ESTUDIO DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL TONO DE ESMALTES PIGMENTADOS SOBRE GRES.

Temperature effect on tone of color enamel in gres porcellanato applications

RESUMEN

La industria de decoración cerámica usa pigmentos cerámicos, mezcla de óxidos, y de esmaltes quienes soportan en matriz vítrea al pigmento para dar la coloración y constancia tonal que incide en la aceptación de la pieza cerámica por parte del consumidor. Este trabajo estudia el efecto de la temperatura de cocción de los esmaltes cerámicos sobre el tono de las piezas cerámicas. Se preparó y aplicó un esmalte cerámico sobre un soporte de gres por el método de serigrafía-pincel a distintas temperaturas. Los resultados determinan la variación tonal de las muestras, aplicando una técnica espectrofotocolorimétrica para determinar los parámetros CIE L*a*b* y espectros de reflectancia.

PALABRAS CLAVE: Esmalte, Espectro de Reflectancia, Pigmento Cerámico, Sistema colorimétrico.

MIGUEL YESID HERNÁDEZ SÁNCHEZ
Ingeniero Físico
Estudiante
Grupo de Cerámicos y Vítreos
Universidad Nacional de Colombia
myhersan@gmail.com

OSCAR JAIME RESTREPO BAENA
Ingeniero de Minas y Metalurgia, Ph.D.
Profesor Asociado
Grupo de Cerámicos y Vítreos
Universidad Nacional de Colombia
ojrestre@unalmed.edu.co

ABSTRACT

*Industry of ceramic decoration uses ceramic pigments and enamels in order to support the pigment to obtain coloration and tonal perseverance that it impacts in the acceptance or rejection of the ceramic piece on the part of the consumer. This work presents how temperature of the ceramic enamels varies tone of ceramic pieces. It was ready and it applied an enamel ceramic on gres porcellanato support for serigraph-paintbrush method to several samples and different temperatures. Results determine the tonal variation of the samples, applying a technical spectrophotocolorimetric to determine the parameters CIE L*a*b *, and the reflectance spectral.*

KEYWORDS: *Enamel, Spectrum of Reflectance, Ceramic Pigment, Colorimetric System.*

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo de los recubrimientos cerámicos, las piezas cerámicas del tipo estético o decorativo usan diferentes tipos de engobes y esmaltes coloreados que dan las características de brillo, textura y color al soporte. En las distintas industrias de pavimentos y revestimientos cerámicos se hace imprescindible la realización de un control del producto, que en la actualidad es casi ausente en la industria cerámica nacional, estos controles están en función del tono, que es el atributo de una sensación visual según el cual una superficie parece ser semejante a uno de los colores percibidos, rojo, amarillo, verde o azul o a una combinación de dos de ellos [11], y es una variable que depende de muchos factores: composición del esmalte, concentración de pigmento, reacción de la tinta con el soporte, textura, defectos cerámicos, respuesta física de la matriz vítrea con la luz, entre otros.

La clasificación visual de piezas cerámicas es subjetiva, pues depende del observador, quien está influenciado por factores internos y externos, además la apariencia conjunta del objeto, la forma, el tamaño, la consistencia, homogeneidad, textura y sensación visual agradable, [8] el color percibido e inconstancia del color [13]. Aunque la clasificación visual del objeto es un método en desuso, aun se implementa el uso de las normas ASTM que justifican y se refieren a la evaluación visual del color [15], [18], [21]. En las empresas cerámicas se miden factores generales que caracterizan a la totalidad de las baldosas, clasificación por resistencia a la rotura, clasificación por escuadrado, clasificación por calibre o grosor y clasificación por tono, que mide la tonalidad de la baldosa. Es fundamental la obtención de un sistema que permita definir unos criterios de clasificación objetivos y únicos, que sean aceptados y adoptados por los clasificadores de la empresas [2].

La gama de colores se logra a partir de la mezcla de pigmentos con las bases de esmaltes, conformando tintas para aplicaciones serigráficas [10]. El control de las tonalidades de los colores en los esmaltes cerámicos es un aspecto de gran importancia en la industria cerámica; en los procesos productivos se logra una importante estabilidad del tono, pero esto no significa que se dominen todos los factores preponderantes de la coloración, la modificación de uno de estos parámetros puede provocar que la estabilización del tono sea una

Fecha de Recepción. 10 Mayo de 2007
Fecha de Aceptación. 10 Agosto de 2007

ardua tarea [1]. El control del color en la producción es un problema actual de la industria colombiana, por ello, aquí se estudia uno de los factores que influyen en la variación tonal de las piezas cerámicas, a saber, la temperatura.

