

Desenvolvimento de um Sistema de Esmaltação Insensível às Variações de Viscosidade do Esmalte

G. Mallo^{a*}, J. Boix^a, D. Llorens^a, Y. Bautista^a, M. D. Rodrigo^b, F. Font

^aInstituto de Tecnología Cerámica – ITC,
Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas – AICE,
Universitat Jaume I, Castellón, España

^bDepartamento de Ingeniería Química, Universitat Jaume I, Castellón, Espanha
*e-mail: gustavo@itc.uji.es

Resumo: Neste trabalho é apresentado um novo sistema de alimentação de esmalte para aplicação por campana insensível às variações de viscosidade do esmalte. Na primeira parte do trabalho são descritas as equações que explicam o comportamento de um sistema de alimentação de esmalte com a finalidade de conhecer as causas pelas quais os sistemas convencionais de alimentação são sensíveis às variações de viscosidade. Na segunda parte, baseando-se nos conceitos teóricos previamente analisados, foi construído um protótipo de alimentador de esmalte, objeto de patente¹, cuja forma construtiva o faz insensível às variações de viscosidade do esmalte. Para comprovar o bom funcionamento do protótipo desenvolvido foi testado o seu comportamento nas condições piloto e industriais.

Palavras-chave: viscosidade de esmalte, alimentador de esmalte, aplicação por campana.

1. Introdução

Um dos defeitos mais comuns no processo de fabricação de revestimentos cerâmicos, e que conduz a uma importante perda de qualidade do produto final é a falta de homogeneidade de cor entre peças de um mesmo modelo. Muitos estudos^{2,3,4,5} têm apontado que a origem deste defeito consiste, por um lado, na falta de estabilidade das propriedades físico-químicas dos materiais que intervêm no processo de decoração (suporte, engobes, esmaltes, tintas, etc.) e, por outro lado, no inadequado desenvolvimento das etapas que constituem o processo de fabricação: aplicação do engobe e do esmalte, decorações e queima, fundamentalmente.

Atualmente, os sistemas de aplicação de esmalte por campana são amplamente utilizados no setor de fabricação de revestimentos cerâmicos. Apesar de nos últimos anos o uso de sistemas de aplicação por cortina ou “fileira” ter aumentado consideravelmente, existe, entretanto um grande número de fabricantes que utilizam as campanas nas aplicações de engobes e esmaltes, dado que o seu custo é sensivelmente inferior ao das “fileiras”.

Grande parte dos defeitos associados a uma falta de homogeneidade de cor entre peças são devidos às mudanças do fluxo de descarga⁶ que experimentam os sistemas convencionais de alimentação de esmalte para aplicação por campana, como consequência das variações de viscosidade que sofre o esmalte contido nos depósitos de agitação e bombeamento. Estas variações de viscosidade, devido principalmente às mudanças de temperatura que experimenta o esmalte por efeito da agitação e das variações da temperatura ambiente, provocam uma variação importante da quantidade de esmalte aplicado sobre as peças cerâmicas, habitualmente denominada “gramatura”, a qual origina diferenças de cor no produto final. Como será demonstrado a seguir, as mudanças de viscosidade produzem variações no fluxo de descarga ao serem modificadas as perdas de energia mecânica que experimenta o esmalte que passa pelo alimentador.

A maior parte dos sistemas de alimentação de esmalte para aplicação por campana, utilizados atualmente, são constituídos por um tubo metálico que é alimentado pela parte superior através de um sistema de bombeamento, no qual o esmalte alcança uma altura constante graças a um sistema de transbordamento, podendo ser adaptadas diferentes formas construtivas dependendo do fabricante.

A parte inferior deste tubo é composta por um bocal tronco-cônico, onde, na extremidade inferior se situa uma válvula que permite regular de forma manual o fluxo de esmalte que cai sobre a campana e, desta forma, modificar a quantidade de esmalte aplicado sobre as peças. Imediatamente após esta válvula existe um tubo reto de condução, com o mesmo diâmetro que o diâmetro de saída da válvula, e ao final do mesmo, encontra-se uma boquilha de diâmetro constante através da qual a suspensão de esmalte flui sobre a campana.

O método de controle utilizado para corrigir as variações do fluxo de esmalte consiste em realizar medidas manuais e periódicas (cada meia hora, no melhor dos casos) da “gramatura” aplicada sobre uma placa metálica de controle que passa através da cortina de esmalte criada pela campana, de maneira que, quando a quantidade de esmalte medida se desvia dos valores padronizados pré-estipulados, o operário atua modificando a posição da válvula para aumentar ou diminuir o fluxo de esmalte aplicado. Esta forma operar, dada sua periodicidade, não garante a estabilidade da quantidade de esmalte aplicado, o qual origina defeitos associados a uma falta de homogeneidade da cor no produto final.

