

# MEJORA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA CANTIDAD DE ESMALTE EN SISTEMAS DE APLICACIÓN A CAMPANA

**J. Boix, M. Aguilella, D. Llorens, V. Cantavella, J. Milián**

Instituto de Tecnología Cerámica (ITC).

Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE),  
Universitat Jaume I. Castellón. España.

Email: [jboix@itc.uji.es](mailto:jboix@itc.uji.es)

## RESUMEN

Los sistemas de aplicación de esmalte a campana siempre se han caracterizado por proporcionar una deposición de esmalte no homogénea sobre la superficie de las baldosas debido a la forma circular de la cortina generada. Esta característica, tanto más acentuada cuanto más próximos son el diámetro de la campana y el ancho de la pieza, conduce, en ocasiones, a la aparición de defectos asociados a variaciones de tonalidad en el producto final.

En el presente trabajo se ha optimizado la forma constructiva de un sistema de esmaltado a campana, objeto de patente [1], con el fin de minimizar las diferencias en la cantidad de esmalte aplicada entre los laterales y el centro de las piezas cerámicas. El trabajo se completa con unas pruebas a nivel piloto que validan el correcto funcionamiento del dispositivo.

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los defectos más comunes en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas y que conduce a una importante pérdida de calidad del producto final es la falta de homogeneidad de color entre piezas de un mismo modelo y en el seno de una misma pieza. Numerosos estudios [2][3][4][5] han puesto de manifiesto que el origen de este defecto se encuentra, por una parte, en la falta de estabilidad en las propiedades físico-químicas de los materiales que intervienen en el proceso de decoración (soporte, engobes, esmaltes, tintas, etc.) y, por otro parte, en el inadecuado desarrollo de las etapas que constituyen el proceso de fabricación: aplicación del engobe y del esmalte, decoraciones y cocción, fundamentalmente.

En la actualidad, los sistemas de aplicación de esmalte por campana son ampliamente utilizados en el sector de fabricación de baldosas cerámicas. Pese a su sencillez y efectividad, la aplicación de esmaltes a campana presenta una serie de inconvenientes que obligan a realizar un control continuo y exhaustivo de la operación de esmaltado para garantizar la calidad del producto final. Por un lado, la sensibilidad a los cambios de viscosidad del esmalte, que puede llegar a originar variaciones importantes en la cantidad de esmalte depositada sobre las baldosas, habitualmente denominada "gramaje". Y por otro lado, las diferencias en la cantidad de esmalte depositado entre los bordes y la parte central de las piezas de gran formato, que se originan como consecuencia de la forma circular de la cortina de esmalte [6].

Estos inconvenientes han producido que, en los últimos años, los fabricantes de baldosas hayan mostrado una buena aceptación por los sistemas de cortina lineal, también conocidos como "velas" o "fileras". Estos sistemas solventan los problemas asociados a las diferencias de la cantidad de esmalte aplicada sobre una misma pieza y, en sus versiones más avanzadas, pueden mantener constante el caudal de esmalte aplicado independientemente de las variaciones de viscosidad del esmalte. A pesar de los avances aportados por los sistemas de deposición lineal, el menor coste y complejidad de la campana hacen que ésta siga siendo el sistema mayoritariamente utilizado en la operación de aplicación de engobes y esmaltes cerámicos.

Existen varios trabajos que proponen soluciones para abordar los problemas relacionados con la sensibilidad del caudal de descarga frente a las variaciones de viscosidad del esmalte. Entre ellos destacan, por un lado, un sistema para la medida en continuo del caudal de esmalte alimentado a la campana [7], que permite regular automáticamente la válvula de control de flujo en el alimentador para asegurar un caudal de descarga constante. Y por otro lado, un sistema de alimentación de esmalte mejorado [8][9] en el cual, gracias a un diseño constructivo optimizado, se minimizan las pérdidas de carga que experimenta el esmalte al fluir a través del mismo, siendo el caudal de descarga insensible a las variaciones de viscosidad. Pese a estos avances, no se ha abordado hasta el momento ningún estudio sistemático que permita minimizar o eliminar los problemas asociados a

las diferencias en la cantidad de esmalte aplicada entre los bordes y el centro de las piezas.