La temperatura máxima del horno fue la variable más relevante registrada para cada muestra tras la preparación y aplicación del esmalte serigráfico con distintos pigmentos azules a base de cobalto [6] (cobalto-silicio y carbonatos de cobalto) sobre una superficie-soporte de gres[1], y tratamiento térmico en un horno en continuo. Se procedió a medir las coordenadas colorimétricas CIE L*a*b* (según norma ASTM [20], [21], [23]) y espectro de reflectancia a las piezas ya esmaltadas [13], [17], y a partir de estas medidas se cuantificó la diferencia de color ΔE [12], [13], [15], [16] como una medida cuantitativa de la variación tonal del pigmento esmaltado sobre el gres. Para las mediciones se usaron los métodos, observaciones y terminología de la apariencia [22], presentada en las normas ASTM.

Este trabajo se centra en determinar la variación tonal del pigmento sobre la coloración de esmaltes debido a la temperatura de cocción de la pieza cerámica y se cuantifican estos efectos en términos del espectro luminoso [12] que reflejan las superficies esmaltadas [13], [14], [19].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las medidas colorimétricas se adquirieron en un espectrofotocolorímetro PC2000 (Ocean Optics, Inc.) y procesados en el software OOIIrrad (Ocean Optics, Inc.), que almacena las medidas y/o datos de reflectancia y color. Una lámpara incandescente de tungsteno como iluminante A de referencia (LS-1 Tungsten, Ocean Optics, Inc.), en un montaje de geometría 0/45: luz difusa incidente y ángulo de observación de 45°, de acuerdo con la definición de la CIE publicadas en la norma ASTM E 284 6b [22] y ASTM E 1164 02 [20] (apartado 8.2.2 para muestras brillantes y norma ASMT D523 para el control del brillo [19]), respectivamente. Los datos de color fueron reportados en el sistema colorimétrico CIE L*a*b*. Se usó un blanco de referencia estándar WS-1 (Ocean Optics, Inc.).

Las fotografías de las distintas muestras se adquirieron en un estereoscopio OLIMPUZ SZ60 (Olimpus) a una resolución de 2,75X, y fotografiadas con una cámara CCD-IRIS color camera (SONY, modelo DXC-107A). Los datos espectrales de luz reflejada (espectros de reflectancia), se adquirieron en el espectrofotómetro y almacenados por OOIIrrad; posteriormente fueron graficados en MATLAB en el rango espectral de 380 nm a 750 nm por intervalos de 0,35 nm y los cálculos de diferencia de color se procesaron en Excel.

Para la fabricación de las piezas cerámicas esmaltadas se preparó una tinta de aplicación serigráfica y aplicación a pincel sobre gres porcelánico (bizcocho o soporte crudo). Se empleó un esmalte base CC1 compuesto principalmente de materiales vidriados o fritas: feldespato potásico ($K_2O.Al_2O_3.4SiO_2$), ZnO, cuarzo (SiO_2), y silicato de circonio. En la preparación del esmalte se agregó 15% en masa de pigmento CC47 más 50% en masa de vehículo; 6% en masa de pigmento OC55 más 50% en masa de vehículo, para la aplicación serigráfica; y para la aplicación a pincel 6% en masa de pigmento, 60% en masa de agua más 2% de un espesante. Se seleccionaron tres pigmentos azules comerciales, dos del tipo carbonato de cobalto (OC55 y CC47) y del tipo cobalto silicio (PC207D). Todas las mezclas de pigmentos-esmalte y la aplicación sobre el soporte se realizaron bajo las mismas condiciones.