2. Objetivo

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um novo sistema de alimentação de esmalte para aplicação por campana que o diferenciasses dos convencionais, por ser insensível às mudanças de viscosidade do esmalte, permitindo, deste modo, assegurar uma constância da quantidade de esmalte aplicado e reduzir os defeitos associados às variações de viscosidade.

3. Fundamentos Teóricos: Balanços de Energia Mecânica

Para explicar o comportamento dos sistemas de alimentação de esmalte frente às variações da viscosidade é interessante utilizar os balanços de energia mecânica. A Equação 1 representa o balanço completo de energia mecânica em regime estacionário de um fluido incompressível e newtoniano⁷ entre a entrada (1) e a saída (2) de um

sistema de alimentação de esmalte genérico como o que é mostrado no esquema da Figura 1.

$$\frac{v_2^2}{2\alpha_2} - \frac{v_1^2}{2\alpha_1} + g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Delta F = W \quad (1)$$

sendo v_1 velocidade do fluido na seção de entrada ($i = 1$) ou de saída ($i = 2$) do sistema (m/s); Z_i altura da seção de entrada ($i = 1$) ou de saída ($i = 2$) do sistema (m); g aceleração da gravidade (m/s^2); p_i pressão do fluido na seção de entrada ($i = 1$) ou de saída ($i = 2$) do sistema (N/m^2); ρ densidade do líquido ou suspensão (kg/m^3); ΔF perda de energia mecânica do fluido por fricção ao longo de todo o sistema (J/kg); W trabalho realizado por forças externas (J/kg); e α_i parâmetro de correção que leva em conta as variações de velocidade no sentido radial permitindo usar a velocidade média do fluido nos cálculos ($\alpha = 1$, regime turbulento, e $\alpha = 0,5$, regime laminar).

A Equação 1 pode se transformar na Equação 2, levando em conta as simplificações descritas a seguir:

- a velocidade na entrada do sistema (v_1) é muito menor que a velocidade na saída do mesmo (v_2), já que a seção de entrada do sistema é muito maior que a seção de saída;
- a diferença ($z_2 - z_1$) é igual à altura da coluna de líquido no interior do sistema com sinal negativo ($-H$);
- a pressão na entrada (p_1) e na saída do sistema (p_2) é a mesma e igual à pressão atmosférica ao descarregar o líquido ao ambiente e também na parte superior da coluna de líquido que está em contato direto com a atmosfera; e
- o trabalho realizado por forças externas é nulo, já que o líquido flui exclusivamente por efeito da ação da gravidade.

$$\frac{v_2^2}{2\alpha_2} - gH + \Delta F = 0 \quad (2)$$

A Equação 2, correspondente ao balanço simplificado de energia mecânica de um dispositivo genérico de alimentação de esmalte, relaciona a velocidade de descarga do líquido com a altura do mesmo e a perda de energia mecânica experimentada por fricção.

Experimentalmente pode-se comprovar que, para um sistema com as características do estudado e para as propriedades reológicas dos esmaltes, o número de Reynolds é inferior a 2100 em qualquer ponto do sistema, o qual indica que o regime de circulação é completamente laminar. Tendo em conta que o parâmetro α_2 adota um valor de 0,5 em regime de circulação laminar, a velocidade de descarga do fluido pode ser calculada fazendo-se uso da equação correspondente ao balanço de energia mecânica, que pode ser expressada através da Equação 3.

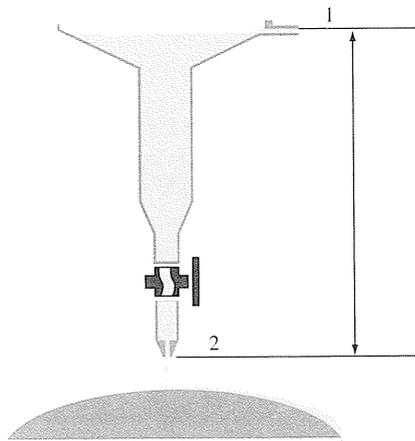


Figura 1. Esquema de um sistema de alimentação de esmalte genérico, ao qual se aplica um balanço de energia mecânica entre os pontos 1 e 2.

$$v_2 = \sqrt{gH - \Delta F} \quad (3)$$

Como pode comprovar-se, segundo a Equação 3, a velocidade de descarga do esmalte depende exclusivamente da altura da coluna de esmalte e da perda de energia mecânica experimentada por este em seu percurso ao longo do sistema de alimentação.

