

Análisis del proceso de clasificación cerámico

I. TORTAJADA¹, G. PERIS-FAJARNÉS¹, M. AGUILAR², P. LATORRE¹

¹Departamento de Expresión Gráfica en la Ingeniería

²Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Hoy en día la industria del pavimento y revestimiento cerámico español produce más de 600 MMm² al año, debiendo, cada pieza ser inspeccionada y clasificada en la mayoría de las empresas. Ello implica que normalmente cada modelo debe de ser almacenado por subgrupos en función del tono y del calibre, lo que supone la necesidad de un sistema de almacenamiento y distribución que tenga en consideración estos elementos.

El impacto económico derivado precisamente de la necesidad de un control de stocks, se ve incrementado en lo que se refiere al control del aspecto visual (relacionado con el diseño y el color). Esta clasificación es susceptible de ser automatizada, pero este procedimiento parece no haberse impuesto claramente frente a procesos de clasificación visuales realizados por clasificadores profesionales. La gran complejidad de los modelos, la dificultad en la definición de los criterios de clasificación, y la falta de criterios objetivos y repetibles para todos los diseños son cuestiones que dificultan la automatización de este proceso crucial de la cadena de producción.

Precisamente para estudiar el control cromático de las baldosas, es necesario hacer un análisis a fondo del proceso de clasificación cerámico. En este trabajo se estudia la clasificación tonal, resaltando las características tecnológicas y de investigación más reseñables en los últimos cincuenta años, así como sus perspectivas de futuro.

Palabras clave: Proceso de clasificación, Inspección visual, Umbral de discriminación de color.

Analysis of the ceramic sorting process

Nowadays the Spanish ceramic pavement and coating industry produces more than 600 MMm² per year, each piece having to be inspected and classified in most of the companies. This implies that each model must usually be stored by sub-groups based on the tone and the caliber, which implies the necessity of a storage and distribution system taking into consideration these elements.

The economic impact derived exactly from the need of a stock control, is increased because a control of the visual aspect (related to design and color) must be done. This sorting, can be automated, but this procedure seems not to have clearly been imposed in front of visual sorting processes made by professional sorting. The great complexity of the models, the difficulty in defining the classification criteria, and the lack of objective and repeated criteria for all the designs are issues that make difficult the automation of this crucial process of the production line.

Exactly to study the chromatic control of floor tiles, it is necessary to make a thoroughly analysis of the ceramic sorting process. In this work the tone sorting is studied, emphasizing the most prominent technological and research characteristics in the last fifty years, as well as their prospect of future

Keywords: Sorting Process, Visual examination, Color-differential thresholds.

1. INTRODUCCIÓN

La industria cerámica española, en general, ha evolucionado en los últimos años de forma espectacular. En concreto, el sector de pavimentos y revestimientos cerámicos ha experimentado un crecimiento de un 50% en 5 cinco años, pasando de producir 400 MMm² en 1995 a 620 MMm² en el 2000, con una facturación de 3.300 MEuro anuales. Esta producción se realiza en 230 empresas con más de 23.000 empleados, localizadas en su inmensa mayoría en la provincia de Castellón (1). Estos valores se mantienen crecientes durante los años 2001 y 2002, y es en el 2003 cuando, por primera vez, se produce un descenso de la producción cercano al 3% (2). De todas formas, hoy se puede decir que en el sector de pavimentos y revestimientos, España ha alcanzado ya la producción de su tradicional competidor, Italia.

En cada una de las industrias de pavimento y revestimiento, se hace imprescindible la realización de un control estricto del producto, haciéndose con carácter general, en función de su tono y de su calibre. En lo que se refiere al calibre, existen sistemas muy precisos que permiten un perfecto control de esta variable, no ocurriendo lo mismo en los aspectos relacionados con el color y el diseño que se le aplica a la baldosa debido a que, incluso cuando se adopta una tolerancia en base al promedio de un conjunto de observadores expertos, siempre va a hacerse con un criterio más subjetivo, como es la clasificación visual.

Precisamente, en este artículo, pretendemos realizar un análisis objetivo de la situación actual con relación a las herramientas objetivas de clasificación de baldosas cerámicas

por su aspecto visual, con el fin de disponer de una información conjunta, ordenada y comentada, que permita conocer los límites, capacidades y potencialidades de estos sistemas.