La serigrafía sobre bizcocho o soporte crudo se realizó aplicando directamente la tinta con una malla fina de 32 hilos/mm sobre el soporte en distintas pasadas, entiéndase pasada como el procedimiento de pasar y extender la tinta serigráfica por el diseño de la malla una (1P), dos (2P) o tres (3P) veces, y para pincel una sola aplicación de la mezcla. En un mismo soporte se realizaron las aplicaciones de pincel y de una, dos y tres pasadas respectivamente. Las muestras cerámicas se dejaron secar al ambiente por unos 15 minutos y se llevaron a un horno en continuo donde reposaron entre 85 y 90 minutos; allí las piezas cerámicas se sometieron a una rampla de temperatura, registrando las diferentes temperaturas máximas del horno, estas fueron 1003°C, 1009°C, 1030°C y 1035°C.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Coordenadas colorimétricas y diferencias de color

Las diferencias de color ΔE^*, se definen como el vector suma de las tres componentes de los deltas ΔL*, Δa* y Δb*, el subíndice asterisco indica las diferencias de color basadas en el uso de las ecuaciones del espacio colorimétrico CIE L*a*b*, como se expresa en las norma ASTM [16]; los valores de los deltas son calculados así:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$\Delta L^* = L_{muestra} - L_{referencia} \quad (2)$$

$$\Delta a^* = a_{muestra} - a_{referencia} \quad (3)$$

$$\Delta b^* = b_{muestra} - b_{referencia} \quad (4)$$

El ΔE siempre es un valor positivo y describe la magnitud mas no la dirección de la diferencia de color entre la referencia y la muestra. La dirección de los deltas de color depende del signo algebraico de las componentes. El valor positivo ΔL significa que la muestra es más luminosa que la referencia con la que se

[1] Gres porcelánico, fabricado y distribuido por Eurocerámica.

compara, y el valor negativo ΔL significa que la muestra es más oscura que la referencia con la que se compara (en los casos que la referencia es distinta del blanco). Sin embargo, los signos algebraicos de las componentes de cromaticidad, Δa *y* Δb, no son convenientes para una fácil visualización de los atributos de color que se visualizan mejor en el plano cromático; los cálculos se realizaron con base en la norma ASTM que especifica un método para realizar un test estándar en la medida de pequeñas diferencias de color en baldosas [13]. La tabla 1, presenta las coordenadas colorimétricas CIE L*a*b* y los cálculos algebraicos para ΔE con respecto al blanco de referencia WS-1, también muestra para las distintas piezas cerámicas de gres esmaltado, la temperatura máxima de cocción, número de pasadas y tipo de pigmento.

Nótese que las coordenadas colorimétricas del gres son en promedio invariables, esto se corrobora con los espectros de reflectancia para el gres: Figuras 9, 14 y 18 donde la curvas son equivalentes para las diferentes aplicaciones; la figura 18 y las coordenadas colorimétricas presentan una desviación con respecto a las otras muestras de gres, debido a que en la aplicación de PC207D el soporte se sometió a una cocción previa, esto significa que la desviación es producto directo de la segunda cocción. Los valores tan elevados del delta corresponde al alto brillo, y los valores de L* tan bajos corresponden al alto grado de oscuridad de las muestras. Todos los valores de la coordenada b* son negativos para los esmaltes, que corresponden al color azul del espacio colorimétrico, y la coordenada a* presenta un valor positivo en todos los casos que corresponde al color verde. Existe una correlación entre el número de pasadas y la concentración de pigmento dentro de la matriz vítrea.

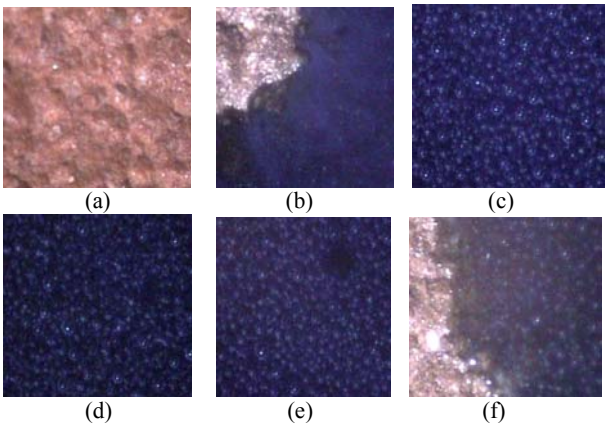

Figura 1. Temperatura de cocción 1030°C sobre gres. (a) soporte de gres para la aplicación de la tinta. (b) Aplicación de tres pasadas de tinta serigráfica con pigmento CC47. Se evidencia parte del soporte de gres. (d) Aplicación a pincel de tinta con pigmento CC47. (e) Aplicación de tres pasadas de tinta serigráfica con pigmento OC55. (e) Aplicación a pincel de tinta con pigmento OC55. (f) Aplicación de tres pasadas de tinta serigráfica con pigmento PC207D. Se evidencia parte del soporte de gres.