El método de control habitualmente utilizado para corregir las diferencias de "gramaje" en el seno de una pieza, consiste en colocar sobre los bordes y la parte central de uno de los soportes a decorar unas placas metálicas (generalmente una en la parte central y dos en cada lateral) sobre las que se recoge el esmalte depositado en las diferentes zonas de la baldosa. Comparando la cantidad de esmalte recogido sobre las placas metálicas es posible saber si es necesario realizar algún tipo de actuación sobre el nivel de la campana, para tratar de corregir las diferencias de "gramaje" observadas.

En la mayoría de los casos, frente a la aparición de problemas relacionados con la distribución de esmalte sobre las piezas, se actúa inclinando ligeramente la campana en el sentido de la caída de la cortina de esmalte, con vistas a favorecer el flujo de esmalte por la parte central de la misma e incrementar la cantidad relativa de esmalte que es aplicada en el centro de las piezas. En otras ocasiones, algunos fabricantes proceden aumentando la distancia entre el borde de la campana y la superficie de las piezas.

En cualquier caso, estas acciones de control, aunque mejoran sensiblemente la distribución de esmalte sobre las baldosas decoradas, siguen restringiendo el uso de las campanas para tamaños de pieza mucho más pequeños que el diámetro de la propia campana. Además, aunque para unas determinadas condiciones reológicas del esmalte, la acción de control puede generar una buena homogeneidad de la capa de esmalte aplicada, si se produce un cambio en las propiedades del esmalte, no puede garantizarse que la distribución del mismo siga siendo homogénea. En efecto, si frente a una distribución heterogénea de la cantidad de esmalte aplicado, se inclina la campana hasta igualar la distribución, ante un posible incremento de la viscosidad, al disminuir el caudal de esmalte depositado, cambiará de nuevo el perfil de flujo de esmalte sobre la campana y se perderá la homogeneidad alcanzada con la maniobra.

## 2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo fue diseñar y validar una nueva forma constructiva para el borde de descarga de un sistema de esmaltado a campana que permitiera garantizar una distribución homogénea de esmalte en toda la anchura de las piezas independientemente de los cambios que puedan producirse en las propiedades reológicas del esmalte.

### 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 3.1. Análisis geométrico de la deposición de una cortina circular de esmalte sobre la superficie de baldosas cerámicas

Desde un punto de vista geométrico, las campanas consisten en un cuerpo de revolución obtenido a partir de una curva relativamente compleja. La planta de la campana presenta una sección circular, de tal manera que, la suspensión de esmalte, tras ser alimentada en la parte central de la misma, se extiende de forma radial sobre su superficie hasta que, una vez alcanzado el borde, se desprende generando una cortina también circular. Habitualmente, en el centro de la campana se dispone de un sistema de rebose que permite dirigir el flujo de esmalte hacia un lateral de la campana con el fin de crear una cortina semicircular como la que se muestra en la figura 1.

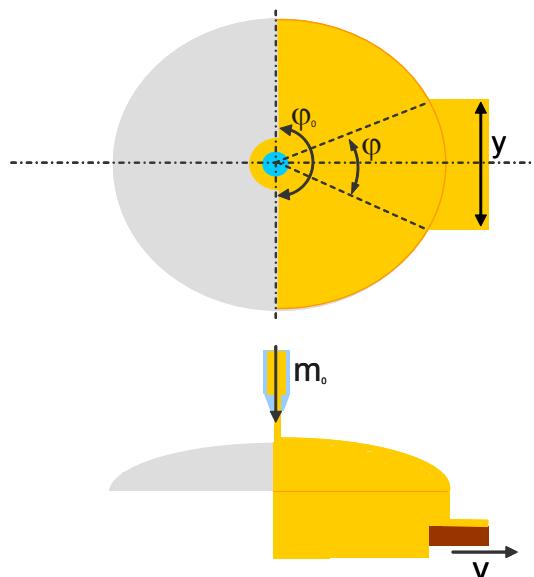


Figura 1. Cortina de esmalte semicircular generada con una campana convencional (izquierda) y esquema de funcionamiento (derecha).