2. PROBLEMA DE SOBREPDUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO

Ante este incremento espectacular de la producción cerámica española en la última década, es importante reseñar un problema que está presente cada vez más y que empaña en buena medida el prestigio ganado con esfuerzo durante los diez últimos años. Es el problema del aumento progresivo del Stock.

TABLA I. PRODUCCIÓN, VENTAS Y STOCK EN EMPRESAS CERÁMICAS ESPAÑOLAS 1991-1999 SEGÚN ASCER

Año	Producción (MMm ²)	Ventas totales estimadas (MMm ²)	Producción -ventas (MMm ²)	stock (MMm ²)
1991	228	218,0	10,0	10
1992	261	243,3	17,7	27,7
1993	281	287,7	-6,7	21,0
1994	320	337,4	-17,4	3,6
1995	400	383,4	16,6	20,2
1996	424	382,3	41,7	61,9
1997	485	457,4	27,6	89,5
1998	564	507,8	56,2	145,7
1999	602	539,2	62,8	208,5

Si se observa la tabla I, referida a la producción en España, se ve que a lo largo de la década, la producción crece de forma considerable como las ventas, pero, excepto en los años 1993 y 1994, siempre con un número de ventas inferior a la producción. Por tanto, el stock, ha ido aumentando de forma considerable. La producción, por tanto, no está en consonancia con la demanda del mercado, y como se puede apreciar en la tabla I, se ha multiplicado por tres mientras que el stock lo ha hecho por veinte, pasando de ser un 4% de la producción en el año 1991 a casi un 35% en 1999.(3)

El hecho de disponer de una cantidad de producto almacenado permite a las empresas responder con mayor rapidez a la demanda. No obstante dicha aparente ventaja, no es tanta debido precisamente a la excesiva atomización del producto almacenado en subcategorías cromáticas (habitualmente denominados "tonos"), lo que lleva, a su vez a una sobreproducción para que cada grupo o lote disponga de un número mínimo de metros que permitan poder responder a la demanda con un producto homogéneo y de gran calidad.

Si bien es evidente que el objetivo a lograr es la reducción total de los factores que producen esta variabilidad en el producto, siempre va a ser necesario un control de calidad riguroso del producto fabricado, y así mismo, el conocimiento detallado de la variabilidad "cromática" y de los criterios fundamentales que la definen van a permitir a su vez conocer y controlar los factores que la generan.

3. PROCESO DE CLASIFICACIÓN

En las empresas cerámicas, y con carácter general hay cuatro factores que se miden y que caracterizan a la totalidad

de las baldosas. Estos cuatro factores conducen a las siguientes clasificaciones:

1. Clasificación por resistencia a la rotura (mide la resistencia de la baldosa al aplicarle una carga puntual controlada, es muy poco utilizada en la actualidad)
2. Clasificación por escuadrado (mide la angulación entre los lados de cada baldosa)
3. Clasificación por calibre (mide el grosor de la propia baldosa a la salida de la línea)
4. Clasificación por tono (mide la tonalidad de la baldosa)

Las tres primeras se hacen siempre de forma mecánica o automática, es la clasificación tonal la que se realiza mayoritariamente de manera visual, y es la que decide y define cada diseño en los denominados "tonos", siendo realizada por personal especializado para ello, los "clasificadores".

En cuanto a los criterios por los que se debe clasificar un modelo en diferentes tonos, el número de tonos y la creación de "tonos nuevos" de un determinado diseño son decididos por los clasificadores con independencia de que esta clasificación se realice de manera automática o manual. Ello es así porque, incluso los sistemas automáticos de clasificación deben ser ajustados para cada modelo, en función del criterio del clasificador. Por ello, hasta cierto punto podemos afirmar que la clasificación por "tonos" del proceso productivo actual se basa en criterios subjetivos, sin el uso de herramientas automáticas de ajuste o de definición de rangos objetivos de tolerancias de color. Es decir, el proceso de clasificación, se hace en la parte final del proceso en línea y es realizado por personal especializado cuya base de conocimiento proviene normalmente de la propia experiencia práctica.(4)

El control del color en la producción era uno de los problemas que se habían planteado el Instituto de Tecnología Cerámica de Castellón en el periodo comprendido entre 1993 y 2004 (5).

