

DESARROLLO DE LA DECORACIÓN DE BALDOSAS CERAMICAS POR CUATRICROMIA MEDIANTE LA TÉCNICA DE HUECOGRABADO. APLICACIÓN DEL MODELO DE KRIEGER-DOUGHERTY

⁽¹⁾ A. Torres, ⁽¹⁾ J. A. Tirado, ⁽¹⁾ M. A. Babiloni, ⁽²⁾ F. Lucas, ⁽²⁾ J. Albalat,
⁽³⁾ E. Bou, ⁽³⁾ A. Saburit, ⁽³⁾ M. J. Orts, ⁽³⁾ Y. Bautista

⁽¹⁾ SYSTEM ESPAÑA, S.A. Castellón. España

⁽²⁾ FRITTA, S.L. Onda, Castellón. España

⁽³⁾ Instituto de Tecnología Cerámica (ITC).

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

RESUMEN

La decoración por cuatricromía mediante la técnica de huecograbado no ha llegado a implantarse debido a una serie de problemas, los cuales pasan a analizarse en el presente estudio. Dicho análisis ha permitido desarrollar un sistema de trabajo que permite la realización de dicha decoración.

En este tipo de decoración es necesaria una elevada precisión de máquina-cilindro-incisión con el fin de evitar los efectos de "moire" (alineación indebida de puntos impresos). Se precisa también una elevada constancia en el tono, el cual depende de un elevado número de variables: propiedades de los esmaltes, características del rodillo de silicona, la duración de la incisión, propiedades de las tintas, condiciones de aplicación, etc.

El trabajo realizado se ha dividido en tres partes. En la primera se ha llevado a cabo la selección de las características del rodillo (tipo de silicona y de incisión) más adecuadas con el fin de obtener una resolución óptima y estabilidad durante la producción. En la segunda se han desarrollado las tintas, se ha seleccionado la base y los pigmentos cerámicos y el vehículo más adecuado. En la tercera se ha llevado a cabo una validación de los resultados en línea semi-industrial, haciendo uso de máquinas de huecogrado con ajuste automático de temperatura, viscosidad y densidad.

La selección de los componentes de las tintas se ha realizado con la finalidad de obtener suspensiones estables en cuanto a aparición de tonalidades, sedimentación, definición de punto impreso y desgaste de cuchillas y cilindros.

Dado que para la correcta aplicación mediante huecogrado se requiere una determinada viscosidad de la tinta y ésta va a depender en gran medida del vehículo que se utilice, se ha decidido utilizar la ecuación de Krieger-Dougherty para predecir la variación de la viscosidad de las tintas con el contenido en sólidos en función del tipo de vehículo que se utilice.

Los resultados del presente trabajo han permitido establecer una metodología de trabajo que permite realizar la decoración por cuatricromía de las baldosas cerámicas mediante el uso de la técnica de huecogrado.

1. INTRODUCCIÓN

La técnica de huecogrado es utilizada en la decoración de baldosas cerámicas, permitiendo la impresión de diseños sobre superficies planas a elevada velocidad. En este proceso de impresión son numerosas las variables que influyen en la decoración final, tal como se pone de manifiesto en distintos estudios [1][2][3][4][5].

El desarrollo de la decoración mediante cuatricromía empleando la técnica de huecogrado permitiría simplificar el desarrollo de los diseños, ya que posibilita la aplicación de los programas de gestión del color, así como reducir el stocks de los colores, en general, simplificar el proceso de decoración [6].

Para la realización de la decoración mediante cuatricromía empleando la técnica de huecogrado son necesarios una serie de requisitos: elevada precisión máquina-cilindro-incisión, con el fin de evitar los efectos de "moire" (alineación indebida de puntos impresos) y elevada constancia en el tono, es decir, estabilidad en la cantidad de tinta depositada, la cual depende de numerosas variables como son las características de la capa de esmalte, las propiedades de las tintas y las condiciones de aplicación.

El objetivo del presente trabajo es seleccionar la mejor combinación tipo de silicona-incisión que de lugar a una mejor resolución de impresión y ausencia de

defectos. Así mismo desarrollar tintas para cuatricromía que den lugar a una elevada estabilidad del tono de la decoración.

El desarrollo de tinta para cuatricromía debe tener en cuenta dos aspectos, la selección de los sólidos y la selección del vehículo. Los sólidos, pigmento y material fundente, definen el color de la decoración, mientras que el vehículo define el comportamiento reológico de la tinta, el cual influye en la definición del punto impreso.

La aplicación del modelo de Krieger-Dougherty permite predecir la dependencia de la viscosidad con la concentración del sólido, de forma que se pueda reducir considerablemente el número de ensayos necesarios para caracterizar una nueva formulación a causa del empleo de un nuevo vehículo u otro sólido (cambio de la base o el pigmento) [7][8].

Por otra parte, como es de esperar, el contenido en sólido en la composición de una tinta influye marcadamente en el desarrollo del color de la misma. Este hecho cabe atribuirlo fundamentalmente a la variación de la concentración de pigmento [9].

La combinación, entre la relación predicha por Krieger-Dougherty y la que se establece entre el contenido del sólido y el color obtenido en cada una de las tintas, determinarán cuales son las condiciones óptimas de preparación de las mismas.