Para obtener las ecuaciones que relacionan los parámetros geométricos característicos de una campana con la cantidad de esmalte aplicada en las diferentes zonas de la baldosa, se considera una campana ideal como la representada en la figura 1. Antes de determinar la cantidad de esmalte aplicado sobre la superficie de una baldosa es necesario definir el caudal másico de esmalte por unidad de ángulo,  $m_\varphi$  (kg/s rad), el cual viene dado por la ecuación 1

$$m_\varphi = \frac{m_o}{\varphi_0}$$

Ecuación 1.

donde  $m_o$  es el caudal másico de esmalte descargado por el alimentador (kg/s) y  $\phi_o$  el ángulo cubierto por el esmalte al extenderse sobre la campana (rad). En el caso de la campana representada en la figura 1, al tratarse de una cortina semicircular, dicho ángulo adquiere un valor de 180º.

Si se considera que la campana está perfectamente equilibrada, de manera que el flujo de esmalte alimentado en el centro del rebose se distribuye homogéneamente de forma radial generando un cortina semicircular, y se desprecian los efectos de borde producidos en el rebose, puede decirse que  $m_\phi$  es constante e independiente de  $\phi$ . A partir de  $m_\phi$  es posible calcular la cantidad de esmalte depositado sobre la pieza, si se conoce su tamaño y la velocidad de avance de la misma. En efecto, el caudal másico medio de esmalte aplicado por unidad transversal de pieza,  $\bar{m}_p$  (kg/(s m)), para una baldosa (o fracción de baldosa) de ancho "y" (m), viene dado por la ecuación 2.

$$\bar{m}_p = \frac{m_\phi \phi}{y}$$

*Ecuación 2.*

en la cual  $\phi$  es el ángulo de apertura de la cortina de esmalte que se deposita sobre la baldosa, que puede calcularse con la ecuación 3

$$\phi = 2 \arcsen \frac{y}{r}$$

*Ecuación 3.*

siendo  $r$  (m) el radio de la campana. De este modo, para una velocidad de avance  $v_p$  (m/s) y una longitud de la pieza "x" (m), la cantidad de esmalte depositado sobre la misma,  $G$  (kg), sería la obtenida a partir de la ecuación 4.

$$G = \frac{\bar{m}_p}{v_p} yx$$

*Ecuación 4.*

Y finalmente, combinando la ecuación 1, la ecuación 2 y la ecuación 4 se obtiene la ecuación 5, la cual permite calcular la cantidad de esmalte depositada sobre una baldosa, cuando se alimenta un caudal másico  $m_o$  a la campana.

$$G = \frac{m_o}{v_p} \frac{\phi}{\phi_o} x$$

*Ecuación 5.*

Según esta ecuación, el "gramaje" aplicado sobre un soporte depende, únicamente, de la velocidad de avance de las piezas, de su tamaño y de la relación

angular entre el ángulo total de abertura de la cortina de esmalte y el ángulo de cortina depositada sobre la baldosa.