A Equação 4, conhecida como equação de Poiseuille, permite calcular as perdas por fricção experimentadas irreversivelmente por um fluido circulando em regime laminar, sendo μ a viscosidade do fluido, L a longitude da condução, v a velocidade do fluido, ρ a densidade do fluido e D o diâmetro da condução.

$$\Delta F = \frac{32\mu Lv}{\rho D^2} \quad (4)$$

Estas perdas de energia mecânica são ocasionadas por dois fatores distintos. Por um lado, o atrito ou fricção do fluido com as paredes internas do sistema pelo qual circula. E por outro lado, os atritos originados pelas mudanças de geometria do sistema, ou modificações da cortina de fluido, originadas por uma série de obstáculos nas conduções, tais como válvulas, dispositivos de medida, cotovelos ou outros acessórios. Dessa forma, a perda de energia mecânica pode ser calculada como sendo a soma das perdas por fricção dos tubos retos do sistema e das perdas de energia mecânica em todos os obstáculos do sistema, onde, para o seu cálculo utiliza-se a longitude equivalente do obstáculo. A longitude equivalente de um obstáculo é a longitude do tubo reto de condução de um diâmetro determinado, que originaria a mesma perda de carga que este obstáculo.

Pela análise da Equação 3 e da Equação 4 se deduz que se a perda de energia mecânica do sistema, ΔF , é tão baixa que pode ser considerada desprezível em relação ao produto da aceleração da gravidade pela altura, gH , a velocidade do esmalte na saída do alimentador, v_2 , depende unicamente da altura da coluna, H , já que a Equação 3 seria descrita como:

$$v_2 = \sqrt{gH} \quad (5)$$

Por outro lado, de acordo com a Equação 5, a quantidade de esmalte que seria aplicada utilizando um sistema de alimentação desenhado de maneira tal que a perda de carga, ΔF , experimentada pelo esmalte fosse muito baixa, dependeria exclusivamente da altura do transbordamento, H , sendo independente da viscosidade do esmalte.

4. Descrição do Protótipo Desenvolvido

Baseando-se nos fundamentos físicos expostos no item 3 foi desenvolvido um protótipo de alimentador de esmalte cuja forma construtiva minimiza as variações da velocidade de descarga devido às mudanças de viscosidade do esmalte.

A principal restrição que deveria cumprir o desenho do protótipo foi a de não conter a válvula existente na maior parte dos sistemas convencionais, ou qualquer outro obstáculo que provocasse perdas elevadas de energia mecânica e, como conseqüência, variações importantes de fluxo de descarga com a viscosidade. Dessa forma, a princípio, se supôs que a forma construtiva com menores perdas de energia mecânica associada seria aquela na qual a passagem do esmalte unicamente estivesse restringida ao orifício da boquilha que gera a cortina do fluido descarregada sobre a campana. Com base nesta hipótese foi construído o protótipo cujo esquema pode ser observado na Figura 2. Este protótipo consistia num tubo metálico de 10 cm de diâmetro composto na parte superior por um sistema de transbordamento que permitia manter a altura do esmalte em um nível constante de 50 cm de altura. Na parte inferior do tubo de alimentação havia um sistema injetor tronco-cônico no centro do qual se situava uma boquilha de aço inox de bordas arredondadas.

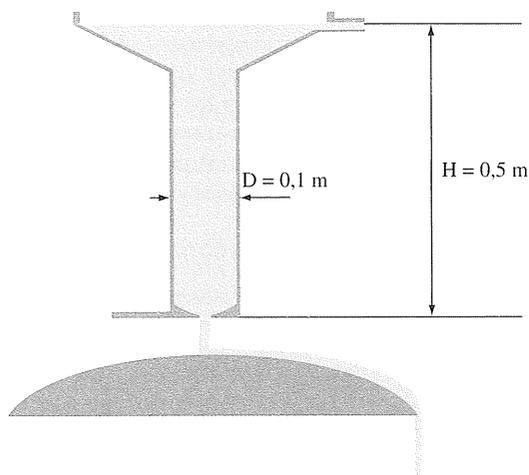


Figura 2. Esquema do protótipo de alimentador desenvolvido.

Para não perder a versatilidade dos sistemas que incluem uma válvula como elemento regulador de fluxo, se decidiu adicionar ao protótipo um sistema de mudança rápida de boquilhas que são mostradas com detalhes na Figura 3. Este dispositivo possui um mecanismo que funciona como uma espécie de revólver que permite, mediante o acionamento de uma saída lateral, deslocar a boquilha de trabalho e trocar instantaneamente por outra de diâmetro diferente, situada em um porta-boquilha secundário. Com este mecanismo é possível modificar a quantidade de esmalte alimentada na campana de uma forma rápida e sem interromper a alimentação de esmalte na mesma, o qual produz uma grande vantagem com respeito aos atuais sistemas de mudança de boquilhas.