La decoración de baldosas cerámicas por cuatricromía ha sido alcanzada mediante el desarrollo de la impresión por chorro de tinta; sin embargo esta técnica presenta una serie de desventajas como son: menor intensidad de color de la decoración, necesidad de desarrollar materiales específicos que cumplan las exigencias requeridas por el uso de cabezales de impresión, menor velocidad de impresión.

2. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL RODILLO

En la preparación de los rodillos pueden emplearse distintos tipos de siliconas y de incisión. Debe encontrarse el tipo de silicona y la incisión más idónea con la finalidad de conseguir la mejor definición de punto posible.

2.1. Experimental.

Dentro de un formato de siliconas existentes en el mercado, junto a la configuración más adecuada de láser para ellas, se han desarrollado una serie de tests con el fin de obtener una combinación adecuada de incisión silicona y así poder obtener un trabajo idóneo de decoración sobre un soporte esmaltado.

Los tests constaban de diferentes regulaciones de los distintos parámetros de incisión láser sobre la superficie de diferentes siliconas. Se obtuvieron escalas de grises, evaluándose el resultado del grabado de la silicona, así como el resultado de la utilización de dicha silicona en la impresión mediante máquina rotativa en

huecograbado, empleándose para ello un videoscopio.

Las comprobaciones de impresión iniciales de regulación de incisión se han realizado con una tinta negra Standard sobre papel. La composición de la tinta fue:

- 50% base brillante.
- 50% Óxido Colorante negro.
- Vehículo huecograbado (C.S. = 50 % en peso).
- Tiempo de vaciado en Copa Ford nº 4 de 26 segundos.
- Papel DIN3 con peso de 20 g.

En cuanto a las condiciones de aplicación de la maquina rotativa fueron las estándar de la maquina de la empresa utilizada para tal efecto:

- Velocidad cinta transporte = 30 m/min.
- Presión cilindro-pieza = - 2 mm.
- Deslizamiento cilindro = 0,7%.
- Sistema soporte cuchilla bilama con 1 cuchilla ac. Inox 0,15 mm espesor.
- Altura rascador = 230 (cilindro 720) y 335 (cilindro 1440).
- Peso cuchilla-cilindro = -2.

La imagen utilizada para desarrollar la combinación silicona-incisión adecuada ha partido de una escala de gris y tres diseños, la cual se muestra a continuación:



A partir de su grabación, sobre diferentes tipos de silicona, empleando diferentes tipos de incisión, la impresión sobre papel y la visualización a nivel fotográfico, tanto de la misma impresión, como de la observación mediante videoscopio de los alveolos incididos, se determinó la idoneidad de la combinación silicona-incisión para una correcta deposición o impresión de la tinta con el fin de que fuera apta para trabajar en desarrollos de modelos de azulejos mediante cuatricromía.

En la tabla 1 se indica la nomenclatura empleada para desarrollar esta parte del trabajo, así como las referencias de los ejemplos relativos a las fotografías que se mostraran en el apartado de resultados.

SILICONA	INCISIÓN	Nivel de escala de gris		
		10%	50%	90%
S1 / S2/ S3	I1	Ej: S1-I1	Ej: S2-I1	Ej: S3-I1
S1 / S2/ S3	I2	Ej: S1-I2	Ej: S3-I2	Ej: S2-I2
S1 / S2/ S3	I3	Ej: S2-I3	Ej: S3-I3	Ej: S1-I3
S1 / S2/ S3	I4	Ej: S3-I4	Ej: S1-I4	Ej: S2-I4

Tabla 1. Nomenclatura empleada.