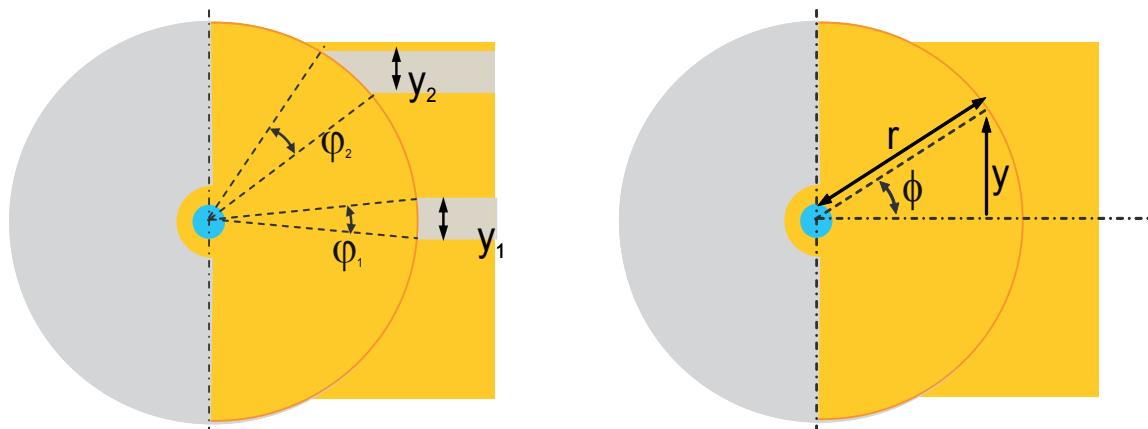


Figura 2. Ángulos de cortina de esmalte correspondientes a diferentes zonas de una pieza esmaltada (izquierda) y parámetros geométricos característicos del borde de descarga (derecha) en una campana circular

En el esquema de la figura 2 se ha representado el paso de una baldosa por debajo de una campana de esmalte, sombreando dos bandas longitudinales de la misma anchura sobre la superficie de la pieza. El caudal másico de esmalte depositado por un elemento de la cortina de esmalte,  $m_{pi}$ , de ángulo  $\varphi_i$  puede calcularse como:

$$m_{pi} = m_\varphi \varphi_i$$

Ecuación 6.

Debido a que el ángulo de cortina que deposita esmalte en la parte central de la pieza,  $\varphi_1$ , es inferior al ángulo de cortina que lo deposita en la parte lateral,  $\varphi_2$ , la cantidad de esmalte aplicada sobre la parte central de la baldosa es inferior a la que se deposita en la parte lateral. Es decir, el caudal másico medio de esmalte por unidad de longitud transversal de pieza, que viene dado por la ecuación 2, es menor en la parte central de la pieza que en los extremos. Esta diferencia es tanto más acusada cuanto menor es el cociente entre el diámetro de la campana y el ancho de la pieza decorada, y es la razón por la cual las campanas difícilmente tienen un grado de aprovechamiento superior al 50% de su diámetro.

### 3.2. Campana de geometría optimizada

Con vistas a garantizar una distribución homogénea de la cantidad de esmalte depositada sobre una pieza, es necesario que  $\bar{m}_p$  se mantenga constante y no varíe con la anchura de la pieza, lo cual implica que el borde de descarga de la campana no puede ser circular, debiendo adoptar la forma de una curva determinada. Para deducir la ecuación representativa de dicha curva es necesario definir el parámetro

$r_o$  (ecuación 7) como el cociente entre el caudal másico de esmalte por unidad de ángulo y el caudal másico medio de esmalte aplicado por unidad transversal de pieza.

$$r_o = \frac{m_\phi}{\bar{m}_p}$$

*Ecuación 7.*

Puesto que la distribución de esmalte aplicado será homogénea cuando  $\bar{m}_p$  sea constante, según la ecuación 7, si se considera que  $m_\phi$  es independiente del valor de  $\phi$  (ver figura 2), para cumplir el objetivo de que  $\bar{m}_p$  sea constante,  $r_o$  también debe serlo. De este modo, partiendo de la ecuación 2, y teniendo en cuenta la definición de  $m_\phi$  (ecuación 1), puede obtenerse la ecuación 8.

$$r_o = \frac{m_o y}{\varphi_o m_\phi \phi} = \frac{m_o y}{m_o \phi} = \frac{y}{\phi}$$

*Ecuación 8.*

Por otra parte, si se define "r" como la distancia entre el centro de la campana y el borde de descarga de la misma, medido sobre el plano horizontal que pasa por su centro (ver figura 2), se cumple la relación establecida por la ecuación 9.

$$\operatorname{sen}\phi = \frac{y}{r} \rightarrow y = r \operatorname{sen}\phi$$

*Ecuación 9.*

Y finalmente, combinando la ecuación 8 y la ecuación 9, se obtiene la ecuación 10, que puede escribirse como la ecuación 11 si se tiene en cuenta que  $r_o$  debe mantenerse constante para asegurar la homogeneidad de la distribución de esmalte.

