

# Estudo da Operação de Secagem por Atomização de Pós Cerâmicos em Escala Industrial: Seu Controle e Automatização

**F. Negre, J.C. Jarque, C. Feliu e J.E. Enrique**

*Instituto de Tecnología Cerámica*

*Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas*

*Universitat Jaume I. Castellón. España*

**Resumo:** Neste trabalho estudou-se o controle e a automatização da operação de secagem por atomização. Para isso foi necessário selecionar previamente as variáveis de operação apropriadas, assim como os equipamentos de medida adequados.

Da análise dos dados obtidos a partir de distintas variáveis, obteve-se uma correlação empírica entre a temperatura do gás de secagem, a vazão da suspensão de sólidos e a umidade do granulado produzido. Esta correlação permitiu o controle automático do equipamento de secagem.

**Palavras-chaves:** *secagem, atomização, granulação*

## Introdução

Na atualidade, a grande oferta existente no mercado de pisos e azulejos cerâmicos em conjunto com a crescente exigência por parte dos clientes, faz com que a qualidade final dos revestimentos seja convertida em um fator fundamental para que o produto torne-se competitivo.

Um dos parâmetros que afeta a qualidade dos revestimentos é a sua estabilidade dimensional. A compactação a cru dos revestimentos cerâmicos tem uma influência marcante sobre a estabilidade dimensional do produto queimado<sup>1</sup>.

As principais variáveis que incidem sobre a compactação das peças prensadas, podem ser divididas em dois grupos: as variáveis associadas ao pó atomizado e as variáveis relacionadas com a própria operação de prensagem. Dentro do primeiro grupo destacam-se como mais significativas, as matérias primas da composição e as características físico-morfológicas do granulado (tamanho, forma, umidade, fluidez, etc.)<sup>2,3</sup>. Dado que as matérias primas são características de cada uma das múltiplas composições utilizadas em níveis industriais, o estudo efetuado foi centrado fundamentalmente sobre as características do pó atomizado.

No processo de preparação da composição por “via úmida”, implantado majoritariamente no setor espanhol de pisos e azulejos cerâmicos, o pó granulado é obtido na etapa

de secagem por atomização da suspensão aquosa das matérias primas argilosas<sup>4-6</sup>.

Uma elevada estabilidade nas características do granulado representa uma maior uniformidade na compactação a cru das peças conformadas, tanto dentro de uma mesma peça (eliminação de problemas de esquadro) como entre peças distintas (evitando o surgimento de calibres).

As exigências de qualidade, em relação à estabilidade dimensional, impostas pelos fabricantes a seus produtos, superam amplamente as exigidas pelas atuais normas de qualidade (Normas EN)<sup>7</sup>.

Assim, para pisos gresificados, considera-se habitualmente como calibre uma diferença dimensional entre peças de  $\pm 0,5$  mm. Da análise conjunta das curvas de gresificação e de compactação para uma massa típica, observa-se que esta diferença pode ser ocasionada por uma variação de densidade aparente a cru de aproximadamente  $\pm 0,015$  g/cm<sup>3</sup><sup>8</sup>. No entanto, o valor deste intervalo de densidades aparentes deve ser obtido em cada caso concreto, de acordo com a composição utilizada.

Esta variação na compactação pode ser causada por alterações em algumas das variáveis relacionadas com o pó atomizado, que foram comentadas anteriormente.

A situação detectada a nível industrial vem refletida nas Figuras 1 e 2. Observam-se oscilações nos valores de umidade do pó granulado, obtido após a secagem no atomizador, típicas de um processo mal-controlado.

Ainda assim, comprovou-se que a distribuição granulométrica do pó mantém-se dentro de margens razoáveis e apropriadas para a realização correta da posterior etapa de prensagem.

Deste modo, atribui-se à umidade do pó atomizado toda a responsabilidade pela modificação da compactação das peças cruas. Para ocasionar uma variação de  $0,03 \text{ g/cm}^3$  (calibre) é necessária, para um tipo de massa padrão e no intervalo usual de umidades de trabalho, uma alteração na umidade do pó de  $\pm 0,4\%$ .