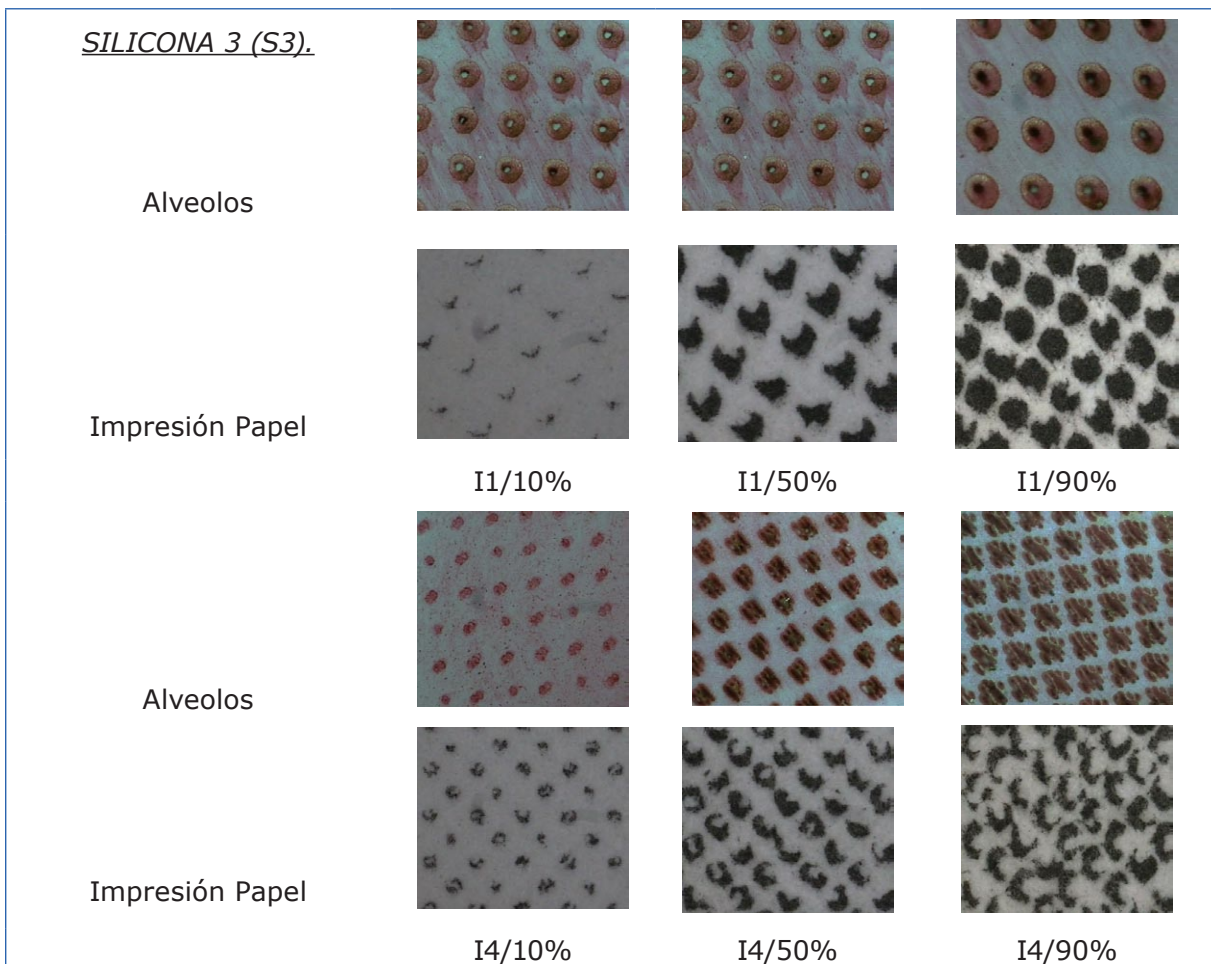
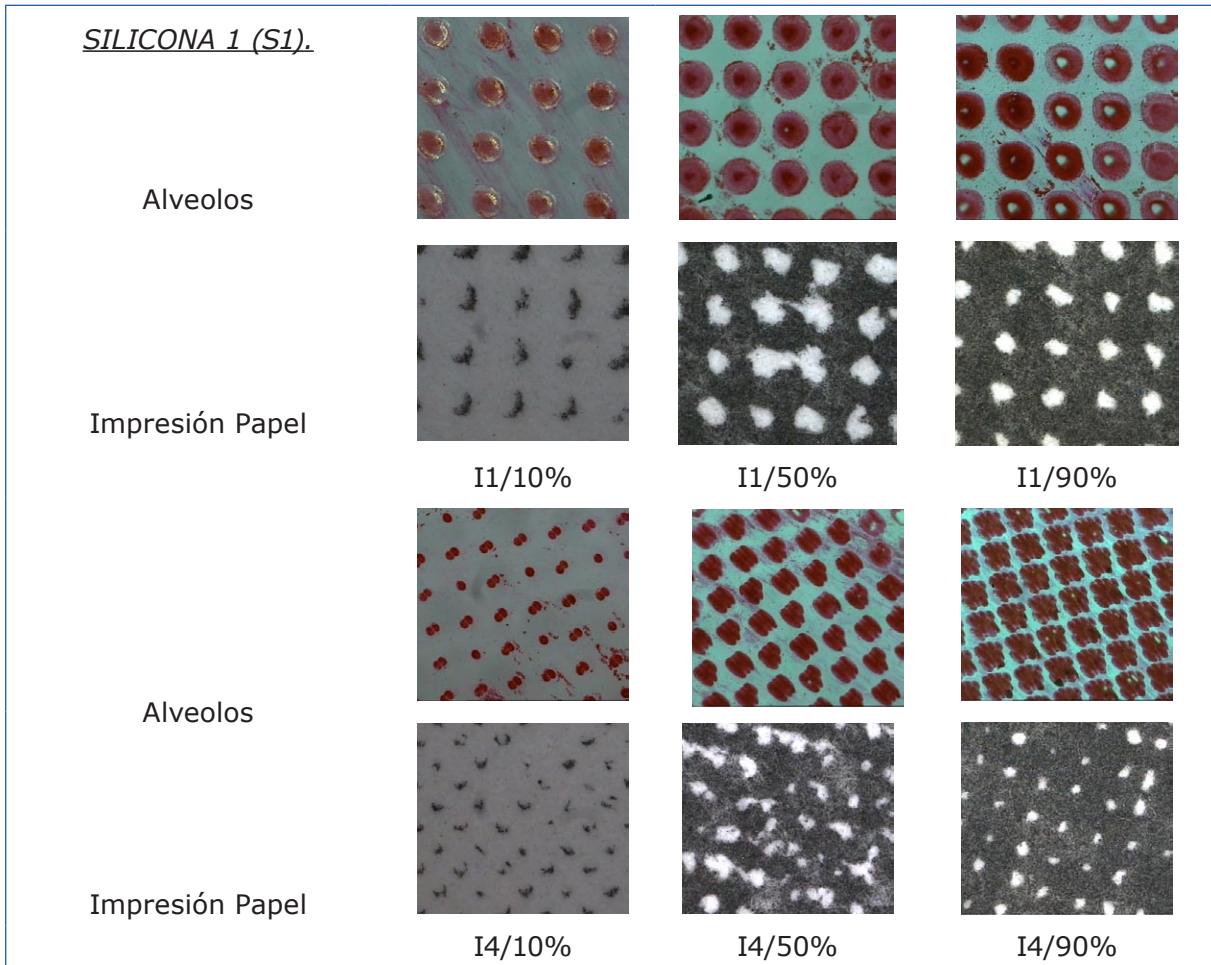
A partir de los resultados, se determinará la incisión y el tipo de silicona más adecuadas, para poder conseguir resultados óptimos y fiables de cara a desarrollar trabajos productivos adecuados y estables, dentro del proceso de fabricación de baldosas cerámicas.