Apesar destas vantagens, a utilização de boquilhas com diâmetros fixos, sem a possibilidade de dispor de uma classe contínua de diâmetros de boquilha, não permite obter uma variação contínua da quantidade de esmalte aplicado. Todavia, a possibilidade de modificar a velocidade da linha de esmaltação, permite um ajuste fino do sistema com o qual se consegue, em todo o momento, as quantidades de esmalte desejadas.

5. Ensaio na Planta Piloto

Antes de ensaiar o protótipo nas condições industriais, foi realizada uma série de experimentos na linha de esmaltação da planta piloto do Instituto de Tecnologia Cerâmica (ITC), nos quais foi comparado o seu comportamento com o de um sistema convencional de alimentação de esmalte composto por uma válvula de diafragma ou válvulas Saunders. Com esta finalidade, os dois sistemas de alimentação foram dispostos em série sobre a linha de esmaltação e foram alimentados com o esmalte contido em um único tanque de agitação fazendo uso de um mesmo sistema de bombeamento.

5.1. Descrição dos experimentos

Os ensaios realizados consistiram em determinar como se modificava o fluxo de descarga de ambos os sistemas de alimentação à medida que se produziam variações na viscosidade do esmalte. Inicialmente, as variações de viscosidade foram ocasionadas pelo efeito do aumento da temperatura que experimentava o esmalte como consequência da agitação contínua à qual era submetido. Uma vez alcançado um estado praticamente estacionário, no qual às mudanças de viscosidade eram muito lentas, continuou-se modificando o comportamento reológico do esmalte através do uso de aditivos. A determinação da viscosidade foi realizada medindo-se o tempo de queda em copo Ford número 4, que é o método de medida habitualmente utilizado para realizar o controle da viscosidade de esmaltes.

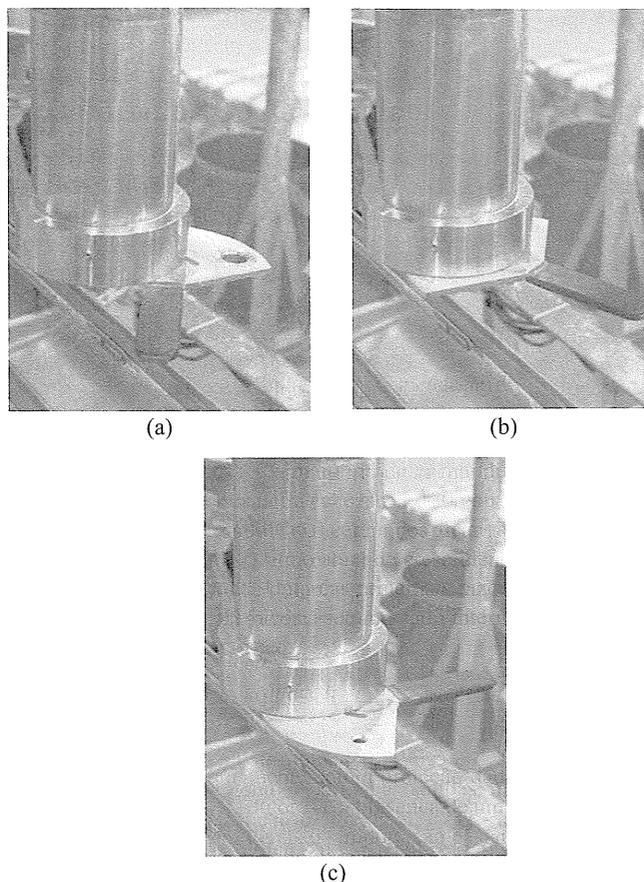


Figura 3. Detalhe do sistema de mudança rápida de boquilhas em suas três posições: a) boquilha 1; b) fechado; e c) boquilha 2.

Para facilitar a realização dos ensaios não foi instalada a campana de esmaltação debaixo de nenhum dos dois sistemas de alimentação. Por este motivo, também não se mediu diretamente a quantidade de esmalte que seria aplicada sobre uma peça de um determinado formato, mas sim o fluxo mássico de esmalte descarregado pelo alimentador. Esta medida foi realizada utilizando uma cubeta de plástico de dimensões conhecidas que, circulando sobre a linha de transporte, passa por debaixo da cortina de descarga gerada pelo alimentador, recolhendo assim uma certa quantidade de esmalte. Conhecendo a velocidade da linha de transporte foi determinado o tempo de passagem da cubeta por debaixo da cortina de esmalte e o fluxo mássico pode ser calculado como a relação entre a quantidade de esmalte recolhida e o tempo de passagem da cubeta. Posteriormente, a partir da densidade do esmalte, medida com um picnômetro, foi calculado também o fluxo volumétrico de descarga.