$$r(y, \phi) = \frac{r_o(y)\phi}{\operatorname{sen}\phi}$$

*Ecuación 10.*

$$\frac{r}{r_o} = \frac{\phi}{\operatorname{sen}\phi}$$

*Ecuación 11.*

Si se define  $r_m$  como el radio de una campana circular dada, se comprueba que, cuando  $r$  es igual a  $r_m$ , el ángulo  $\phi$  es igual a  $\frac{\pi}{2}$ , por lo que la relación existente entre  $r_m$  y  $r_o$  puede obtenerse directamente de la ecuación 11 y resulta ser:

$$\frac{r_m}{r_o} = \frac{\pi}{2}$$

*Ecuación 12.*

La ecuación 11, combinada con la ecuación 12, indica, una vez definido  $r_m$  o  $r_o$ , cual es la variación del radio de curvatura con el ángulo  $\phi$  que debe presentar la campana para que la cortina generada proporcione una distribución de esmalte homogénea en toda la anchura de la pieza.

Para comprender mejor el significado de estas ecuaciones, en la figura 3 se ha representado, de forma cualitativa con trazo rojo, la cortina circular de esmalte generada por una campana convencional de radio  $r$ . La curva azul correspondería a una cortina, que generaría una distribución homogénea de esmalte sobre la pieza, en la que  $r_m$  sería igual al radio de la campana circular representada con el trazo rojo. Por último, la curva de trazo verde sería otra cortina de esmalte mejorada en la que  $r_o$  tomaría el mismo valor que el radio de la campana circular.

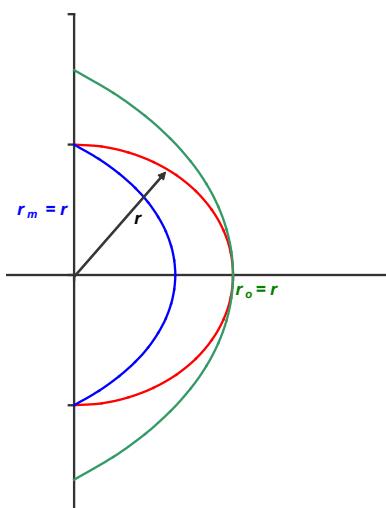


Figura 3. Cortina generada por una campana circular convencional (trazo rojo) y la generada por dos campanas de distribución homogénea (trazo verde y azul).

Como puede comprobarse, cabe la posibilidad de obtener una campana de distribución homogénea, a partir de una campana circular convencional recortando el borde de la misma. Es decir, en el caso mostrado en el ejemplo de la figura 3, la curva de trazo azul podría obtenerse a partir de una campana circular como la representada en trazo rojo.

### 3.3. Simulación del comportamiento del diseño de campana mejorada

Con el fin de determinar si el diseño propuesto aportaría en la práctica las ventajas buscadas, se comparó a nivel teórico el comportamiento de una campana como la representada por el trazo rojo de la figura 3, con el de una campana mejorada como la representada por el trazo azul.

Desarrollando las ecuaciones expuestas, puede demostrarse que la cantidad de esmalte aplicado por una campana de revolución y perfil arbitrario viene dada por la ecuación 13.

$$\frac{m_p}{m_\phi} = \frac{1}{r\cos\phi + r'\sin\phi}$$

Ecuación 13.

siendo  $m_p$  la cantidad de material aplicado por unidad de longitud perpendicular al avance de la pieza ( $\text{kg}/(\text{m s})$ ). Si la campana es circular, su radio,  $r$ , es constante y su derivada,  $r'$ , se anula, con lo que la ecuación 13 se transforma en la ecuación 14, que permite calcular la cantidad total de esmalte por unidad de longitud aplicada por una campana convencional de radio  $r$ .

$$\frac{m_p}{m_\varphi} = \frac{1}{r \cos \varphi}$$

Ecuación 14.

Para una campana de distribución homogénea como la propuesta, sustituyendo la ecuación 11 en la ecuación 13 se llega a la expresión representada por la ecuación 15.

$$\frac{m_p}{m_\varphi} = \frac{1}{r_o}$$

Ecuación 15.

