86 95	2.6 <u>29</u> 33	
5	Extracto de café e açú- car 30% sol.	324 <u>103</u>	120	85 84	2.6 <u>15</u> 19	
6	Extracto de chicória 44,5% sol.	248 <u>108</u> 3.680	144	62 77	4.27 <u>27</u> N.A.	





"N.A." significa valor não obtido.

EXEMPLO 7

Secou-se um extracto de chá contendo 44% de sólidos com um caudal de alimentação de líquido de 115 Kg/h usando o mesmo equipamento que nos exemplos 2 a 6 e usando ar como gases impulsor e de secagem. O caudal do ar impulsor foi de 317 Kg/h e o caudal total de ar de secagem foi de 2 860 Kg/h, divididos uniformemente entre as secções de montante e de jusante do casquilho poroso. Imediatamente a montante do injector, o gás impulsor está a 93°C; quando passa pelo injector é arrefecido até cerca de 28°C. O ar de secagem é fornecido através da secção de montante do casquilho a 246°C e através da secção de jusante a 93°C. O extracto atomizado fica assim exposto a gases misturados a temperaturas baixa, alta e intermédia, por esta ordem. A temperatura de saída é cerca de 85°C. O produto tem um teor de humidade de cerca de 3,5%.

EXEMPLO 8

Secou-se leite pré-concentrado até cerca de 48% de sólidos usando o mesmo equipamento que no Exemplo 7, excepto que o caudal de alimentação do líquido foi 170 Kg/h e o do ar impulsor de 476 Kg/h. A temperatura de saída foi cerca de 65°C e o produto tinha um teor de humidade de cerca de 5%.



REIVINDICAÇÕES

- 1^a -

Processo de secagem de um material líquido caracterizado por compreender as fases de:

- a) atomizar o material e projectar uma corrente do material atomizado numa direcção de jusante; e
- b) pôr o material atomizado em contacto com um gás de secagem projectando o gás de secagem em fluxo turbulento, transversalmente em relação à referida direcção para jusante, no sentido da corrente, de lados opostos da mesma, sendo o gás de secagem distribuído ao longo do comprimento da corrente de modo que o material atomizado passa entre correntes opostas de gás de secagem dirigidas para dentro, de modo que o gás de secagem se mistura com o material atomizado e o material atomizado seca quando se desloca para jusante.

- 2^a -

Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o material ser projectado para jusante e atomizado pela passagem de um gás impulsor através de um injector e se arrasta o material na corrente de gás impulsor a montante da garganta do injector, de modo que o material é atomizado pelo gás impulsor quando passa através do injector e o gás impulsor passa para jusante do injector num jacto, sendo o material atomizado arrastado no referido jacto.



- 3ª -

Processo de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por o referido gás de secagem ser projectado de modo que numa zona a montante adjacente ao injector o jacto é completamente cercado pelo gás de secagem que flui para dentro.

- 4ª -

Processo de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por o gás de secagem ser projectado de modo que, para qualquer ponto arbitrário entre o injector e 10 vezes o diâmetro do injector para jusante, o caudal total com que o gás de secagem é projectado no sentido daquela porção do jacto entre o injector e o referido ponto arbitrário ser igual ou maior que a solicitação de arrastamento teórica total da porção do jacto entre o injector e o referido ponto arbitrário.

- 5ª -

Processo de acordo com as reivindicações 2, 3 ou 4, caracterizado por o gás impulsor atingir a velocidade do som na garganta do injector.

- 6ª -

Processo de acordo com qualquer das reivindicações anteriores, caracterizado por o gás de secagem a temperaturas diferentes ser projectado em zonas diferentes ao longo do comprimento da corrente.

- 7ª -

Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por o gás de secagem projectado para uma zona de

— jusante.



- 8ª -

Processo de acordo com a reivindicação 7, caracterizado por o material seco ser arrefecido pelo gás de secagem projectado para a zona de jusante referida.

- 9ª -

Processo de acordo com qualquer das reivindicações anteriores caracterizado por o material ser atomizado para produzir gotículas com um diâmetro médio menor do que cerca de 70 micrómetros.