Sin duda, el ojo humano es uno de los mejores medidores de color que existen (6), (7). Sin embargo, no es posible conseguir una total uniformidad en los criterios de clasificación debido a que incluso un mismo clasificador está afectado por factores tan evidentes como la fatiga visual, que le hace percibir de manera diferente una misma diferencia de color en dos momentos del día diferentes. A estas diferencias de criterio personales hay que añadir las diferencias entre clasificadores diferentes afectadas a su vez por características propias del observador tales como la edad, el sexo, el estado psicológico, ... (8), (9).

Por ello, es fundamental la obtención de un sistema que permita definir unos criterios de clasificación objetivos y únicos, y que sean aceptados por los clasificadores de las empresas. Podemos afirmar que dichos criterios, procedimientos o métodos de definición de los umbrales de clasificación, hoy por hoy, no existen.

4. EVOLUCIÓN DE LA CLASIFICACIÓN

Es importante conocer como ha evolucionado el proceso de clasificación en la última mitad del siglo XX y como se encuentra en la actualidad para tener una idea clara del estado del arte sobre la clasificación de baldosas cerámicas, la discriminación visual y el control instrumental, y además para conocer los cambios que han ido aconteciendo y el porqué de los mismos.

4.1. Inspección Visual.

Hasta 1960, la clasificación tonal siempre se realiza mediante inspección visual debido a la no existencia de suficiente desarrollo tecnológico para instrumentalizar el proceso. A partir de esta época se empieza a aplicar la colorimetría a la industria, en general, y a la cerámica, en particular. Aparecen los primeros colorímetros que se pueden usar para cuantificar la medida del color sobre baldosas cerámicas (10-13). Incluso, se plantean por primera vez estudios referentes a valorar las desviaciones existentes entre medidas realizadas por distintos aparatos y en distintos laboratorios (14). Sin embargo, continúa la clasificación visual, aunque como se aprecia en la Tabla II se comienzan a patentar máquinas clasificadoras y a fabricarlas tanto en EEUU como en Europa.

TABLA II. PRINCIPALES MÁQUINAS DE CLASIFICACIÓN IDEADAS EN LA DÉCADA DE LOS 60.

Máquina de clasificación	Investigadores	País	Año
Cromoselettore automatico	Cooperativa cerámica de Imola	Italia	1959
Clasificador de azulejos por colores	Howard Mays y otros. Patente nº 3,189.177	EEUU	1965
Máquina de selección automática	Sociedad Francesa de Cerámica. Vilnat y Pagano	Francia	1967

Sin embargo, en todos los casos hay una coincidencia: los costes que acarrea la fabricación de estas máquinas frenan su producción industrial y por tanto su uso en el sector cerámico, quedándose en esta década únicamente como prototipos (15) y (16).

4.2. Colorímetros – Espectrofotómetros. Metamerismo.

En la década de los 70, aunque ya existe la tecnología adecuada para medir el color a la salida de la línea de producción, la mayoría de las empresas son reacias al cambio. Algunos de los motivos por los que no se produce el cambio son: la estabilidad laboral de los clasificadores, las presiones internas, el peso específico del clasificador en la empresa, o simplemente el miedo al cambio.

Se le da mucha importancia en la bibliografía consultada a los problemas del metamerismo (dos muestras pueden tener curvas de reflectancia espectral diferentes pero con los mismos valores triestímulos, o lo que es lo mismo, la misma apariencia bajo condiciones de iluminante, observador y geometría dados, de forma que al variar alguna de ellas, varía la apariencia (17)). Para la medida del grado de metamerismo se usan ciertas fuentes luminosas de prueba-referencia como se hace en los llamados “índices especiales de metamerismo” (11), (18), (19).

Los problemas de metamerismo tienen una gran incidencia en la aplicación de la colorimetría a la cerámica, ya que

los colorímetros, instrumentos usados en los años 70, no detectan si dos baldosas son iguales o metámeras bajo ciertas condiciones de observación. Los únicos instrumentos que dan, en esta época, la suficiente garantía para asegurar que dos baldosas son o no iguales son los espectrofotómetros, que además de dar las coordenadas cromáticas indican la curva de reflectancia espectral.

Ya en 1971, Missiroli, en Italia, calcula y fija los límites de tolerancia adecuados en las variaciones de las características cromáticas para productos cerámicos (20).