Conseqüentemente, uma modificação de  $0,8\%$  na umidade do granulado pode supor por si só, o surgimento de calibres nos revestimentos produzidos.

Dada a grande variação observada na umidade do aglomerado produzido e sua marcante incidência sobre o possível surgimento de calibres entre peças queimadas, considerou-se oportuno tomar esta variável como a principal variável de controle.

As flutuações na umidade do aglomerado produzido nas instalações de secagem por atomização, podem ser devidas a algumas das seguintes causas:

- Alteração nas propriedades da suspensão a atomizar e/ou no equipamento de bombeamento;
- Modificação nas propriedades físicas do ar quente utilizado na operação de secagem;
- Variação nos parâmetros que regem o funcionamento do equipamento de secagem por atomização.

## Objetivo do Trabalho

Devido às deficiências comentadas no item anterior, referentes à variabilidade na umidade do pó atomizado, considerou-se interessante realizar o presente trabalho com a finalidade de estabelecer correlações empíricas confiáveis entre distintas variáveis de operação e o conteúdo de umidade do pó resultante da atomização. As correlações encontradas serviram para obter um controle mais eficaz das condições de operação do equipamento de secagem e para sua posterior automatização.

Para atingir este objetivo, planejou-se desenvolver as seguintes atividades:

- Seleção das variáveis de processo mais importantes a considerar e do instrumento de medida mais adequado, assim como sua aplicação na planta industrial.
- Realização dos testes para obter as correlações empíricas entre a umidade do pó atomizado com as seguintes variáveis:
  - Temperatura e umidade dos gases quentes que entram na câmara de secagem.
  - Vazão de alimentação da suspensão aquosa de argilas.
- Implantação de um sistema de controle automático da operação de secagem por atomização.

## Instalação Experimental

Para a realização dos testes, utilizou-se um atomizador industrial empregado na fabricação de pisos gresificados. O equipamento de secagem possui uma capacidade de evaporação máxima nominal de  $4,70 \text{ m}^3$  água evaporada/h.

A instalação tem como característica peculiar a utilização de ar quente procedente de uma turbina de cogeração para o ar de secagem. A vazão de ar quente permanecia praticamente constante durante todo o tempo de operação do atomizador. Antes da entrada dos gases na câmara de secagem, estes devem atravessar um queimador de corrente de ar, que tem como finalidade garantir a temperatura desejada dos gases.

## Materiais e Procedimento Experimental

O estudo foi realizado empregando-se como barbotina uma suspensão de argilas vermelhas ílítico-cauliníticas em meio aquoso, moída por via-úmida, utilizada para a fabricação de pisos gresificados.

O processamento das matérias primas, até a obtenção da barbotina que alimenta o secador, foi realizado na mesma instalação industrial em que efetuou-se o estudo. A barbotina obtida através da moagem por via úmida foi armazenada em tanques convenientemente agitados, onde controlou-se a densidade e a viscosidade da mesma, de tal forma a permanecerem constantes ao longo de todo o tempo necessário para a execução dos testes.

Foram realizadas quatro séries de testes correspondentes a diferentes vazões de barbotina. Para cada vazão ensaiada realizaram-se quatro testes distintos, modificando-se a temperatura dos gases de secagem.

No desenvolvimento de cada teste adquiriu-se e armazenou-se os dados das distintas variáveis de operação medidas continuamente e em tempo real, por meio de um equipamento de aquisição de dados.

Como precaução importante, procurou-se manter o mais constante possível a distribuição das boquilhas pul-

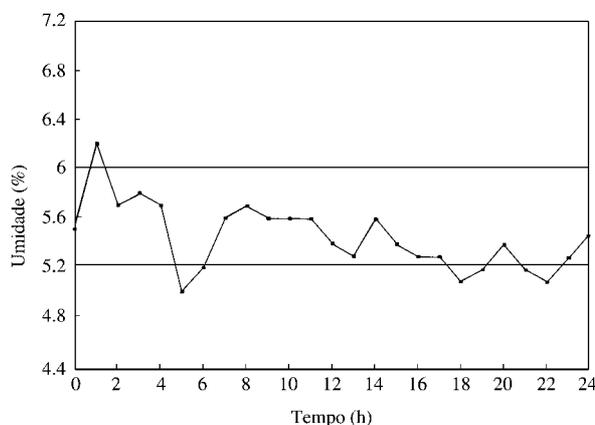


Figura 1. Evolução diária da umidade do pó atomizado.

verificadoras de suspensão e o tamanho médio do orifício de saída, durante todo o tempo de execução dos ensaios, para que afetassem minimamente a distribuição granulométrica do pó atomizado obtido.