- 10ª -

Processo de acordo com qualquer das reivindicações anteriores, caracterizado por pelo menos algum do gás de secagem ser fornecido através de um difusor poroso adjacente à corrente, estando as dimensões dos poros do difusor compreendidas entre cerca de 0,1 e cerca de 10 vezes o diâmetro médio das gotículas formadas na referida fase de atomização.

- 11ª -

Processo de acordo com qualquer das reivindicações anteriores caracterizado por o material líquido ser um material comestível aquoso escolhido do grupo constituído por leite, extracto de café, extracto de chicória, extracto de chá e misturas dos mesmos ou uma mistura de um ou mais dos referidos produtos comestíveis aquosos com açúcar, melaço ou mel.



- 12ª -

Processo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado por o material líquido conter pelo menos 40% de sólidos, em peso.

- 13ª -

Aparelho para a secagem de um material líquido do caracterizado por compreender:

a) meios para atomizar o material e projectar uma corrente do material atomizado numa direcção de jusante; e

b) meios para projectar um gás de secagem num fluxo turbulento, transversalmente em relação à referida direcção de jusante, no sentido da corrente de lados opostos da mesma de modo que o gás de secagem seja distribuído ao longo do comprimento da corrente e o gás de secagem se misture com o material atomizado.

- 14ª -

Aparelho de acordo com a reivindicação 13, caracterizado por os referidos meios de projecção do gás de secagem incluírem um difusor que tem superfícies porosas opostas que se estendem na referida direcção de jusante e meios para forçar o gás de secagem através das referidas superfícies opostas, sendo os referidos meios de atomização e de projecção operativos para projectar a corrente de material atomizado entre as referidas superfícies opostas.

- 15ª -

Aparelho de acordo com a reivindicação 14, caracterizado por o referido difusor incluir um casquilho tubular



— alongado poroso, os referidos meios para forçar o gás de secagem através das superfícies opostas incluirão meios para aplicar o gás de secagem sob pressão à superfície exterior do casquilho, sendo os referidos meios de atomização e de projecção operativos para projectar a corrente de material atomizado no interior do casquilho na sua direcção longitudinal.

- 16ª -

Aparelho de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por os referidos meios de atomização e projecção incluir um injector alinhado com o referido casquilho, meios para fornecer um gás impulsor ao injector sob pressão de modo que o gás impulsor saia como um jacto para jusante no interior do referido casquilho, e meios para arrastar o material líquido no gás impulsor a montante da garganta do injector.

- 17ª -

Aparelho de acordo com a reivindicação 16, caracterizado por as superfícies interiores do referido injector e do referido casquilho serem superfícies de revolução e serem coaxiais uma com a outra.

- 18ª -

Aparelho de acordo com qualquer das reivindicações 14 a 17, caracterizado por os referidos meios de projecção do gás de secagem incluir meios para projectar o gás de secagem a temperaturas diferentes através de porções diferentes das referidas superfícies opostas ao longo da sua extensão de montante para jusante.

A requerente declara que o primeiro pedido desta patente foi depositado nos Estados Unidos da América em 03 de Setembro de 1985, sob o número de série 06/772 150.

Lisboa, 02 de Setembro de 1986

.....





RESUMO

"SECADOR E PROCESSO DE SECAGEM"

De acordo com a invenção um líquido atomizado finamente é projectado numa corrente e seco pelo contacto com gás seco. O gás de secagem é projectado em fluxo turbulento de lados opostos da corrente, sendo um tal fluxo distribuído ao longo do comprimento da corrente. O material pode ser atomizado e projectado por um jacto de gás que sai de um pulverizador e o gás de secagem pode ser projectado em torno do jacto de modo que o gás de secagem satisfaça a solicitação de arrastamento do jacto, impedindo assim a recirculação de gases fora do jacto.