En 1974, Marcus y Billmeyer Jr, plantean en EEUU un estudio estadístico que complementa al que 10 años antes realizasen Illing y Balankin sobre precisión de medidas de pequeñas diferencias de color. (14). Se miden en distintos instrumentos, distintos operarios y sobre muestras distintas, empezando a utilizarse dos conceptos básicos en el control de calidad: la repetitividad (capacidad de un instrumento en repetir sus lecturas) y la reproducibilidad (capacidad de varios instrumentos para obtener idénticas lecturas sobre una muestra dada).(21)

En España, en 1975 se presenta la primera de un trío de tesis en el Departamento de Óptica de la Universidad de Granada, de una gran influencia e importancia en el desarrollo y estudio posterior de las capacidades de discriminación cromática. Esta primera fue presentada por el Dr. Enrique Hita Villaverde (22). Las otras dos fueron presentadas en 1979 y 1984 respectivamente por los Doctores Enrique Jiménez Gómez (23) y L. Miguel Jiménez del Barco Jaldo (24).

La CIE, en 1976, establece dos nuevos espacios de color perceptualmente uniformes, el CIELAB y el CIELUV. Siendo el primero de ellos de gran aplicación industrial posterior. Ambos sistemas fueron posteriormente adoptados también como norma UNE (25), (26).

4.3. Cambios importantes en la demanda.

Hacia el final de la década de los 70 y principios de los 80, se producen avances importantes en dos campos complementarios, por un lado, en el estudio de la influencia de los factores físicos, fisiológicos y psicológicos de la percepción visual del clasificador, (9), (27) y por otro en el intento de normalizar el problema de la capacidad de discriminación del color estableciendo una forma comprensiva de describir los datos de perceptibilidad de pequeñas, moderadas y grandes diferencias de color bajo una gran variedad de condiciones de observación.(28), (29). En los años 80, se empieza a usar de forma habitual, tanto en colorímetros como en espectrofotómetros el espacio de color uniforme CIELAB. Parece que va a ser la década de la introducción de las máquinas clasificadoras para el control de calidad tonal. Sin embargo, se produce un cambio importante en la demanda. Hasta ahora las baldosas eran uniformes, y con la lectura de un espectrofotómetro era suficiente. Pero se producen cambios importantes en la demanda y se empiezan a demandar baldosas moteadas, con superficies irregulares en sus colores, con diseños sofisticados, con texturas, ... (30). Ya no se puede hacer la clasificación tonal de forma instrumental, pues las máquinas clasificadoras que se basaban en el uso de colorímetros o espectrofotómetros no dan los mismos resultados de medida para una misma baldosa si se mide en el centro, en un extremo, o en cualquier otro punto, por ello no se produce el salto a la automatización en la clasificación tonal continuándose en la mayoría de las empresas la inspección visual.

4.4. Normalización en las medidas de pequeñas y medianas diferencias de color.

En la década de los 90 se produce una reorientación en las líneas de investigación en lo referente a la colorimetría industrial y los sistemas de clasificación. Por un lado, se realizan esfuerzos considerables en establecer una relación cuantificable entre la diferencia de color visual y la numérica para la evaluación de la colorimetría industrial (8), (31-34). En estos años, destacan las investigaciones realizadas en lo referente a umbrales de discriminación del grupo de investigación del Departamento de Óptica de la Universidad de Granada, dirigidos por los doctores E. Hita, M. Melgosa y J. Romero (35-39), fruto de un gran número de tesis dirigidas, de entre las que destacan las de los Doctores J. A. García, M. M. Pérez Gómez, J. A. Martínez, F. Pérez y A. Yebra (40-44). La CIE aprueba la organización de un nuevo comité técnico TC1-29 para la evaluación de las diferencias de color industrial en 1991 (45), en 1994 sale la nueva fórmula de diferencia de color basada en CIELAB, llamada ΔE_{94} . Además, en 1995 se elabora una guía CIE para coordinar futuros trabajos de evaluación industrial de diferencias de color (46).