## Resultados e Discussão

### Seleção das Variáveis mais Importantes a Considerar na Instalação Estudada.

#### Aplicação e Precisão dos Instrumentos de Medida

As variáveis medidas continuamente ou de forma periódica, são detalhadas a seguir:

#### Variáveis medidas periodicamente

A determinação destas variáveis de operação foi realizada de forma intermitente ao longo da realização de cada teste. As variáveis controladas foram:

- Viscosidade da barbotina ( $\mu$ ). Para sua determinação utilizou-se um viscosímetro rotacional.
- Densidade da barbotina ( $\rho$ ). Determinada por meio de uma proveta graduada, previamente tarada, pesando-se um dado volume de suspensão.

#### Variáveis medidas continuamente

Continuamente, foram medidas as seguintes variáveis de operação:

- Vazão volumétrica de barbotina alimentada (Q).

Selecionou-se para sua medição um medidor de vazão do tipo eletromagnético<sup>9-10</sup>. A escolha foi realizada levando-se em conta o campo de aplicação do equipamento e suas limitações, já que deveria-se medir vazões de fluidos com sólidos em suspensão bastante abrasivos, continuamente e em tempo real.

O equipamento foi instalado na condução vertical que transporta a barbotina, uma vez superados os filtros, no interior da câmara de secagem.

A precisão do equipamento é de  $\pm 1\%$  da velocidade de circulação da suspensão.

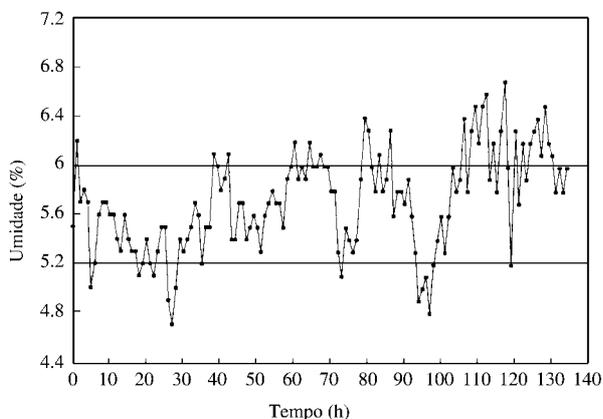


Figura 2. Evolução semanal da umidade do pó atomizado.

- Temperaturas de entrada na câmara dos gases de secagem e de saída dos gases úmidos.

Para a medida de ambas temperaturas utilizaram-se termopares tipo K, instalados nos pontos das conduções correspondentes, onde o perfil de temperaturas era o mais estável e simétrico possível.

A precisão dos termopares depende da faixa de temperaturas a medir:

- Para um intervalo de temperaturas a medir de 450 a 700 °C a precisão do termopar é de  $\pm 0,75$  °C.
- Para temperaturas de 90 a 110 °C a precisão é de  $\pm 3$  °C.
- Vazão mássica dos gases de secagem na entrada do secador ( $G_1$ ).

Para realizar a medida da vazão mássica utilizou-se um tubo de Pitot modificado tipo TORBAR. Este equipamento permite medir a altas temperaturas (500-700 °C), proporciona uma leitura contínua a partir da análise de todo perfil de pressões dinâmicas na condução e apresenta facilidades de instalação e manutenção.