Figura 1

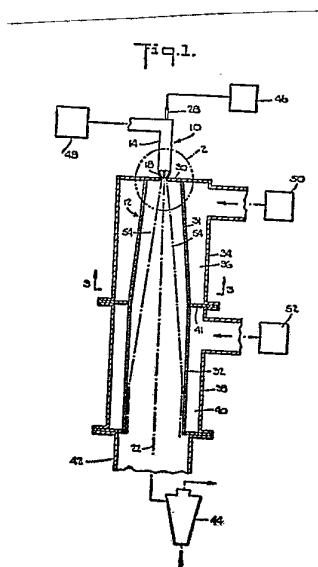
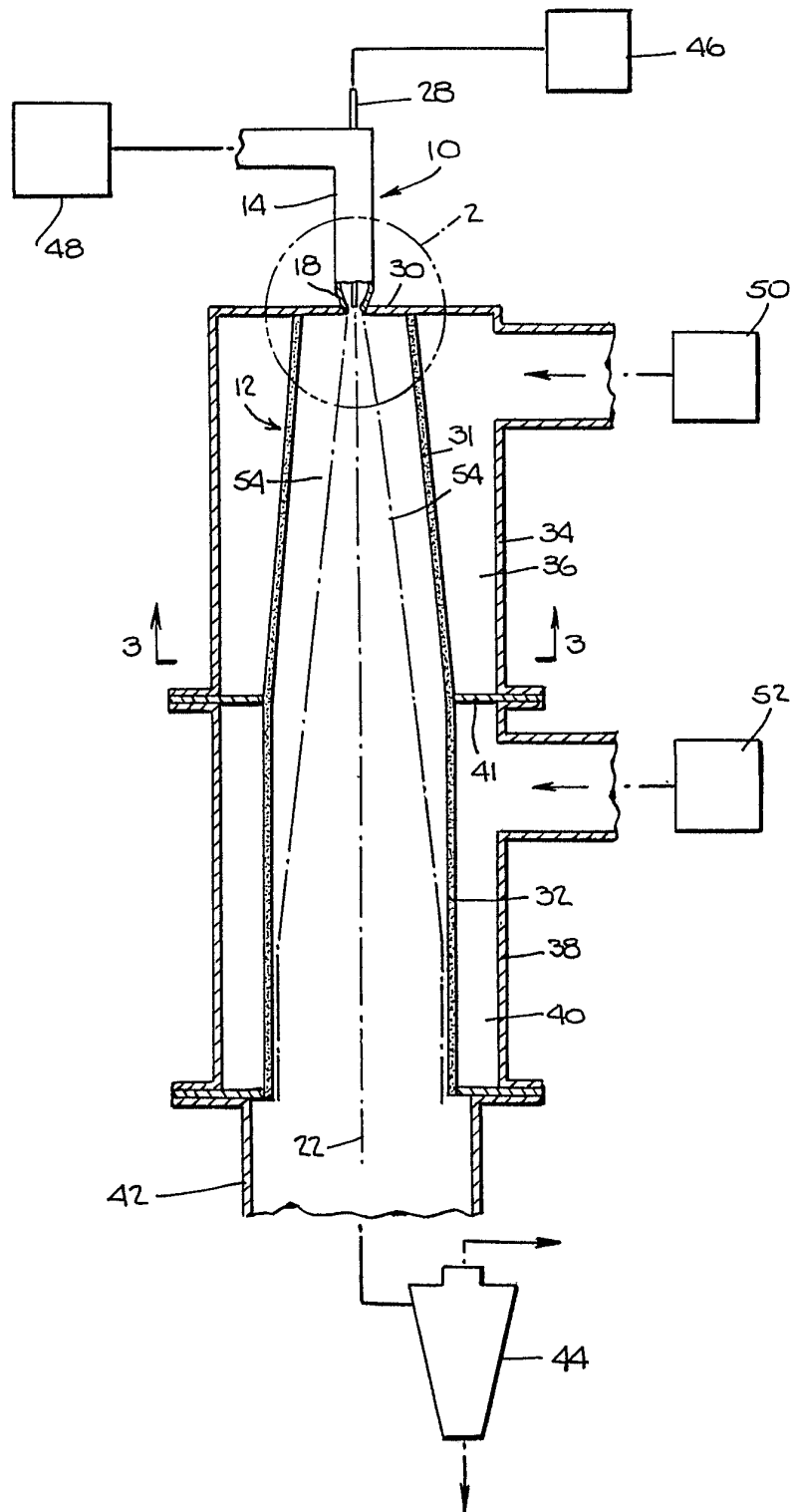




Fig. 1.