3.2 Inspección visual

En la figura 1 se presentan fotografías a 2,75X registradas por en el estereoscopio, las características más importantes son el brillo del esmalte y el color azul oscuro ya mencionado, tanto para el gres (a) como para las piezas esmaltadas a una temperatura de 1030°C (b -f). Las piezas *c, d, e* y *f* presentan burbujeo, que es el causante de la dispersión mayoritaria de la luz, de ahí una explicación del alto brillo; además se observa una alta dispersión del pigmento en la matriz vítrea, casi parece soluble. La pieza *b* no presenta burbujeo, mas presenta brillo. Se distinguen claras diferencias entre el color de todas las muestras a esta temperatura, y esto se esperaba, pues se trata de una matriz vítrea en la cual el pigmento o el método de aplicación es distinto (serigrafía - pincel).

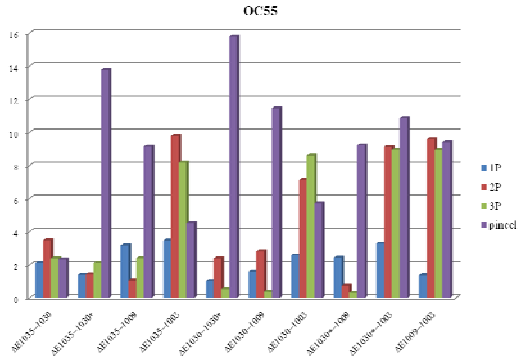

Figura 2. Diferencias de color del esmalte con OC55 a distintas pasadas entre distintas temperaturas.

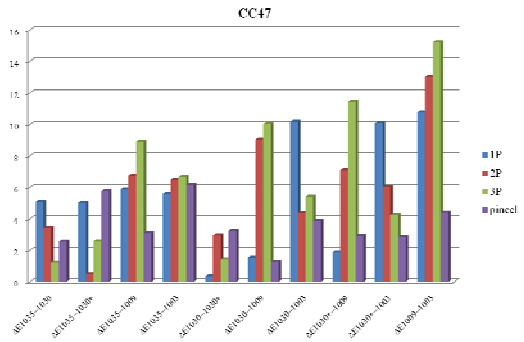

Figura 3. Diferencias de color del esmalte con CC47 a distintas pasadas entre distintas temperaturas.

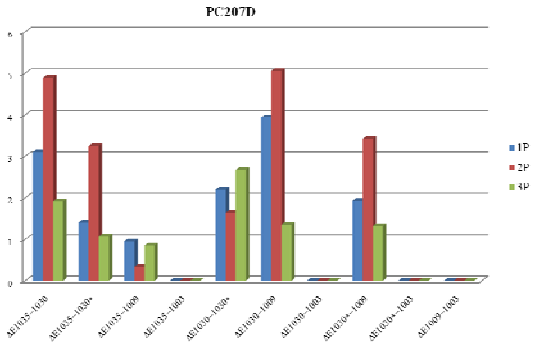

Figura 4. Diferencias de color del esmalte con PC207D a distintas pasadas entre distintas temperaturas.