O equipamento foi instalado na condução vertical de entrada dos gases do secador, em um ponto em que com-

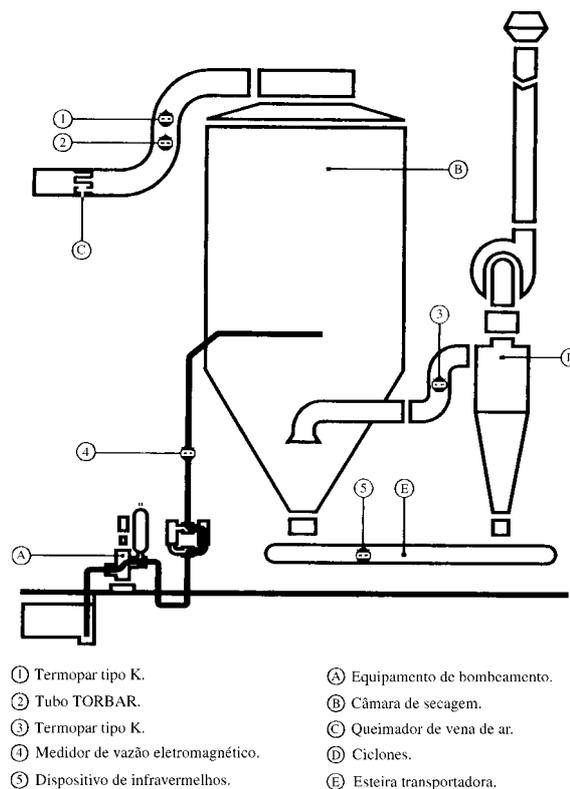


Figura 3. Localização dos instrumentos de medida: 1. Termopar tipo K; A. Equipamento de bombeamento; 2. Tubo TORBAR; B. Câmara de secagem; 3. Termopar tipo K; C. Queimador de vena de ar; 4. Medidor de vazão eletromagnético; D. Ciclones; 5. Dispositivo de infravermelhos; E. Esteira transportadora.

provou-se a estabilidade do fluxo de gases. Sua precisão é de  $\pm 1\%$  do volume de gases circulantes.

- Umidade do pó atomizado produzido ( $X_4$ ).

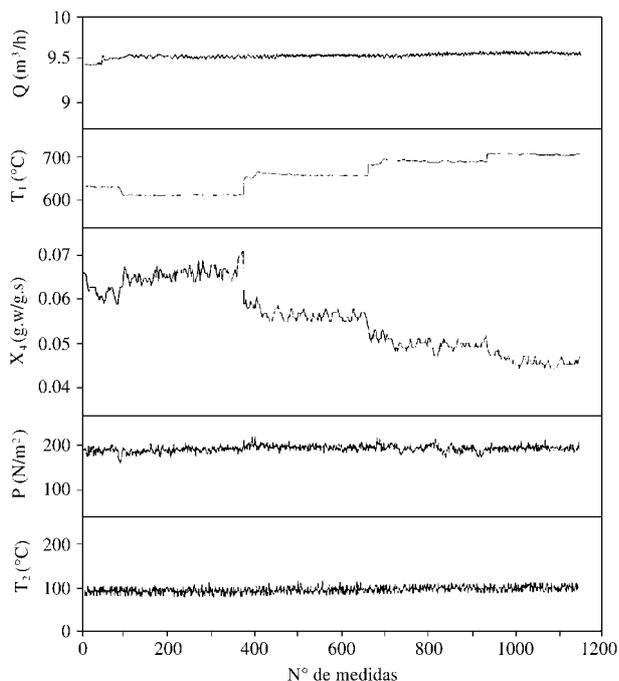
Para efetuar a seleção do equipamento de medida da umidade do sólido produzido, foi considerada uma série de características: a) medir a umidade de sólidos granulares, b) ser confiável para umidades compreendidas entre 3 e 7%, c) ser resistente ao pó do ambiente e às possíveis condensações de vapor de água, d) ser de fácil manuseio, e) ter nula ou baixa periculosidade, f) proporcionar uma leitura de umidade contínua e em tempo real.

Tendo em vista estas considerações optou-se por um dispositivo de medida de umidade de sólidos por infravermelho. Previamente a seleção de equipamentos efetuaram-se uma série de comprovações em laboratório, em colaboração com a empresa fabricante do mesmo. Os testes conduziram para a obtenção de um algoritmo e de filtros específicos para a medida da umidade de materiais cerâmicos<sup>11</sup>.

O equipamento foi instalado na esteira que transporta o pó atomizado desde a saída do secador por atomização até os silos de armazenamento e repouso.