2.2. Resultados.

2.2.1. Desarrollo de la combinación silicona- incisión adecuadas.

A continuación se visualizarán las diferentes fotografías tomadas mediante un videoscopio, relativas a los alveolos que se han obtenido en cada uno de los ensayos realizados. Se muestran los alveolos obtenidos en la silicona y los resultados de la impresión sobre papel. Con el objeto de simplificar al exposición, se mostrarán los resultados relativos únicamente a dos siliconas y dos incisiones.

La observación de las fotografías pone de manifiesto que el aspecto visual de los alveolos difiere considerablemente del aspecto visual de las impresiones. Lógicamente, las conclusiones más coherentes y reales serán aquellas procedentes de resultados productivos eficientes, pero mediante este método se pueden determinar aspectos clave.



En primer lugar, es obvio que aunque la silicona S3 de resultados de impresión interesantes en cuanto a definición de punto, se puede decir que la ganancia de punto de la impresión es baja. Este hecho puede ser originado por la elasticidad de la silicona, que ofrece una baja resistencia al paso de la cuchilla de engrase del cilindro, lo cual, unido a la baja profundidad de los alveolos, facilita el vaciado del interior de los alveolos, con la consiguiente reducción de la cantidad de tinta depositada sobre la superficie.

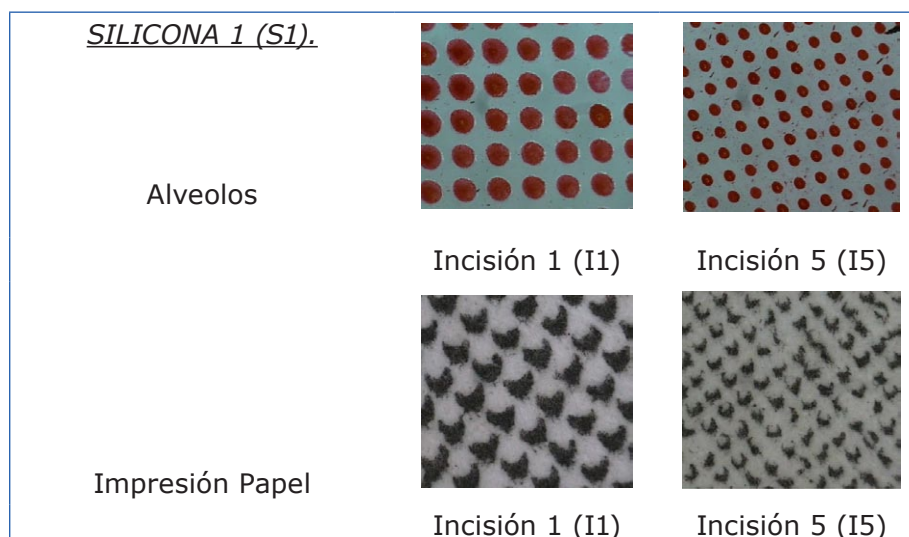
En segundo lugar, a modo comparativo con la silicona 3, sobre la silicona 1 se puede visualizar como los resultados, aunque próximos entre si tanto a nivel de alveolo como de impresión, parecen ofrecer mejores resultados a nivel de forma geométrica estable de los alveolos en todas las incisiones propuestas con respecto a S3.

Lógicamente, en este momento parece obvio establecer un punto coherente a la hora de elegir la silicona idónea, el cual en este caso implica la elección de la silicona 1. Esto es debido a que, en cuanto a la cantidad descargada (la cual implica únicamente intensidad de color mayor) se puede compensar fácilmente con la relación optimizada entre base y oxido colorante de cada tinta, sin embargo, la perfección del alveolo es fija, por lo que si se observan las fotografías, se ve como la silicona 1 ofrece mejores resultados en la forma geométrica del alveolo que la silicona 3, posiblemente debido a las características elásticas de cada una de las siliconas.

Por otro lado, en cuanto a la elección de la incisión más idónea, obviamente, de las 4 incisiones que se ensayaron, la que posee mejores perspectivas visuales de trabajo productivo se aprecia como es la incisión 1 (I1), sin embargo, se aprecia como el numero de puntos por unidad de superficie es relativamente bajo, por lo que se procedió a optimizar la incisión.

2.2.2. Optimización de la selección Silicona-incisión. Silicona (S1)+Incision 5 (I5).

Partiendo del mismo concepto de incisión I1, se mejora la resolución de impresión aumentándola, con tal de conferir a las imágenes una mayor calidad gráfica. En las siguientes figuras se aprecia la mejora en cuanto a la resolución de impresión, manteniendo la calidad en el aspecto geométrico de los alveolos.