Pigmento	Temp. (ºC)	Pasada	L*	a*	b*	ΔE**
OC55	1035	1	13,96	8,29	-14,01	86,78
OC55	1035	2	10,14	10,94	-21,99	91,86
OC55	1035	3	8,86	16,66	-25,88	93,27
OC55	1035	pincel	8,38	21,56	-33,54	95,15
OC55	1035	gres	48,96	19,06	20,43	51,57
OC55	1030	1	14,2	8,18	-11,9	86,23
OC55	1030	2	8,51	12,66	-24,55	93,88
OC55	1030	3	8,27	14,54	-26,8	94,45
OC55	1030	pincel	8	23,26	-35,08	95,67
OC55	1030	gres	49,35	17,91	18,64	50,91
OC55*	1030	1	13,57	8,03	-12,68	86,99
OC55 *	1030	2	9,12	10,97	-22,98	93,10
OC55 *	1030	3	8,17	14,69	-26,29	94,38
OC55 *	1030	pincel	17,71	14,24	-26,5	85,27
OC55 *	1030	gres	50,19	18,91	20,48	50,43
OC55	1009	1	15,58	7,61	-11,38	84,84
OC55	1009	2	9,15	11,14	-22,26	92,87
OC55	1009	3	8,07	14,49	-26,5	94,57
OC55	1009	pincel	8,54	14,92	-27,24	94,26
OC55	1009	gres	49,7	17,92	19,5	50,88
OC55	1003	1	16,77	7,98	-11,98	83,71
OC55	1003	2	11,06	16,54	-29,96	92,38
OC55	1003	3	10,79	19,71	-33,22	93,13
OC55	1003	pincel	12,5	19,84	-34,22	91,83
OC55	1003	gres	51,08	19,07	20,33	49,42
CC47	1035	1	10,98	11,36	-23,72	91,42
CC47	1035	2	8,48	19,38	-32,81	95,27
CC47	1035	3	8,08	20,73	-32,6	95,30
CC47	1035	pincel	9,86	15,67	-27,33	92,88
CC47	1035	gres	51,27	18,46	20,95	49,73
CC47	1030	1	9,14	14,12	-27,58	93,90
CC47	1030	2	11,06	17,7	-31,3	92,61
CC47	1030	3	8,52	19,98	-31,72	94,74
CC47	1030	pincel	9,45	17,4	-29,18	93,53
CC47	1030	gres	50,17	19,16	21,21	50,65
CC47*	1030	1	8,89	14,16	-27,34	94,06
CC47 *	1030	2	8,78	19,21	-32,45	94,90
CC47 *	1030	3	8,24	19,21	-30,53	94,78
CC47 *	1030	pincel	8,23	19,52	-31,3	94,98
CC47 *	1030	gres	49,72	18,85	20,89	51,08
CC47	1009	1	10,21	14,48	-28,64	93,13
CC47	1009	2	9,25	22,91	-38,48	95,87
CC47	1009	3	8,67	26,46	-39,37	95,87
CC47	1009	pincel	8,19	17,53	-29,17	94,72
CC47	1009	gres	49,67	18,41	20,01	50,94
CC47	1003	1	13,85	11,56	-18,93	87,44
CC47	1003	2	9,72	15,56	-27,72	93,15
CC47	1003	3	10,21	16,37	-28,05	92,63
CC47	1003	pincel	10,7	18,81	-32,57	93,17
CC47	1003	gres	50,91	19,15	21,28	49,96
PC207D	1035	1	14,93	7,69	-11,84	85,55
PC207D	1035	2	8,96	11,87	-23,24	93,21
PC207D	1035	3	8,84	12,99	-24,93	93,61
PC207D	1035	gres	49,7	18,56	20,14	50,90
PC207D	1030	1	16,12	7,23	-9,01	84,05
PC207D	1030	2	10,12	9,52	-19,11	91,39
PC207D	1030	3	8,66	12,07	-23,26	93,48
PC207D	1030	gres	49,51	19,51	21,62	51,34
PC207D	1030	1	14,53	7,5	-10,51	85,79
PC207D	1030	2	9,69	10,32	-20,48	92,03
PC207D	1030	3	8,05	13,53	-25,41	94,43
PC207D	1030	gres	51,29	18,66	19,55	49,06
PC207D	1009	1	14,17	7,92	-12,36	86,35
PC207D	1009	2	8,69	11,77	-23,41	93,53
PC207D	1009	3	8,25	12,75	-24,36	94,07
PC207D	1009	gres	48,38	16,89	18,52	52,18

* muestra a la misma temperatura de cocción se nombro (cop)
** con respecto al blanco de referencia WS-1
Tabla 1. Coordenadas colorimétricas y diferencias de color.

3.3 Diferencias de color entre las piezas cerámicas

Las figuras 2, 3 y 4 presentan la diferencia de color del esmalte con el pigmento aplicado a distintas pasadas entre las distintas temperaturas. Para el cálculo de las diferencias se empleó la ecuación (1) descrita en el apartado 3.1, donde el primer subíndice de ΔE describe la temperatura referencia-patrón, y el segundo la temperatura de la muestra. El valor de ΔE mayor que la unidad representa que las diferencias del color son notables al ojo humano. Para los distintos pigmentos (OC55, CC47 y PC207D), se observa que la diferencia de color es notoria y en algunos casos bastante considerable entre las aplicaciones a las distintas temperaturas de cocción (1035°C, 1030°C, 1009°C y 1003°C), y en 1P, 2P y 3P. Estas diferencias sugieren que existe una estrecha relación de la variabilidad del color con la temperatura.