La ecuación 14 y la ecuación 15 demuestran que, para una campana optimizada,  $m_p$  es constante en toda la anchura de la pieza, pero para una campana convencional este parámetro depende del ángulo  $\varphi$  y, por lo tanto, del ancho de la pieza esmaltada.

A modo de ejemplo, se ha calculado la variación del caudal medio por unidad de longitud transversal para cinco hipotéticas piezas de 20, 40, 60, 80 y 100 cm de ancho (parámetro 2 y según la figura 2) esmaltadas con una campana convencional de 50 cm de radio y una campana optimizada de radio máximo 50 cm, para un caudal másico de esmalte por unidad de ángulo de  $0,15 \text{ kg}/(\text{s rad})$ .

$2y (\text{cm})$	$\varphi (\text{º})$	$\bar{m}_p$ ( $\text{g}/(\text{s cm})$ )
20	24	3,02
40	48	3,09
60	74	3,22
80	108	3,48
100	180	4,71

Tabla 1. Variación teórica del caudal másico medio por unidad transversal de pieza aplicado por una campana convencional.

Puede verse en la tabla 1 que, para una campana convencional, el valor del caudal másico medio por unidad transversal de pieza aumenta considerablemente al esmaltarse piezas más anchas. Esto provoca que la zona útil de la cortina de esmalte quede reducida en prácticamente un 50%, si se quiere evitar la aparición de defectos asociados a una distribución heterogénea del esmalte sobre la superficie de las piezas.

$2y$ (cm)	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	$\bar{m}_p$ (g/(s cm))
20	36	4,71
40	72	4,71
60	108	4,71
80	144	4,71
100	180	4,71

Tabla 2. Variación teórica del caudal másico medio por unidad transversal de pieza aplicado por una campana optimizada.

Al contrario, como se muestra en la tabla 2, el caudal másico medio por unidad de longitud transversal de pieza no depende del ancho de la pieza cuando se utiliza una campana mejorada. Este hecho garantiza que la cantidad de esmalte aplicada sobre la pieza sea homogénea en toda su anchura, si el equilibrado de la campana es correcto, siendo la zona útil de la cortina de esmalte generada mucho mayor que la de una campana convencional.

Las ventajas aportadas por la campana mejorada son debidas a que la relación entre el ancho de la pieza y el ángulo de cortina que deposita esmalte en dicha zona de la pieza es independiente de la posición considerada. En efecto, a partir de los valores del ángulo de cortina de esmalte depositado sobre cada pieza ( $\phi$ ) de la tabla 1 y la tabla 2, para una pieza de ancho 1 m puede comprobarse que, en el caso de la campana convencional, los 10 cm centrales son abarcados por un ángulo de cortina de  $12^{\circ}$ , mientras que los 10 cm más próximos al borde de la pieza son decorados por un ángulo de cortina de  $36^{\circ}$ . En cambio, para la campana mejorada, tanto los 10 cm más próximos al centro de la pieza, como los más próximos al borde de la misma, son decorados por un ángulo de cortina de  $18^{\circ}$ .

#### 4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Partiendo de una campana convencional de 66 cm de diámetro se obtuvo una campana mejorada de radio máximo 33 cm por mecanizado del borde de descarga de la primera. Para ello, se transfirió al control numérico de una máquina de corte por electroerosión de hilo los datos correspondientes a la curva característica del borde mejorado y se eliminó el exceso de material obteniendo la campana mostrada en la imagen de la figura 4.

Para validar el funcionamiento de la campana mejorada ésta se ubicó en una línea de esmaltado piloto junto con una campana de esmaltado convencional con las mismas dimensiones que la campana original a partir de la cual se obtuvo la mejorada. Ambas campanas eran alimentadas mediante una única bomba impulsora con la misma suspensión de esmalte desde un tanque situado al lado de la

línea. Para la realización del trabajo se ha utilizado una suspensión de esmalte de las habitualmente empleadas para la decoración de soportes de gres porcelánico.