3. DESARROLLO DE TINTAS

La decoración de piezas cerámicas por huecograbado es un proceso muy extendido pero que no ha evolucionado hacia la cuatricromía entre otras razones por la ausencia de tintas cerámicas que mantuvieran una estabilidad en el tiempo durante la producción. El presente trabajo ha tomado como objetivo fundamental esa variable y el desarrollo se ha realizado concretando las variables físicas de las tintas en:

- Aspectos colorimétricos:
 - Obtención de una paleta de tintas que, por superposición, logran una paleta cromática amplia y acorde a las necesidades de la producción cerámica.
- Integración con los esmaltes:
 - La decoración por cuatricromía emplea la superposición de tintas para lograr los colores deseados, por ello es importante lograr tintas que se integren correctamente con los esmaltes sin producir efectos de sobre o bajo relieve, incluso en zonas con cuatro tintas superpuestas.
- Reología:
 - La viscosidad y tensión superficial de las tintas debe ajustarse para lograr un comportamiento correcto en el proceso de decoración:
 - Carga y descarga de los rodillos
 - Ganancia de punto (definición)
 - Mantenimiento de la suspensión (no sedimentación)
- Estabilidad de tono durante la producción:
 - Las variaciones de tono debidas a la tinta están causadas por:
 - Variaciones de densidad de la tinta durante la producción (variaciones de contenido de sólidos).
 - Variaciones de porcentaje de color en la tinta (variaciones en la relación pigmento/base fundente)

3.1. Selección de los componentes de la tinta.

Para llevar a cabo este proceso se ha partido de:

- Colores calcinados.
- Fundentes cerámicos micronizados.
- Plastificantes.
- Modificadores de características reológicas.
- Vehículos.

Colores calcinados

Se han realizado muchas pruebas y se decidió trabajar con una paleta básica de:

- C: Cyan (tono azulado ligeramente verdoso).
- M: Magenta (tono marrón rojizo).
- A: Amarillo.
- N: Negro.

La paleta que se obtiene es mucho más amplia que en el caso de la decoración por inyección digital. En la decoración por huecograbado no existe la limitación del tamaño de partícula tan pequeño como el que debe usarse en la inyección digital, y se obtienen así tonos más vivos , y una gama cromática más rica.

Fundentes cerámicos

Cada tinta se ha ajustado de forma que la fundencia sea la adecuada para lograr:

- Perfecta integración con los esmaltes (incluso en el caso de superposición de varias tintas).
- Desarrollo de color óptimo , con fundentes que acentúen el color del pigmento.
- Los fundentes usados se han basado en micronizados de fritas cristalinas borácicas con fundencias específicas para cada tinta.

Plastificantes

Los plastificantes ayudan a lograr las características reológicas óptimas de las tintas, así como a mantener la suspensión . Consideramos aquí:

- Homogeneidad de las tintas.
- No separación de fases líquida y sólida, contribuyendo a la estabilidad de tono durante la producción.
- Viscosidad y tensión superficial adecuadas.

Modificadores de características reológicas

Además de los plastificantes ha sido necesario el uso de modificadores de viscosidad y tensión superficial. Cada uno de los colores tiene un comportamiento diferente que es necesario ajustar.

Vehículos

Para la selección del vehículo se trabajó con la aplicación del modelo de Krieger-Dougherty, indicándose con mayor profundidad en el siguiente apartado. El vehículo que dio resultados más satisfactorios fue el V1.

Preparación de las tintas

Para una correcta homogeneización de todos los productos se ha recurrido a un molino de microesferas discontinuo. El tiempo de molienda ha sido de 40 min para una carga de 5 kg de tinta.

3.2. Aplicación del modelo de Krieger-Dougherty en el desarrollo de las tintas

La aplicación del modelo de Krieger-Dougherty permite predecir la dependencia de la viscosidad con la concentración del sólido de forma que se pueda reducir considerablemente el número de ensayos necesarios para caracterizar una nueva formulación por el empleo de un nuevo vehículo u otro sólido (cambio de la base o el pigmento)[8]. A continuación se indica la expresión del modelo de Krieger-Dougherty.

$$\eta_r = \left(1 - \frac{\phi}{\phi_m}\right)^{-[\eta]\phi_m}$$

Ecuación 1.

Donde η_r es la viscosidad relativa de la tinta respecto a la del vehículo ($\eta_{\infty \text{ tinta}} / \eta_{\infty \text{ vehiculo}}$), ϕ y ϕ_m son el contenido volumétrico y la fracción máxima de empaquetamiento respectivamente y $[\eta]$ es la viscosidad intrínseca.

La variación de la carga de sólido en las tintas no sólo afecta en el comportamiento reológico de la suspensión. Otro parámetro importante donde esta variación influye es la intensidad de color que desarrollan las tintas una vez aplicadas y cocidas. Como es sabido, cuanto mayor es el contenido en sólido de las tintas, mayor es la concentración de pigmento en éstas y por lo tanto, los colores obtenidos presentan mayor intensidad [9]. Por este motivo, en el presente estudio también se ha determinado simultáneamente la variación del color con el contenido volumétrico en sólidos.

3.2.1. Experimental.

Materiales

Para el desarrollo del estudio se emplearon 2 vehículos (V1 y V2), una base denominada B y los cuatro pigmentos seleccionados en el apartado anterior (A, C, M y N).

Preparación de las tintas

La proporción de pigmento utilizado en todos los casos fue del 30 % en peso respecto a los sólidos totales. Para la determinación del contenido volumétrico (ϕ)

de la suspensión fue necesario determinar primero las densidades reales tanto de la base como de los pigmentos. Mediante el estereopícnómetro de helio.