Por otro lado están los esfuerzos en torno a la normalización de las medidas de pequeñas diferencias de color en pavimentos y revestimientos cerámicos. Comienzan a investigar en Brasil sobre el control de calidad para pavimentos y revestimientos a través de análisis colorimétricos (47), (48). El comité C-21 de la ASTM genera una norma donde se especifica un método para realizar un test estándar en la medida de pequeñas diferencias de color en baldosas (49), aunque se indica explícitamente que no debe ser usado cuando las baldosas sean multicolores, moteadas o con diversas texturas en su superficie, ya que el resultado podría no ser válido. Esa misma norma, tiene su equivalente en España cuando en el año 2001 sale la norma UNE-EN ISO 10545. Las limitaciones de la norma son las mismas que las comentadas en la ASTM (50).

4.5. Sistemas de adquisición de imágenes.

A finales de los años 90 se abandonan las técnicas de clasificación mediante la medida con colorímetro o espectrofotómetro ya que no sirven más que para baldosas lisas y uniformes. Se sustituyen por sistemas de adquisición de imágenes por cámaras en blanco y negro de primera generación. En superficies homogéneas funcionan bien detectando además de las diferencias de color, rajaduras, marcas de goteo y cantos rotos, pero no lo hacen todavía de forma eficaz para las baldosas coloreadas y moteadas de forma aleatoria (51).

Se producen mejoras importantes en lo referente al cálculo de diferencias de color. La CIE, pone en marcha un nuevo Comité Técnico, el CIE TC1-47. A partir de sus estudios y experiencias aparece una nueva fórmula de diferencias de color (la última hasta la fecha), llamada CIEDE2000 (52-54). El Departamento de Óptica de la Universidad de Granada actualmente, además de las contribuciones relativas a la mejora de la nueva fórmula CIEDE2000, está desarrollando un experimento para estudiar la influencia de texturas simuladas sobre la evaluación de diferencias de color (55).

El esfuerzo investigador sobre el desarrollo de sistemas de adquisición de imágenes es muy importante como atestiguan las tesis doctorales presentadas, los proyectos realizados gracias a los "programas marco" de la unión europea y los sistemas creados desde finales de los 90 hasta hoy (tabla 3).

En 2001, en Alemania, Massen y Franz ponen en el mercado un sistema multisensorial de inspección de segunda generación, que no solo mide la variación global de tonos de color en el azulejo, sino también los cambios en la distribución estadística de los elementos decorativos (56), (57). En España, en el año 2002, el grupo de investigación del Profesor Valiente, de la Universidad Politécnica de Valencia presentan en el XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, un nuevo método automático para la clasificación de tonalidades en

TABLA III. PRINCIPALES TESIS Y PROYECTOS A FINALES DE LOS 90 Y PRINCIPIOS DEL 2000.

Tipo	Organismo, autores	Título
Tesis doctoral 1997	M. Corbalán. Universidad Politécnica de Cataluña	Métodos para el procesado de la información de color para la mejora del reconocimiento de objetos por correlación óptica.
Tesis doctoral 1997	J. Fernández. Universidad Politécnica de Madrid.	Técnicas avanzadas de procesamiento morfológico y textural. Aplicación a la inspección de baldosas cerámicas.
III Programa Marco de la UE.	Proyecto BRITE/EURAM2 Nº de control 6663	Automatic system for surface inspection and sorting of tiles.
II Programa Marco de la UE.	Proyecto BRITE/EURAM1 Nº de control 4235	Precompetitive automated visual inspection applied to stone process.
IV Programa Marco de la UE.	Proyecto SMT Nº de control 39072	Optical Technology for intelligent monitoring on-line.
III Programa Marco de la UE.	Proyecto BRITE/EURAM1 Nº de control 6637	In-process quality control and product characterization system for traditional ceramics.
IV Programa Marco de la UE.	Proyecto ESPRIT4 Nº de control 31473	Colour and texture inspection equipment.
IV Programa Marco de la UE.	Proyecto BRITE/EURAM3 Nº de control 24352	Algorithms and image processing techniques for image analysis, defect detection, colour tone analysis, and the sorting.
Tesis doctoral 2003	R. Huertas Universidad de Ciencias de Granada	Diferencias de color en muestras con texturas simuladas.

la fabricación de azulejos también mediante sistemas de adquisición de imágenes (58), (59).

4.6. La situación actual y perspectivas futuras

En la actualidad, y de manera paralela a la necesidad de un control automatizado del aspecto, calidad y geometría de las piezas cerámicas, con independencia de su diseño, se está trabajando en el control del proceso y en el estudio detallado de los factores de éste que puedan producir dichas alteraciones (especialmente las que afectan al horno). La eficacia y la presión por una calidad y una reducción de los costes pasa por evitar al máximo la producción de defectos.