Los ensayos para evaluar la distribución de la cantidad de esmalte aplicada por ambos dispositivos consistieron en hacer pasar a través de la cortina creada por cada campana una placa metálica de 40 cm de ancho por 30 cm de longitud sobre la que se colocaron cinco tiras metálicas de dimensiones 5 x 30 cm homogéneamente distribuidas sobre la anterior (ver figura 4), situándose la lámina tres justo en el centro. A partir de la medida de la masa de esmalte depositada sobre cada una de las láminas metálicas, fue posible conocer la distribución de esmalte generada por los dos dispositivos, en las condiciones experimentales ensayadas.



Figura 4. Campana con distribución homogénea de la cantidad de esmalte aplicada obtenida por mecanizado de una campana convencional (izquierda) y placa metálica de control (derecha).

## 5. VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

En la imagen de la figura 5 pueden verse las dos campanas vertiendo esmalte en el momento de realizar la validación experimental del dispositivo mejorado. En la tabla 3 y la tabla 4 se recogen las distribuciones de esmalte obtenidas siguiendo el procedimiento experimental descrito en el apartado 3, siendo  $G_{total}$  la cantidad de esmalte vertida sobre la placa de control completa y  $G_i$  las cantidades de esmalte depositadas sobre cada una de las láminas. Para cada dispositivo se realizaron cinco repeticiones con el fin de obtener un valor promedio de la distribución.

Puede observarse que, tal y como era de esperar, la campana convencional presenta una distribución de esmalte aplicado mucho más heterogénea que la campana optimizada. En efecto, si bien la campana convencional presenta una desviación máxima de 3,9 g entre la cantidad de esmalte depositada en las diferentes láminas, esta diferencia es de tan sólo 0,5 g en la campana mejorada.



Figura 5. Campana convencional y mejorada durante su validación experimental.

En la figura 6 se muestran las distribuciones medias normalizadas de la cantidad de esmalte aplicado por cada dispositivo en los ensayos realizados. Según este gráfico, la campana convencional aplica una mayor cantidad de esmalte en los laterales de la pieza, mientras que la campana optimizada aplica una cantidad muy parecida, y próxima al 20% del total, en toda la anchura de la pieza. Aunque existen ligeras desviaciones respecto al valor teórico del 20%, dichas diferencias se encuentran siempre dentro del error experimental existente en la medida de la cantidad de esmalte depositada sobre cada lámina, tal y como reflejan las barras de error del gráfico.

La ligera asimetría observada en la distribución de esmalte aplicado por la campana convencional pudo ser debida a un deficiente equilibrado del dispositivo durante el momento de realizar las medidas. Esta observación pone de manifiesto la gran importancia de un buen equilibrado para alcanzar una correcta distribución de esmalte tanto en un sistema convencional como en el sistema propuesto.

Medida	$G_{\text{total}}$ (g)	$G_{\text{total}}$ (g/ $\text{cm}^2$ )	$G_1$ (g)	$G_2$ (g)	$G_3$ (g)	$G_4$ (g)	$G_5$ (g)	$\Delta G_{\text{max}}$ (g)
1	129,1	0,108	17,3	15,3	15,5	16,4	18,5	3,2
2	128,6	0,107	17,6	15,3	15,1	16,2	18,3	3,2
3	128,6	0,107	17,1	15,7	15,2	16,2	18,2	3,0
4	127,3	0,106	17,0	15,4	14,8	16,0	18,0	3,2
5	124,9	0,104	16,9	14,7	13,9	15,2	17,8	3,9
Promedio	128,3	0,107	17,1	15,3	14,9	16,0	18,2	3,3

Tabla 3. Distribución de esmalte aplicado por una campana convencional.