Determinación de la curva $\eta_r=f(\phi)$

La medida de los parámetros reológicos de las tintas se efectuó en un reómetro, en el que se controla la fuerza de cizalla aplicada y se mide la deformación producida en cada instante. Durante la realización del ensayo la muestra se mantiene termostatada a la temperatura del ensayo (35 °C).

Las medidas se realizaron empleando un sistema de cilindros concéntricos. La curva de flujo y la curva de viscosidad se obtuvieron mediante la realización de ensayos de flujo en los que se controlaba la fuerza de cizalla.

La curva $\eta_r=f(\phi)$ en todos los casos fue calculada en la región de alta cizalla. Para ello se determinó la η_∞ ajustando las curvas de flujo de cada una de las muestras al modelo propuesto por Sisko a excepción de las curvas de flujo de los vehículos sin carga de sólido, que fueron ajustadas al modelo de Newton.

$$\text{Sisko: } \eta = \eta_\infty + k \left(1/\dot{\gamma} \right)^m \qquad \text{Newton: } \sigma = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

Donde η es la viscosidad para una gradiente de velocidad determinado, η_∞ es la viscosidad a elevados gradientes de velocidad, $\dot{\gamma}$ es el gradiente de velocidad y k y m las constantes del modelo de Sisko.

Determinación de la variación de color con el contenido volumétrico en sólidos

Las suspensiones de las tintas se aplicaron sobre soporte de azulejo de cocción blanca cocido y esmaltado mediante un aplicador con una abertura de 60 μm aproximadamente. Las probetas aplicadas se cocieron en horno eléctrico de laboratorio, siendo empleado un ciclo térmico con una velocidad de calentamiento de 25°C/min, llegando a una temperatura máxima de 1120°C y permaneciendo en ésta, durante seis minutos.

Las coordenadas cromáticas de los vidriados obtenidos se midieron con un espectrofotómetro de reflectancia difusa. Las condiciones de medida del equipo fueron un iluminante estándar CIE D_{65} y un observador estándar CIE 10°. Las medidas se realizaron utilizando el sistema de coordenadas cromáticas CIELab. Para determinar la variación de color se utilizó el parámetro ΔE^* , para ello se ha tomado como referencia una pieza sin aplicación de tinta; de esta forma el valor de ΔE^* obtenido está relacionado con el grado de saturación de color en cada una de las tintas.

3.2.2. Resultados.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del ajuste del modelo de Krieger-Dougherty para las tintas preparadas con el vehículo V1, la base B y cada

uno de los pigmentos A, C, M y N.

Para la obtención de estos resultados se realizaron las curvas de flujo de las tintas preparadas a distintos contenidos en sólidos, determinándose a partir de los ajustes al modelo de Sisko, la viscosidad a gradientes de cizalla elevados. En la figura 1 se muestra la evolución de la viscosidad relativa en función del contenido volumétrico del sólido, donde se han representado como puntos los resultados experimentales y con líneas continuas los ajustes al modelo de Krieger-Dougherty. En esta figura se aprecia como dependiendo del pigmento empleado el comportamiento es diferente y como el empleo del modelo se ajusta adecuadamente a los resultados experimentales.

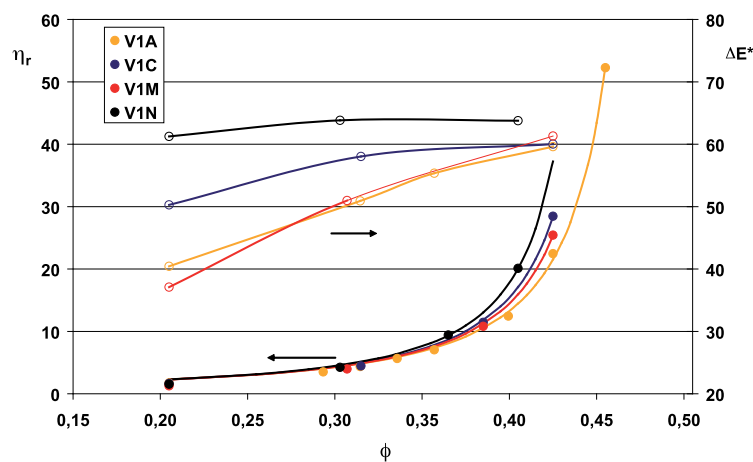


Figura 1. Variación de la viscosidad relativa y el ΔE^* con el contenido volumétrico para las tintas V1A, V1C, V1M y V1N.

En la figura 1 también se muestra la evolución del desarrollo del color de la tinta con el contenido en sólido. En los cuatro colores aumenta la intensidad de color con el aumento del contenido en sólidos, siendo las tintas más oscuras (V1N y V1C) las que llegan a estabilizar el color antes por saturación. De estos resultados se puede concluir que las tintas V1A y V1M serán las que den más problemas de cambio de tono por variación en el contenido en sólidos de la tinta (variaciones de densidad).

En el momento de aplicar el modelo de Krieger-Dougherty, se ha considerado que la interacción vehículo-pigmento y la geometría próxima a una esfera de las partículas era la misma para todos los pigmentos y por tanto se ha presupuesto que la viscosidad intrínseca ($[\eta]$) es la misma en todas las tintas preparadas con el vehículo V1.