Para seu correto funcionamento foi necessário instalar também, um coletor de pó atomizado de forma que fossem tomadas frações representativas do fluxo total de sólidos. Este dispositivo assegura a confiabilidade da tomada de amostras e fornece ao sensor de umidade amostras homogêneas de forma contínua.

A precisão do equipamento é de 0,1%.



**Figura 4.** Evolução das variáveis de processo medidas para uma vazão de barbotina de 9,5 m<sup>3</sup>/h.

Na Figura 3, mostra-se a instalação na planta de secagem dos diferentes dispositivos de medida instalados.

Os sinais elétricos procedentes dos sensores instalados, obtidos após a calibração do equipamento de medida, foram recolhidos em um sistema de aquisição de dados de controle digital, que permitiu realizar uma seqüência contínua e independente para cada uma das variáveis do processo comentadas.

#### *Relação entre a Temperatura e a Umidade dos Gases Quentes na Entrada da Câmara de Secagem e a Umidade do Pó Atomizado Produzido*

Para determinar a relação existente entre a temperatura dos gases de secagem e a umidade do pó atomizado produzido, realizaram-se quatro séries de testes para cada vazão de barbotina. Para cada vazão ensaiada, modificou-se a temperatura dos gases na entrada do atomizador, de forma que a umidade do pó atomizado obtido variasse dentro de limites previamente estabelecidos (4 a 7%) (Figura 4).

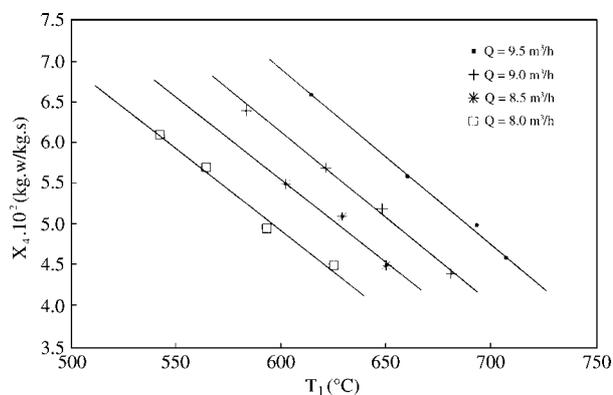
Verificou-se nos primeiros testes, que a umidade dos gases na entrada da câmara de secagem, permanecia invariável.

Na Figura 5 representa-se os resultados obtidos para cada uma das vazões de barbotina ensaiada e para cada temperatura média dos gases de entrada, mantendo praticamente constantes as variáveis restantes de operação.

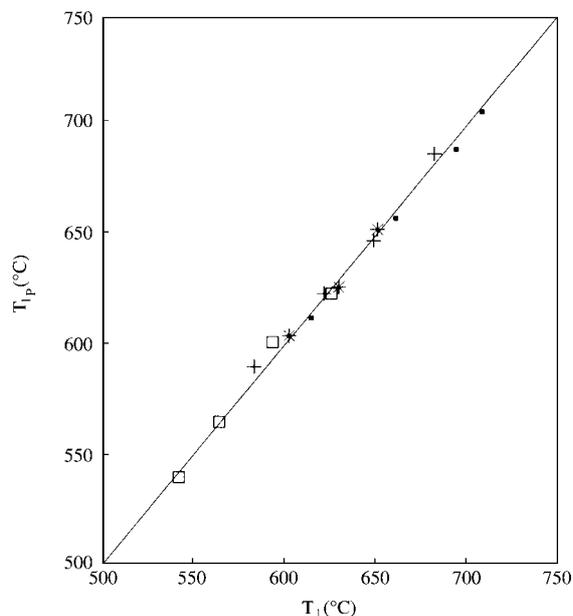
Pode-se observar uma relação linear entre a temperatura de entrada dos gases e a umidade média de saída do pó atomizado, na forma  $X_4 = mT_1 + b$ .