Com o objetivo de observar o comportamento dos dois sistemas em todo o seu range de trabalho, para cada uma das viscosidades ensaiadas determinou-se o fluxo de descarga do alimentador convencional em três posições diferentes da válvula Saunders (100, 75 e 50% de abertura) e uma boquilha de 19 mm, e o fluxo de descarga do protótipo para três diâmetros diferentes de boquilha (12, 11 e 10 mm).

Para realizar os ensaios foi utilizada inicialmente uma suspensão de esmalte com viscosidade de aproximadamente 90 s para a qual foi medida o fluxo de descarga em ambos os sistemas utilizando uma boquilha de 12 mm e com a válvula Saunders completamente aberta. Na sequência, e antes de que se modificasse a viscosidade da suspensão, foram realizadas duas medidas à mais em cada sistema utilizando as boquilhas de 11 mm e de 10 mm no protótipo, e fechando a válvula até 75% e 50% de abertura no sistema convencional. Procedendo desta

forma, foram obtidos todos os pontos de fluxo correspondentes a uma viscosidade de 90 s. Uma vez realizada a primeira série de fluxos, desejou-se que a viscosidade fosse diminuindo progressivamente por efeito do aumento da temperatura. Alcançando um valor de viscosidade em torno de 85 s, novamente foi realizada outra série de fluxos, tanto para o protótipo, como para o alimentador, obtendo-se os pontos correspondentes à viscosidade de 85 s. O ensaio foi completado realizando-se medidas de fluxos em outras 4 viscosidades diferentes do esmalte.

5.2. Resultados obtidos na planta piloto

Com fins práticos, e para facilitar a interpretação dos resultados, foi obtida a partir do fluxo de descarga dos sistemas de alimentação estudados, a "gramatura" que seria aplicada sobre uma peça cerâmica de tamanho 33 x 33 cm, esmaltada com estes sistemas. Experimentalmente não foram medidas as quantidades de esmalte aplicadas, estas podem ser calculadas teoricamente após comprovar experimentalmente que são diretamente proporcionais ao fluxo mássico descarregado pelo alimentador.

Na Figura 4 é representada, para os dois sistemas estudados, a variação da quantidade de esmalte aplicado sobre uma peça de 33 x 33 cm em função da viscosidade. Observa-se que, para os dois sistemas, a quantidade de esmalte aplicado diminui de forma praticamente linear ao aumentar sua viscosidade. Entretanto, de acordo com a hipótese inicial, a variação da "gramatura" em relação à viscosidade é muito menor no protótipo do que no sistema convencional, independentemente do diâmetro da boquilha utilizada e do percentual de abertura da válvula.

A inclinação das linhas de ajuste ilustradas na Figura 4 quantifica a variação da quantidade de esmalte aplicado ao alterar a viscosidade do esmalte. Portanto, estas inclinações indicam a sensibilidade dos sistemas estudados à variação da viscosidade. Na Figura 5 é apresentada a inclinação de cada uma destas retas (Δ quantidade / Δ viscosidade) em função da quantidade de esmalte que seria aplicada, em cada situação, utilizando a menor viscosidade de todas as ensaiadas (28 s). Observa-se que para qualquer valor da "gramatura" a variação da quantidade de esmalte em relação à modificação da viscosidade é sempre maior para o sistema convencional do que para o protótipo. Porém, esta diferença é mais acentuada quanto maior a quantidade de esmalte aplicado.

Na Tabela 1 é verificada qual seria a variação da quantidade de esmalte aplicado ao provocar uma mudança na viscosidade do esmalte de 5 s. Por exemplo, quando se trabalha com um valor nominal de

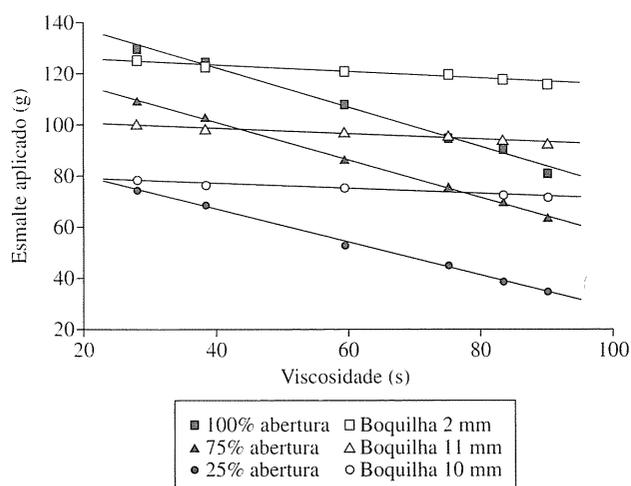


Figura 4. Evolução da quantidade de esmalte aplicado sobre peças de dimensões 33 x 33 cm em função da viscosidade do esmalte para o protótipo desenvolvido (linha verde e pontos ocios) e um sistema convencional de alimentação de esmalte (linha vermelha e pontos sólidos).

esmalte aplicado de 75 g, no sistema convencional uma mudança de 5 s na viscosidade provocaria uma mudança de 3,2 g na quantidade de esmalte aplicado sobre a peça, enquanto que no novo sistema esta variação seria somente de 0,5 g. Com base nos resultados, pode-se dizer que o novo protótipo é aproximadamente 5 vezes menos sensível às mudanças de viscosidade que os sistemas convencionais de alimentação de esmalte que utilizam uma válvula de Saunders como elemento regulador de fluxo.