Los valores de la fracción máxima de empaquetamiento (ϕ_m) de cada uno de las tintas y la viscosidad intrínseca ($[\eta]$) obtenidos en el ajuste del modelo se muestran en la tabla 2. En esta tabla se puede apreciar como la tinta V1N presenta el menor empaquetamiento máximo, lo que conlleva que para un contenido volumétrico determinado sea la tinta con una viscosidad más elevada.

Los valores obtenidos en el cálculo de la viscosidad intrínseca y la fracción

máxima de empaquetamiento, empleando el modelo de Krieger-Dougherty y partiendo de los resultados empíricos de la viscosidad de las suspensiones, son resultados acordes con los obtenidos en otros estudios [10]. El valor de viscosidad intrínseca calculado, comparándolo con los resultados encontrados en la bibliografía, se encuentra entre los valores correspondientes a esferas submicrométricas y esferas de 40 μm . La observación en microscopio electrónico de las partículas de pigmento muestra como en los cuatro casos, estos presentan una geometría próxima a la esférica.

En el caso de la fracción máxima de empaquetamiento, aparte de la forma geométrica de las partículas, el valor está relacionado también con el tamaño medio y el carácter bimodal de la distribución de tamaño de partícula del sólido [9]. Estos resultados son acordes con los que predice el modelo de Farris [11].

Tinta	V1A	V1C	V1M	V1N
Φ_m fracción máxima de empaquetamiento	0,487	0,469	0,475	0,458
$[\eta]$ viscosidad intrínseca	3,164	3,164	3,164	3,164

Tabla 2. Fracción máxima de empaquetamiento y viscosidad intrínseca empleados en el ajuste del modelo de Krieger-Dougherty.

Una vez determinado el comportamiento de las tintas preparadas con cada uno de los pigmentos estudiados y el vehículo V1, es posible predecir el comportamiento de otras tintas preparadas con estos pigmentos en la misma proporción base-pigmento y otros vehículos diferentes.

Para comprobar esta hipótesis se realizó el estudio reológico de una tinta preparada con el pigmento A, la base B y el vehículo V2 (V2A). En este caso se ensayaron únicamente cuatro contenidos en sólidos distintos en comparación a los nueve que fueron necesarios realizar para caracterizar correctamente la tinta V1A. Para determinar los parámetros del modelo de Krieger-Dougherty de esta tinta, se consideró que la fracción máxima de empaquetamiento era la misma que tiene la tinta V1A, al ser el sólido empleado en ambas tintas el mismo.

En la figura 2 se representa la evolución de la viscosidad relativa en función del contenido volumétrico del sólido para las tintas V1A, V2A y V1N. En este caso se puede ver como el ajuste realizado con el modelo de Krieger-Dougherty (líneas continuas) también reproducen adecuadamente los resultados experimentales (puntos). La observación de esta figura muestra como para un contenido en sólidos determinado el empleo del vehículo V2 da lugar a una tinta con una viscosidad relativa mayor que con el vehículo V1, siendo más similar a la que presenta la tinta V1N que como se ha comentado en su momento, tiene una viscosidad relativa mayor debido a su fracción máxima de empaquetamiento más baja.

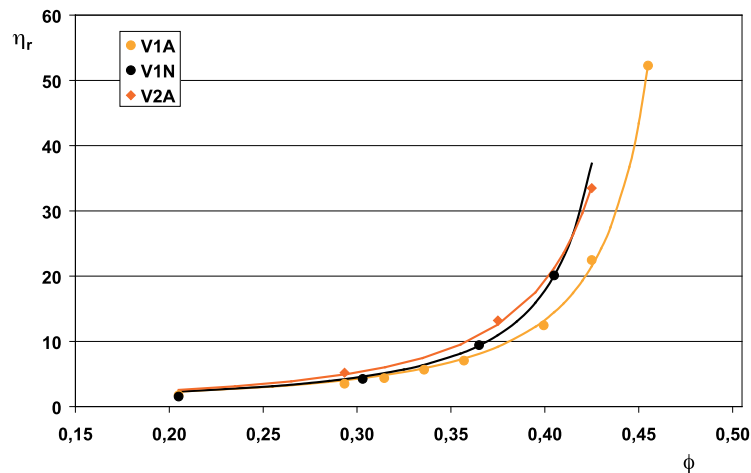


Figura 2. Variación de la viscosidad relativa con el contenido volumétrico para las tintas V1A, V1N y V2A.

Tinta	V1A	V2A
C.S. (%)	55,0	59,9
ϕ (%)	0,31	0,35
$\eta_{\infty \text{ tinta}}$ (mPa·s)	152	152
$\eta_{\infty \text{ vehiculo}}$ (mPa·s)	31,6	15,8
η_r	4,8	9,6

Tabla 3. Características reológicas para las muestras con los vehículos V1 y V2.

Partiendo de la viscosidad de la tinta requerida por el sistema de aplicación, se puede determinar el contenido en sólidos a las condiciones a las cuales debe prepararse la tinta. En la tabla 3 se presenta un ejemplo. Partiendo de que se necesita una viscosidad de 152 cP a elevados gradientes de velocidad, se puede calcular el contenido volumétrico en sólidos al que deben prepararse las tintas cuando se emplean los dos vehículos ensayados V1 y V2.