Por lo tanto podemos decir que ya no es suficiente con tener instalados sistemas de adquisición de imágenes al final de las líneas de producción, donde las baldosas ya están listas para enviar y ya no se puede hacer nada más con respecto a su calidad. Lo que realmente interesa es analizar algunas posiciones importantes del proceso productivo en donde realizar un seguimiento del proceso para poder separar las piezas con defectos antes de llegar al horno (ya que una vez dentro poco se puede hacer por mejorarlas) (60). Es importante, desde el punto de vista del control del proceso hacer un seguimiento tanto de la prensa, donde se suelen encontrar problemas relacionados con el relieve, como de las fases del proceso de esmaltado, y en esta última, en concreto parece fundamental el control minucioso de la decoración, donde se sabe que se generan casi el 50% de todos los defectos de fabricación (61).

Esta retroalimentación necesaria para ejercer un verdadero control de calidad sobre el proceso productivo cerámico indica la dirección hacia la que han de converger los esfuerzos investigadores de los grupos que estudian el tratamiento del color y el control de calidad en el sector. Actualmente, está en marcha un ambicioso proyecto europeo del V programa marco, con un acrónimo o título suficientemente expresivo "MONOTONE", y cuyo principal objetivo es garantizar un tono único en todas las fases del proceso. Dicho proyecto está coordinado por la Universidad Politécnica de Valencia, y colaboran con ella empresas y entidades importantes en el sector como la Universidad delle Mache (Ancona), Keros S.A, Ferro Enamel, KERAJET, Surface Inspection, H&R Tiles, Leonardo 1502, ARIAI, la Universidad de Bristol, Quis, SCI y OMRON.

5. CONCLUSIONES

Después de repasar la evolución del proceso de clasificación de baldosas cerámicas, uno se siente bastante contrariado, ya que a pesar de los innumerables avances tecnológicos acontecidos en los últimos 50 años, la situación actual de la inspección dentro de la línea de producción es muy similar a la de entonces, aunque el entorno sea muy diferente.

Algunos de los sistemas de adquisición de imágenes funcionan experimentalmente en unas pocas empresas, aunque en combinación posterior con el personal de clasificación que supervisa mediante inspección visual la clasificación automática. Eso significa, que las empresas no están utilizándolos de manera continua y regular.

La experiencia y la opinión de los autores con relación a la instalación de sistemas automáticos de inspección, tales como el uso del sistema de Surface Inspection, es que, pese al aparente funcionamiento y operatividad de tales sistemas de

inspección, existe una postura predeterminada en contra de la utilización de los mismos. Su precio, o la necesidad de que el sistema deba ser validado por diferentes clasificadores con una amplia experiencia (pero tácita), puede provocar dicha posición.

Posiblemente, hasta el año 2010 no se extenderá el uso de estos sistemas de forma generalizada en el sector, mientras tanto, la clasificación cerámica se continuará realizando mediante inspección visual.