Como do ponto de vista prático, quando a umidade do pó granulado se afasta dos níveis predefinidos, é a temperatura de entrada dos gases de secagem a variável de atuação no controle do processo de atomização, ajustou-se uma equação de regressão múltipla na forma:

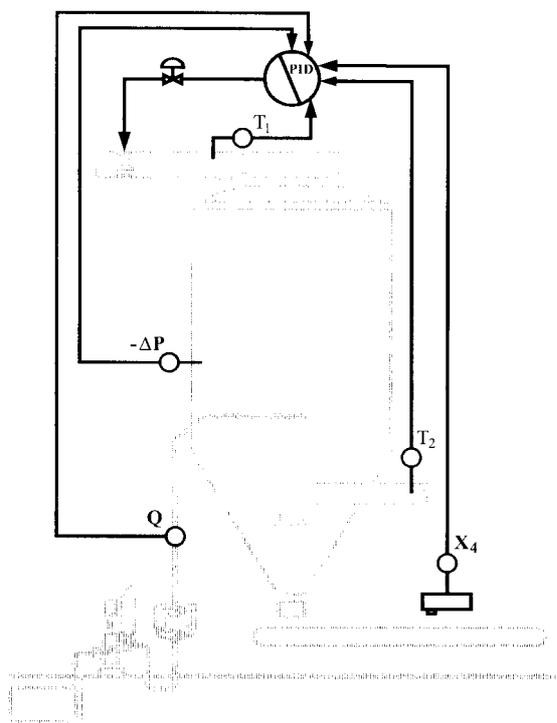
$$T_1 = 352,3 + 61,14Q - 4909X_4 \quad r^2 = 0,993$$



**Figura 5.** Relação entre a temperatura de entrada dos gases e a umidade do pó atomizado produzido, para distintas vazões de alimentação de barbotina.

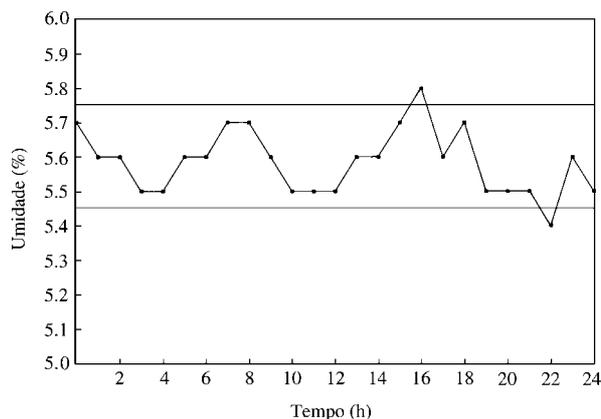


**Figura 6.** Relação entre a temperatura de entrada dos gases observada nos distintos ensaios e a prevista pela equação empírica de ajuste.

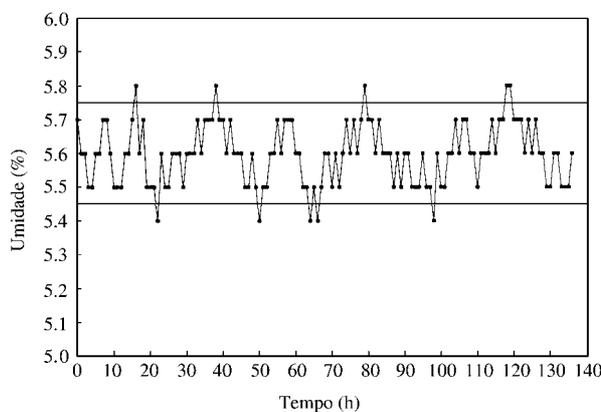


**Figura 7.** Esquema do controle interativo implantado industrialmente.

Esta equação permite prever qual deve ser a temperatura de entrada dos gases de secagem, para obter uma umidade desejada do pó atomizado, a partir de um volume de barbotina pré-fixado.



**Figura 8.** Evolução diária da umidade do pó atomizado após a implementação do controle interativo automático.



**Figura 9.** Evolução semanal da umidade do pó atomizado após a implementação do controle interativo automático.

Na Figura 6 representam-se os valores experimentais das temperaturas de entrada dos gases quentes frente às temperaturas determinadas pela equação ajustada. Pode-se observar que há uma boa concordância entre ambas temperaturas.

Como uma consequência, esta correlação constitui o primeiro passo para estabelecer um sistema de controle da operação de secagem por atomização, e possibilita a automatização total desta etapa de secagem no processo de fabricação de revestimentos cerâmicos.