5.3. Comprovação da validade dos balanços de energia e das hipóteses levantadas para o estudo do protótipo desenvolvido

Para comprovar a validade da Equação 5, foram realizados experimentos nos quais foi medida a velocidade de descarga do esmalte, v_2 , para diferentes alturas do mesmo no tubo de descarga, H. Na Figura 6

Tabela 1. Variação da quantidade de esmalte aplicada sobre uma peça de dimensões 33 x 33 cm como consequência de uma variação da viscosidade do esmalte de 5 s.

Quantidade nominal de esmalte aplicado (g/peça)	Variação da quantidade de esmalte aplicada (g/peça)	
	Sistema convencional	Protótipo desenvolvido
75	3,2	0,5
100	3,6	0,6
125	3,9	0,7

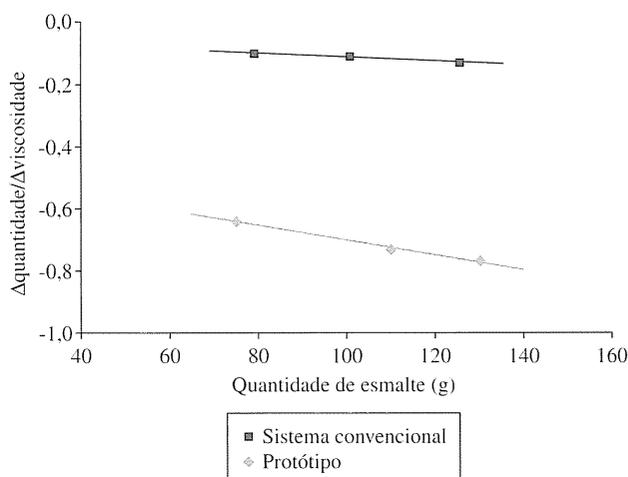


Figura 5. Variação da sensibilidade às mudanças de viscosidade dos alimentadores estudados com a quantidade de esmalte aplicado.

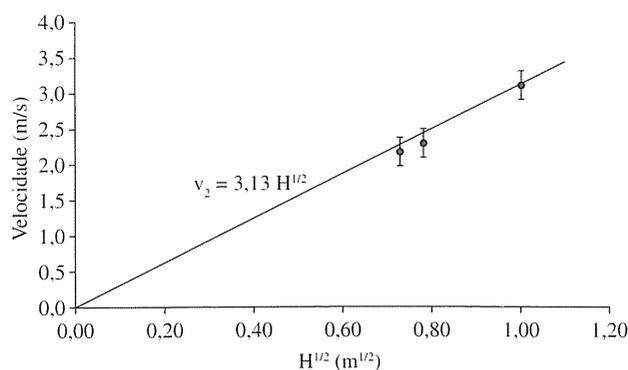


Figura 6. Dependência entre a velocidade de descarga do esmalte e a altura do mesmo. Ajuste dos resultados experimentais à equação 5.

encontra-se o valor médio da velocidade do esmalte em função de $H^{1/2}$, junto com o erro experimental cometido na medida de velocidade de descarga. Nota-se que os resultados experimentais se ajustam muito bem a uma reta que passa pela origem, cuja inclinação é igual a $g^{1/2}$ ($3,13 \text{ m}^{1/2} / \text{s}$). Estes resultados comprovam a validade da Equação 5 para o estudo do comportamento do sistema de alimentação proposto, bem como, as hipóteses levantadas para sua obtenção.

6. Ensaios e Condições Industriais

Após comprovar na planta piloto do ITC que o sistema desenvolvido apresentava importantes vantagens com relação aos alimentadores de esmalte convencionais, realizou-se uma série de ensaios em uma linha de esmaltação industrial. Para isso foi instalado o protótipo sobre a campana utilizada para realizar as aplicações de esmalte base nesta linha de esmaltação (Figura 7), e em seguida foram monitoradas várias peças com a finalidade de estudar o comportamento do sistema. Para fins comparativos, também foram esmaltadas peças utilizando um sistema convencional de alimentação de esmalte composto por uma válvula Saunders, sendo alimentados ambos os sistemas pelo mesmo esmalte.