3.4 Espectros de reflectancia.

Existe una correlación entre el número de pasadas y la concentración de pigmento dentro de la matriz vítrea. Una evidencia de esta idea es la respuesta espectral de reflectancia de las piezas cerámicas como se puede observar en las figuras (5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17) en la región espectral del azul (380 nm – 450 nm), donde se observa un máximo de reflectancia, que fluctúa en relación al número de pasadas; otra causa de la fluctuación es la intensidad del máximo de reflectancia con respecto a la temperatura. Los pigmentos OC55 y CC47 muestran una mayor variabilidad con la temperatura que el pigmento PC207D, estos últimos presentan un espectro más estable. Una explicación a este fenómeno es la composición del pigmento, los primeros son carbonatos de cobalto y el otro es del tipo cobalto-

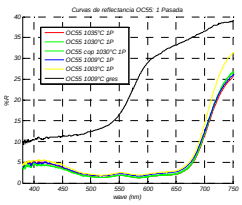
Figura 5. OC55, una pasada.

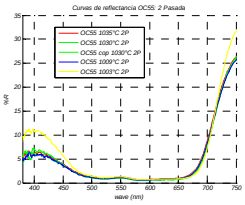
Figura 6. OC55, dos pasadas.

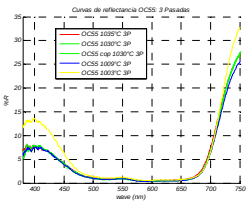
Figura 7. OC55, tres pasadas.

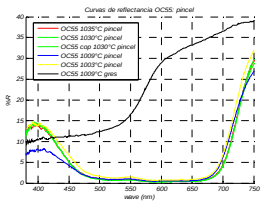
Figura 8. OC55, pincel.

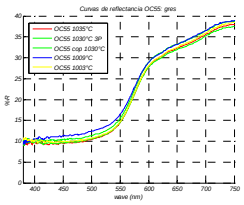
Figura 9. OC55, gres.

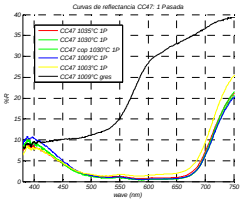
Figura 10. CC47, una pasada.

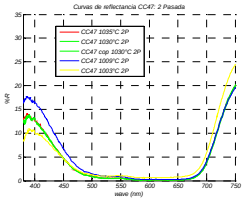
Figura 11. CC47, dos pasadas.

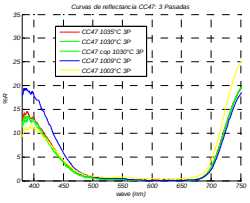
Figura 12. CC47, tres pasadas.

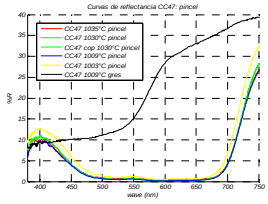
Figura 13. CC47, pincel.

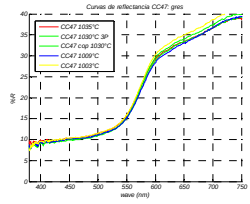
Figura 14. CC47, gres.

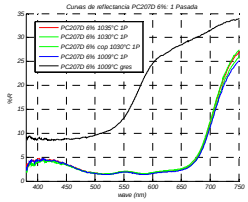
Figura 15. PC207D, una pasada.

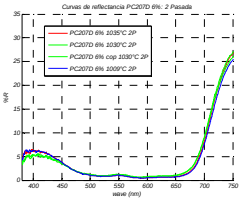
Figura 16. PC207D, dos pasadas.

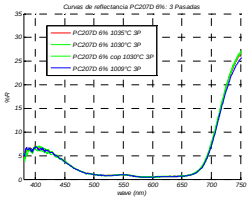
Figura 17. PC207D, tres pasadas.

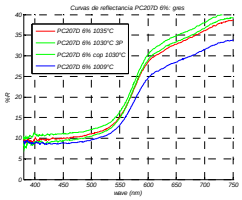
Figura 18. PC207D, gres.

silicio, otra razón es la interacción con el esmalte y el soporte; esta última se evidencia con la pendiente pronunciada del espectro del gres, que da cuenta del máximo local en todas las aplicaciones a 510 nm.