Empleando el vehículo V2 pueden alcanzarse contenidos en sólidos más altos, lo cual es beneficioso dado que se obtendrían intensidades de color más elevadas; sin embargo, debe tenerse en cuenta que en la zona de trabajo ($\phi=0,35$ %) el vehículo V2 da lugar a variaciones superiores de la viscosidad con el contenido en sólidos, lo cual le va a conferir a la tinta una mayor inestabilidad frente a la aparición de tonos.

4. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS A ESCALA INDUSTRIAL

Se han realizado varias pruebas a nivel semiindustrial en la planta piloto de Fritta para verificar los resultados obtenidos. Las pruebas se han realizado con unas condiciones de trabajo muy similares a las de producción industrial:

- Soporte crudo de revestimiento de monoporosa pasta blanca y de porcelánico.
- Temperatura de las piezas durante el esmaltado : 90 – 100 °C.
- Humectación con pistola airless: 4 g en 30 x 30 cm.
- Aplicación de engobe a campana: 35 g en 30 x 30 cm.
- Aplicación de esmalte (brillo o mate) 70 g en 30 x 30 cm.
- Decoración de las piezas con una máquina Rotocolor S-5 en cuatricromía, empleando dos tipos de tintas:
 - Cyan – Magenta – Amarillo – Negro (CMYK)
 - Cyan – Magenta – Beige – Negro (CMBK)
- Las paletas obtenidas han sido registradas en photoshop mediante una paleta de perfiles que ha sido utilizada después para el desarrollo de modelos.
- La cocción de las piezas se ha realizado en un horno de rodillos en ciclos industriales.

A continuación se muestran algunas de las piezas obtenidas, donde se puede observar la amplia gama cromática, así como la integración y definición de las tintas tanto en esmalte brillo como mate.



Brillo (CMYK)

Brillo (CMBK)

Mate (CMBK)

Figura 3.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos pueden concretarse en:

- Se ha desarrollado un tipo de incisión para el huecograbado que facilita el trabajo en cuatricromía, siendo la duración de este tipo de incisión igual a la de una incisión estándar.
- Se han desarrollado una gama de tintas con las que se ha obtenido una paleta de tonos muy amplia.
- La combinación de incisión y tintas permiten trabajar con una gran estabilidad de color durante el tiempo.
- Pequeñas diferencias en el centrado no afectan al resultado estético de las piezas.
- Con las mismas tintas se pueden producir modelos de aspecto gráfico muy diferentes.
- Se simplifica el desarrollo de proyectos cerámicos gráficos mediante el uso de sistemas de gestión de color.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MARTÍNEZ, J.A.; CABEDO, J.; GIMÉNEZ, S.; FLORS, R. Diseño de tintas optimizadas para decoración mediante la técnica de huecograbado. *Ediceram*, 3, 50-62, 2001.
- [2] CAMPOS, J.M.; CORMA, P.; LÓPEZ, J.; LUCAS, F.; PASQUETTO, S.; MORENO, V. Influencia de las variables de materiales y proceso sobre la presencia de tonalidades en baldosas cerámicas decoradas con técnica de rodillo huecograbado. En: *Qualicer 2002: VII Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico*. Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, 2002, vol. I, pp. P.GI4-1-P.GI59.
- [3] LLANES, M.D.; MORENO, V.; AMORÓS, M.; BENAGES, S.; CARMONA, M.; CARRASCO, R.; ESBRI, M.A.; RAMBLA, J.; TRAVER, L. Propuesta de mejora en la fase de desarrollo en procesos de decoración mediante la técnica de huecograbado. En: *Qualicer 2002: VII Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico*. Castellón: Cámara oficial de Comercio, Industria y Navegación, 2002, vol. I, pp. P.GI77-P.GI92.
- [4] LÓPEZ-ACEDO, C.; ARRANZ, J.; TORRES, A.; PRADA, C. Comportamiento reológico en empastes en serigrafías para impresión en máquinas rotativas de huecograbado: estudio de tintas y desarrollo de un nuevo vehículo. *Cerám. Inf. (Esp.)*, 300, 81-87, 2003.
- [5] RECAJ, J.L. La impresión mediante huecograbado más sencilla. *Téc. Cerám.*, 317, 1186-1189, 2003.

- [6] SÁNCHEZ RIVERO, P.; PERIS FAJARNÉS, G.; LATORRE CERMONA, P. Necesidad de normativa en los sistemas de impresión cerámicos. *Téc. Cerám.*, 290, 55-57, 2001.
- [7] MORENO BOTELLA, R. *Reología de suspensiones cerámicas*. Madrid: CSIC, 2005.
- [8] AMORÓS, J.L.; DÍAZ, L.; GIMÉNEZ, S.; SANZ, V. Comportamiento reológico de las suspensiones de esmalte. Influencia de las características de la suspensión. *Téc. Cerám.*, 214, 384-398, 1993.
- [9] PEÑALVER, J.; MARTÍ, V.; PORTOLÉS, J.; NEGRE, P.; BARBA, A.; GIMÉNEZ, S.; MONFORT, E. Estudio de las variables de control de la aplicación serigráfica y su influencia sobre la dispersión de tonalidades en baldosas. *Cerám. Inf.*, 229, 37-43, 1997
- [10] BARNES, H.A.; HUTTON, J.F.; WALTERS, K. *An introduction to rheology*. Amsterdam: Elsevier, 1989.
- [11] FARRIS, R.J. Prediction of the viscosity of multimodal suspensions from unimodal viscosity data. *Trans. Soc. Rheol.*, 12(2), 281-301, 1968.