O monitoramento realizado consistiu em medir de forma pontual a viscosidade do esmalte em segundos de queda em copo Ford, a densidade com um picnômetro e a quantidade de esmalte aplicado. Esta última medida foi realizada através do uso de uma placa metálica empregada pelos operários da linha para realizar o controle da etapa de esmaltação.

Nas Figuras 8 e 9 é apresentada com quadrados e sobre o eixo direito, a evolução da viscosidade do esmalte aplicado nos dois sistemas estudados (o convencional na Figura 8 e o protótipo na Figura 9) durante 7 e 6 horas de produção respectivamente. Nas mesmas figuras, com losangos e sobre o eixo esquerdo, apresenta-se a evolução da quantidade de esmalte depositado sobre uma placa de controle no mesmo período de tempo. A linha horizontal contínua representa o valor nominal da quantidade de esmalte que deve ser aplicada e as linhas horizontais descontinuas (pontilhadas) correspondem aos limites de controle fora dos quais podem aparecer defeitos no produto final.

Como pode ser constatado na Figura 8, ao iniciar a produção no sistema convencional, os valores da quantidade de esmalte aplicado se encontravam dentro dos limites de controle, mas, à medida que a viscosidade dos esmaltes foi diminuindo, a quantidade de esmalte aplicado aumentou, até situar-se, em torno das 11:30 horas, fora do limite de controle superior. Neste momento, como consequência de uma redução manual da abertura da válvula Saunders, por parte do operário da linha, a quantidade de esmalte aplicado voltou a ficar dentro dos limites de controle. Todavia, dado que a redução da viscosidade, associada a um

aumento da temperatura ambiente durante as horas centrais do dia, não estacionou, a quantidade de esmalte aplicada tornou rapidamente a sair das especificações às 13:00 horas, o que implicou numa nova correção manual do fluxo de descarga. Finalmente, diante da contínua diminuição da viscosidade, a quantidade de esmalte ultrapassou novamente o limite de controle após as 14:00 horas.

Observa-se que para o protótipo (Figura 9), apesar de produzir uma variação da viscosidade de aproximadamente 20 s (similar à dos experimentos com o sistema convencional), as quantidades de esmalte aplicadas se encontram dentro dos limites de controle estabelecidos (linhas horizontais pontilhadas), sem haver nenhum tipo de manipulação (mudança de boquilha, mudança da velocidade da linha, etc.) sobre o sistema de esmaltação e sem observar nenhum tipo de defeito no produto final atribuído à utilização do protótipo.

Os resultados obtidos nos testes industriais revelam as vantagens do alimentador desenvolvido em relação aos sistemas tradicionais. Com efeito, para uma variação da viscosidade do esmalte de quase 20 s, o protótipo desenhado foi capaz de manter a quantidade de esmalte aplicada dentro dos limites de controle estabelecidos sem ter que realizar nenhuma atuação sobre o sistema. Em troca, com o sistema convencional, para a mesma variação da viscosidade (20 s) a quantidade de esmalte aplicado superou os limites de controle em três ocasiões, sendo necessário regular o fluxo de saída para tentar manter a quantidade de esmalte aplicada dentro dos limites de controle.

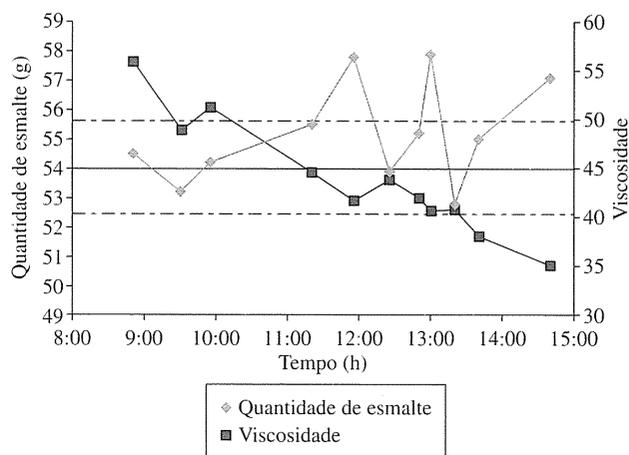


Figura 8. Evolução da viscosidade com o tempo e da quantidade de esmalte aplicado utilizando um sistema convencional de alimentação, em condições industriais.