3.5 Relación de la reflectancia con la temperatura

A un valor fijo de longitud de onda 420,01 nm, se graficó el porcentaje de reflectancia del espectro en función de la temperatura para los distintos pigmentos: Figuras 19, 20 y 21. Se encuentra que existe una relación cúbica de la reflectancia en función de la temperatura (ecuación polinómica de ajuste y valor del estadístico R^2, generada por Excel), para aplicaciones de la tinta serigráfica en las distintas pasadas y la aplicación de pincel, pues el valor del estadístico R^2 es 1 o muy próximo a su valor en una cantidad no superior al 0,01% en las muestras OC55 y CC47.

4. CONCLUSIONES

La eficiencia y desarrollo del color es producto de la relación granulometría del pigmento y la alta reflexión del esmalte, sus defectos y su interacción con el soporte, pero sobre todo de las variaciones tonales con la temperatura, este es un factor que influye en las diferencias visuales del color.

La conclusión más importante a la que se llegó al final de este trabajo, es que existe una temperatura promedio óptima para las aplicaciones en las cuales se espera una variación mínima del tono (1010°C - 1020°C).

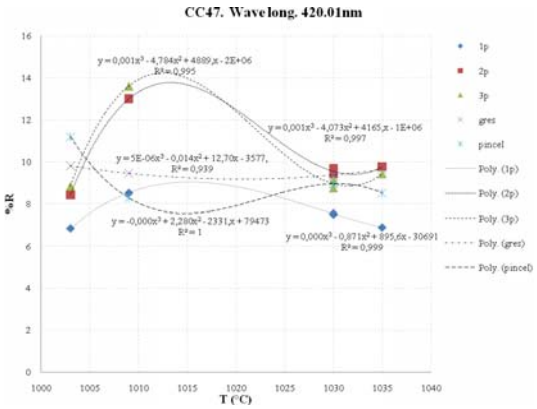

Figura 19. Reflectancia del CC47 a 420,01 nm en función de la temperatura.

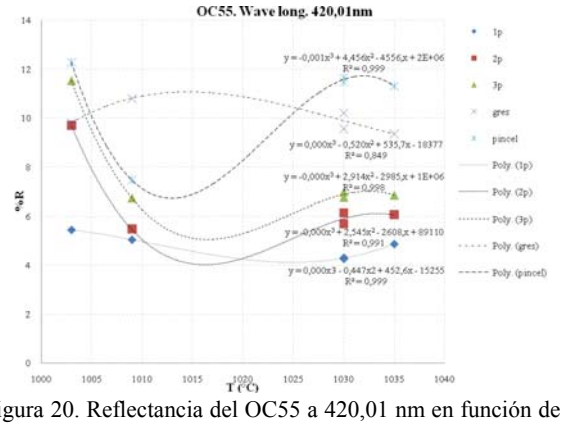

Figura 20. Reflectancia del OC55 a 420,01 nm en función de la temperatura.

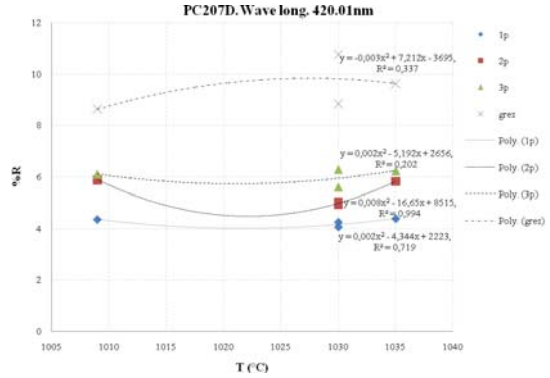

Figura 21. Reflectancia del PC207D a 420,01 nm en función de la temperatura.

5. BIBLIOGRAFÍA

Referencias de publicaciones periódicas:

[1] H. Camacho, A. García y L. Fuentes, "Estudio de los factores que gobiernan la coloración de los esmaltes cerámicos," en Boletín de la Sociedad española de Cerámica y Vidrio, Ene. - Feb. 2005, Vol. 44, No. 1, pp. 13-19.