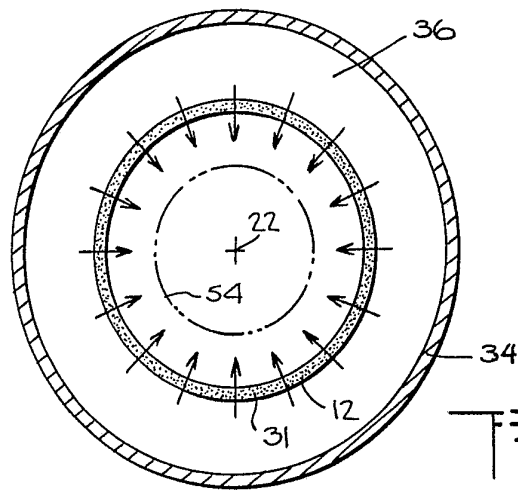


Fig. 3.

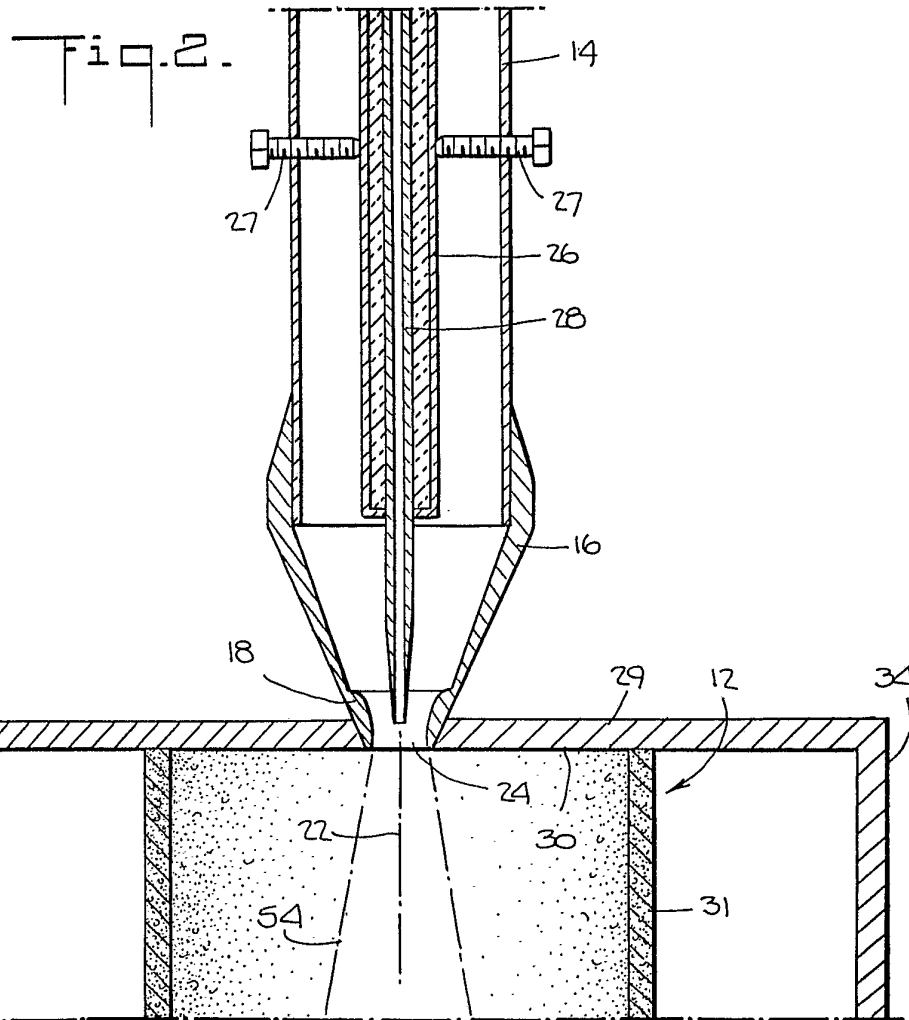


Fig. 2.