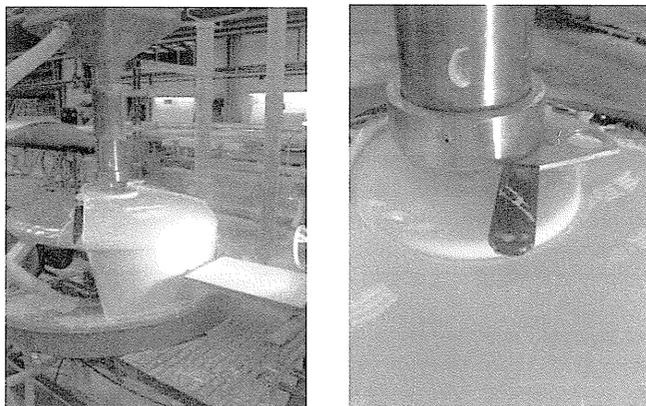


Figura 7. Protótipo instalado na linha de esmaltação industrial (esquerda) e detalhe do sistema de mudança rápida de boquilha (direita).

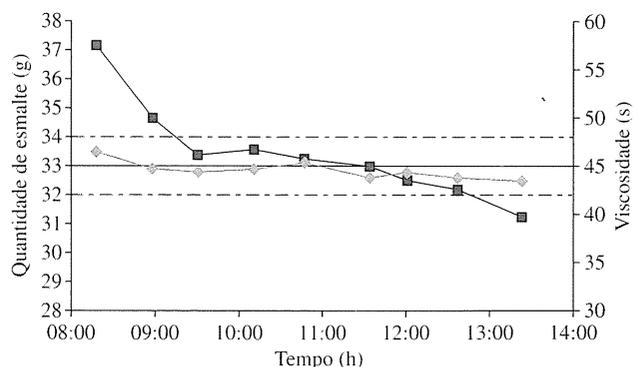


Figura 9. Evolução da viscosidade com o tempo e da quantidade de esmalte aplicado utilizando o sistema de alimentação desenvolvido neste trabalho, em condições industriais.

7. Conclusões

- Foram aplicados os balanços de energia mecânica a um sistema de alimentação de esmalte, sendo comprovado que a variação da quantidade de esmalte aplicado ou “gramatura”, devido a modificações dificilmente controladas de sua viscosidade, está diretamente relacionada com as perdas de carga do sistema de alimentação (presença de válvulas, estreitamentos, etc.).
- Foi comprovada a validade dos balanços de energia mecânica para estudar o comportamento dos sistemas de alimentação de esmalte utilizados nas aplicações por campana.
- Foi desenhado e construído um novo sistema de alimentação de esmalte no qual se minimizam as perdas de energia mecânica experimentadas pelo esmalte, com o objetivo de reduzir sua sensibilidade frente às mudanças de viscosidade da suspensão. Os testes na planta piloto revelam que o sistema desenvolvido é 5 vezes menos sensível às variações de viscosidade que os sistemas utilizados atualmente.
- Foi comprovado que o protótipo desenhado funciona corretamente em condições industriais mantendo a quantidade de esmalte aplicado dentro dos limites de controle estabelecidos sem necessidade de realizar nenhum tipo de atuação sobre o sistema e mantendo a qualidade do produto final.

Agradecimentos

Os testes industriais realizados no presente trabalho foram desenvolvidos nas instalações de produção da empresa SALONI, S.A., a qual os autores agradecem a colaboração prestada durante este estudo.

Referências

1. Mallol, G.; Llorens, D.; Boix, J.; Font, F. **Dispositivo de alimentación de líquidos o suspensiones**. Patente P2007 02537 de 27/09/07.
2. Peñalver, J. et al. Estudio de las variables de control de la aplicación serigráfica y su influencia sobre la dispersión de tonalidades en baldosas. **Cerámica Información**, v. 229, p. 37-43, 1997.
3. Ferrando, F. et al. Desarrollo de color y aparición de tonalidades en piezas de pavimento extruido esmaltado, tipo sústico. **Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.**, v. 38, n. 6, p. 471-476, 1998.
4. Sharma, K. D. Génesis de la variación de tonalidades en las baldosas cerámicas y algunos remedios que se recomiendan. En: Qualicer. Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico, 1, Castellón, 1990. **Anais...** Castellón: Cámara Oficial de Industria Comercio y Navegación, 1990.
5. Peris Fajamés, G. et al. Revisión de estudios y referencias sobre los parámetros que pueden producir variabilidad tonal y defectos superficiales en la producción de azulejos y pavimentos cerámicos. En: Qualicer. Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico, 7, Castellón. **Anais...** Castellón: Cámara oficial de Comercio, Industria y Navegación, 2002, Pos 27-Pos 34.
6. Bonet, G. et al. Estudio de factores industriales que influyen en la aparición de tonalidades en baldosas cerámicas. **Cerámica información**, v. 240, p. 29-34, 1998.
7. Costa Novella, E. et al. **Ingeniería Química**. Brasília: Ed. Alhambra Universidad, 1985. (v. 3. Flujo de de fluidos).