[2] I. Tortajada, G, Peris-Farjarnés, M. Aguilar, y P. Latorre, "Análisis del proceso de clasificación cerámico," en Boletín de la Sociedad española de Cerámica y Vidrio, Ene. - Feb. 2006, Vol. 44, No. 1, pp. 22-27.

[3] J. Albors, J.L. Hervás, "La industria cerámica europea en el siglo XXI. Retos tecnológicos y desafíos de la próxima década," en Boletín de la Sociedad española de Cerámica y Vidrio, Ene. - Feb. 2006, Vol. 44, No. 1, pp. 13-21.

[4] J-F. GONNET. "Colour effects of co-pigmentation of anthocyanin revisited-3 A further description using CIELAB differences and assessment of matched colour using the CMC model," in Food Chemistry, 2001, Vol. 75, pp. 473-485. [Online]. Available: http://www.sciencedirect.com

[5] L. Dufossé, P. Galaup, E. Carlet, C. Flamin and A. Valla, "Spectrocolorimetry in the CIE L*a*b* color space as useful tool for monitoring the ripening process and the quality of PDO red-smear soft cheeses." in Food Research International, 2005, Vol. 38. pp. 919-924. [Online]. Available: http://www.sciencedirect.com

[6] M, Llusar, A. Forés, J.A. Badenes, J. Calbo, M.A. Tena and G. Monrós, "Colour analysis of some cobalt-based blue pigments," in Journal of the European Ceramic Society, 2001, Vol. 21, pp. 1121-1130. [Online]. Available: http://www.sciencedirect.com

[7] R. Muñoz, N. Maso, B. Julián, F. Márquez, H. Beltrán, P. Escribano and E. Cordoncillo, "Enviromental study of Cr2O3-Al2O3 green ceramic pigment synthesis," in Journal of the European Ceramic Society, 2004, Vol. 24, pp. 2087-2094. [Online]. Available: http://www.sciencedirect.com

Referencias de libros:

[8] J. B. Hutchings, *Food Colour and Appearance*. London: Blackie Academic & Professional Chapman & Hall, 1994, p 34.

[9] J.M. Artigas, P. Capilla, J. Pujol, y Coords, *Tecnología del color.* Valencia: Universitat de Valencia, 2002, 425p.

[10] R. Hevia, N. Centritto, P.A. Novaes de Oliveira, A.M. Bernardín y A. Duran, *Introducción a los esmaltes cerámicos.* Castellón: Red Iberoamericana sobre ciencia y tecnología de materiales vítreos, CYTED - faenza editrice ibérica, S.L., 224p.

[11] SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ÓPTICA, *Vocabulario del Color*. Alicante: Universidad de Alicante, 2002, 34p. [Online]. Available: http://www.ua.es/area/vision_color/color/descargas.html

Normas:

[12] Norma ASTM C 1510 – 01: (2007). *Standard Test Method for Color and Color Difference of Whitewares by Abriged Spectrophotometry*.

[13] Norma ASTM C 609 – 07. *Standard Test Method for Measurement of Light Reflectance Value and Small Color Differences between Pieces of Ceramic Tile*.

[14] Norma ASTM D 1223 – 9: (1998). *Standard Test Method for Specular Gloss of Paper and Paperboard at 75°*.

[15] Norma ASTM D 1729 – 96: (2003). *Standard Practice for Visual Appraisal of Colors and Color Differences of Diffusely-Illuminated Opaque Materials*.

[16] Norma ASTM D 2244-05: *Standard Practice for Calculation of color Tolerances and color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates*.

[17] Norma ASTM D 2745 – 00: *Standard Test Method for Relative Tinting Strength of White Pigments by Reflectance Measurements*.

[18] Norma ASTM D 332-87 (Reapproved 2004): *Standard Test Method for Relative Tinting Strength of White Pigments by Visual Observation*.

[19] Norma ASTM D 523 – 89 (Reapproved 1999): *Standard Test Method for Specular Gloss.*

[20] Norma ASTM E 1164 – 02. *Standard Practice for Obtaining Spectrometric Data for Object-Color Evaluation*.

[21] Norma ASTM E 1455 – 03. *Standard Practice for Obtaining Colorimetric Data from a Visual Display Unit Using Tristimulus Colorimeters*.

[22] Norma ASTM E 284 – 06b: *Standard Terminology of Appearance.*

[23] Norma ASTM E 308-01: *Standard Practice for computing the colors of Objects by Using the CIE System.*