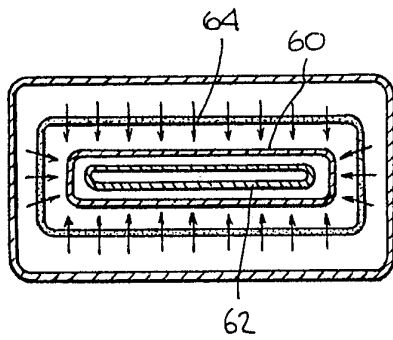


Fig. 4.

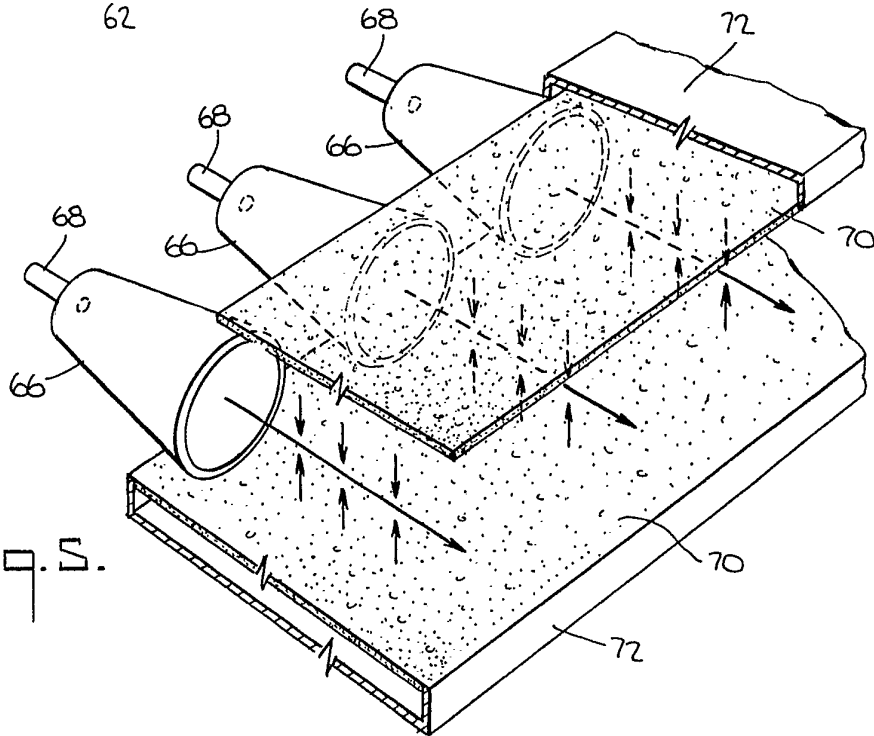


Fig. 5.

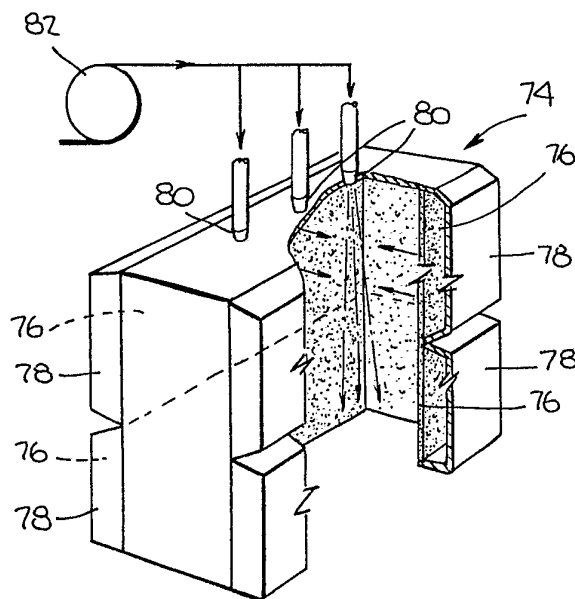


Fig. 6.