Medida	$G_{\text{total}}$ (g)	$G_{\text{total}}$ (g/cm <sup>2</sup> )	$G_1$ (g)	$G_2$ (g)	$G_3$ (g)	$G_4$ (g)	$G_5$ (g)	$\Delta G_{\text{max}}$ (g)
1	99,0	0,083	12,1	12,3	12,3	11,8	12,0	0,5
2	98,8	0,082	12,1	12,3	12,3	11,9	12,1	0,4
3	98,7	0,082	12,1	12,3	12,3	11,9	12,1	0,4
4	100,7	0,084	11,8	12,2	12,3	12,0	12,0	0,5
5	100,4	0,084	11,9	12,2	12,3	12,0	11,8	0,5
Promedio	99,5	0,083	12,0	12,3	12,3	11,9	12,0	0,5

Tabla 4. Distribución de esmalte aplicado por la campana mejorada

Los resultados obtenidos en los experimentos realizados permiten validar el funcionamiento de la campana con borde de descarga mejorado y verifican las ecuaciones teóricas obtenidas en el apartado 3. A falta de comprobar el buen funcionamiento del dispositivo en condiciones industriales, puede decirse que el nuevo diseño de campana garantiza una distribución de esmalte mucho más homogénea que la proporcionada por la campana convencional.

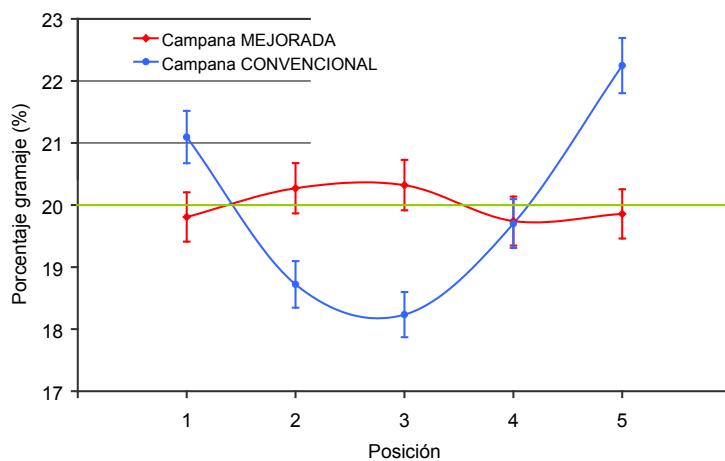


Figura 6. Distribuciones medias normalizadas de esmalte aplicado por los dos dispositivos ensayados.

## 6. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se derivan del presente trabajo son las siguientes:

- Se ha estudiado la geometría del proceso de deposición de esmalte en forma de cortina semicircular sobre las baldosas cerámicas y se ha comprobado que las diferencias en la cantidad de esmalte aplicado entre los bordes y el centro de la pieza son debidas a que el arco de cortina por unidad de longitud transversal de pieza es mayor en los lados de la baldosa que en el centro.

- Se ha deducido una ecuación representativa de la curvatura del borde de descarga de una campana de esmaltado que mantiene constante el ángulo de cortina depositada por unidad de longitud transversal de pieza para todo el ancho de la baldosa decorada.
- Se ha construido una campana cuyo borde de descarga tiene la curvatura representada por la ecuación deducida y se ha validado su funcionamiento en condiciones reales de operación.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen al Instituto de la Pequeña y Media Industria Valenciana (IMPIVA) la financiación aportada para su realización, a través del programa de apoyo a la I+D en centros tecnológicos de la red Impiva. (IMDEEA/2011/105).

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] AICE. Campana esmaltadora isoflujo de piezas cerámicas. P201031682, 17/10/2010.
- [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*, 229, 37-43, 1997.
- [3] FERRANDO, F. et al. Desarrollo de color y aparición de tonalidades en piezas de pavimento extruido esmaltado, tipo rústico. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.*, 38(6), 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: I Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. [Castellón: Cámara Oficial de Industria Comercio y Navegación], 1990.
- [5] PERIS FAJARNÉS, 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 2002: VII Congreso mundial de la calidad del azulejo y del pavimento cerámico III. 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. *Cerám. Inf. (Esp)*, 240, 29-34, 1998.
- [7] AICE. Dispositivo y método de control automático de aportación de fluidos. ES 2165760, 15/05/2003.
- [8] MALLOL, J. G. et al. Desarrollo de un sistema de esmaltado insensible a las variaciones de viscosidad del esmalte. *Técnica Cerámica*, 367, 1056-1065, 2008
- [9] AICE. Dispositivo de alimentación de líquidos o suspensiones. P2007 02537, 27/09/2007.