Existem diversas alternativas para a implantação de um sistema de controle automático do processo de secagem por atomização. Uma delas é o controle representado na Figura 7, que vem sendo utilizado em escala industrial. Na realização deste controle interativo tem-se considerado as peculiaridades próprias do equipamento de secagem.

Após a implantação do controle interativo da umidade do pó atomizado, as flutuações produzidas industrialmente são apresentadas nas Figuras 8 e 9, apreciando-se uma substancial melhora na estabilidade do teor de umidade do pó.

## Conclusões

Do estudo realizado podem ser extraídas as seguintes conclusões:

- A flutuação nos valores das variáveis de operação, anterior a realização do trabalho, indicava uma grande variação na umidade do pó atomizado produzido, para o processo analisado. Este fato, isoladamente é capaz de originar problemas de estabilidade dimensional em revestimentos cerâmicos, reduzindo-se a qualidade dos mesmos.
- A temperatura dos gases de secagem na entrada do atomizador e a vazão de barbotina são as variáveis de operação mais adequadas para controlar a umidade do pó granulado obtido na etapa de atomização. Isto se deve à facilidade de medida e principalmente à simplicidade e precisão com que pode-se modificar estas variáveis.
- Para cada uma das vazões de barbotina ensaiadas, mantendo-se constantes as propriedades físicas da suspensão e as variáveis restantes de operação do equipamento de secagem, encontrou-se correlações empíricas do tipo linear entre a temperatura de entrada dos gases de secagem e a umidade do pó atomizado produzido.
- A maior homogeneidade obtida na umidade do pó atomizado garante a eliminação dos problemas de estabilidade dimensional associados a esta variável, melhorando a qualidade final dos revestimentos cerâmicos.

## Nomenclatura

$G_1$ : Vazão mássica de uma corrente gasosa (Kg/s)  
 $P$ : Pressão dinâmica da corrente gasosa ( $N/m^2$ )  
 $Q$ : Vazão volumétrica ( $m^3/h$ )  
 $r^2$ : Coeficiente de determinação  
 $T_1$ : Temperatura de entrada dos gases de secagem ( $^{\circ}C$ )  
 $T_2$ : Temperatura dos gases na saída do atomizador  
 $X_4$ : Umidade do pó atomizado (Kg água/ Kg sólido seco)  
 $-\Delta P$ : Depressão da câmara de secagem

$\rho$ : Densidade ( $Kg/m^3$ )

$\mu$ : Viscosidade (Dp)

p: Previsão da equação de ajuste

s: Sólido seco

w: Água

## Referências Bibliográficas

1. Amorós, J.L. y otros. Defectos de Fabricación de Pavimentos y Revestimientos Cerámicos. 1991.
2. Amorós Albaro J.L. Pastas cerámicas para pavimentos por monococción. Influencia de las variables de prensado sobre las propiedades de la pieza en crudo y sobre su comportamiento durante el prensado y la cocción. Tesis doctoral. Valencia, 1987.
3. Duffie J.A., Marshall JR. W.R. Factors Influencing the Properties of Spray-Dried Materials. Chem. Eng. Progress, Sept. 480-486, 1953.
4. Masters K. Spray Drying. 5rd edition McGraw Hill, 1987.
5. Oliver R, Sherrington P.J. Granulation Ed. Heuden and Son Limited, 1981.
6. Mujumdar A. Advances in drying. Vol.1, McGraw-Hill, 1980.
7. Norma UNE 67-098-85. Baldosas cerámicas. Determinación de las características dimensionales y el aspecto superficial. Primera modificación-92.
8. Amorós, J.L., Escardino A., Beltrán V., Enrique J.E. Control de la compactación durante el proceso de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos. Técnica Cerámica nº118, 1307-1314, 1983.
9. Considine D. Process Instruments and Controls Handbook. Third edition, McGraw Hill, 1985.
10. Raventos M. Caudalímetros. Automática e Instrumentación, nº199., 131-145. Febrero 1990.
11. Negre F, Jarque J.C., Mallol G., Saez M. Determinación en continuo y en tiempo real de la humedad de polvo cerámico secado por atomización. Técnica Cerámica nº 200, 34-42, 1992.