BIBLIOGRAFÍA

1. E. Criado, M. Regueiro, E. Sánchez, "La industria Cerámica en España (1990-2000)" Bol. Soc. Esp. Ceram. V., 40, 6, 413-428, (2001).
2. E. Criado, E. Sánchez, M. Regueiro. "La industria cerámica española ¿ante un cambio de ciclo?". Bol. Soc. Esp. Ceram. V., 43, 1, 85-101, (2004).
3. E. Escuder, M.J. Pérez, G. Peris-Fajarnés, "Producción Cerámica Española: Necesidad de una Reflexión" Técnica Cerámica 299, 1554-1563, (2001)
4. R. Massen, T. Tranz, "Out sight", Ceramic Industry, noviembre, 38-41, (1.999).
5. A. Barba. "From Chemical Engineering to ceramic Technology: A review of Research at the Instituto de Tecnología Cerámica". Bol. Soc. Esp. Ceram. V., 44, 3, 155-168 (2005).
6. P. Capilla, J. M. Artigas, A. Felipe, "Óptica fisiológica: psicofísica de la visión". Ed. MacGraw-Hill Interamericana, ISBN 84-486-0115-7, Madrid, 1995.
7. M. Aguilar, V. Blanca, "Iluminación y Color", Servicio publicaciones Universidad Politécnica de Valencia, ISBN: 84-7721-453-2. Valencia, 1995
8. Y.S.W. Li, C.W.M. Yuen, K.W. Yueng, K.M. Sin, "Prediction of the best-fit regression model to correlate instrumental colour measurement and visual assessment", J. Soc. Dyers Colour., 115, 1, 22-31, (1999).
9. E. Hita, J. Romero. "Análisis de la influencia de las condiciones de observación en los procesos de discriminación en color", Opt. Pur. Apl., 14, 1, 11-17, (1981)
10. R. W. Batchelor. "La medida del color y su aplicación a la industria cerámica". Bol. Soc. Esp. Ceram. V., 4, 5, 441-456, (1965).
11. J. Jonckheere. "Colorimétrie Industrielle". Bull. Soc. Franç. Céram., 76, 3, 89-95, (1967).
12. A. Baudran. "La colorimétrie des émaux: problèmes et moyens de les résoudre". Bull. Soc. Franç. Céram., 76, 3, 85-87, (1967).
13. J. Gileod. "La mesure de la couleur et ses applications dans l'industrie". Bull. Soc. Franç. Céram., 83, 2, 69-77, (1969).
14. M. Illing, I. Balankin. "Precision in Measurement of Small Color Differences". Am. Cer. Soc. Bull., 44, 12, 956-962, (1965)
15. C. Leleu, "Problèmes de couleur dans l'industrie céramique". Silicates Ind., 25, 4, 182-192, (1960).
16. J. Vilnat, M. Pagano. "Essais et mesures colorimétriques en céramique". Bull. Soc. Franç. Céram., 76, 3, 97-119, (1967).
17. H. S. Shah, R. S. Gandhi. "Medida e igualación del color en textiles". Asociación Industrial de Óptica (AIDO), ISBN 84-482-0186-8, Valencia, España. 1993
18. CIE, "Suplement 1, Pub. 15 (E-1.2.2)" Francia. 1972.
19. A.C. Curtis, "Colour: Today and Tomorrow". Vitreous Enameller, 32, 4, 93-100, (1981).
20. A. Missiroli. "Esame critico comparativo delle misure di colore eseguito da vari laboratori nell'ambito del programma C.E.C.". Ceramurgia, 1, 3, 189-208, (1971).
21. R. T. Marcus, F. W. Jr. Billmeyer. "Statistical Study of Color-Measurement Instrumentation". Appl. Opt., 13, 6, 1519-1530, (1974).
22. E. Hita. "Influencia de las condiciones experimentales en los umbrales diferenciales de color". Tesis doctoral Universidad de Granada, 1975.
23. E. Jiménez Gómez. "Discriminación cromática en igualaciones isómeras". Tesis doctoral Universidad de Granada, 1979.
24. L. M. Jiménez del Barco. "Colorimetría diferencial en igualaciones metámeras". Tesis doctoral Universidad de Granada, 1984.
25. UNE 72.031-83. "Magnitudes colorimétricas". España, 1983.
26. J.M. Artigas, J.C. Gil, A. Felipe, "El espacio uniforme de color CIElab. Utilización". Rev. Agroquím Tecnol Alimen., 25, 3, 316-320, (1985).
27. F. Finus. "Einflußfaktoren bei der coloristischen Beurteilung und Objektivierung durch farbmessung". Ber. Dt. Keram. Ges., 55, 2, 64-68, (1978).
28. A. R. Robertson. "CIE Guidelines for Coordinated Research on Colour. Difference Evaluation". Color Res. Appl., 3, 3, 149-151 (1978).
29. F. Bruckner. "Qualitätssicherung von farbigen Oberflächen". Mitteil. Ver. Deut. Emailf., 28, 8, 92-96, (1980).
30. I. S. Mueller-Florath, B. A. Jacoby. "Directions in Tile Color and Texture". Bull. Am. Cer. Soc., 69, 12, 1942-1943, (1990).

31. R. G. Kuehni. "Industrial Color Difference: Progress and Problems". *Color Res. Appl.*, 15, 5, 261-265, (1990).
32. R. MacDonald. "European Practices and Philosophy in Industrial Colour-difference Evaluation". *Color Res. Appl.*, 15, 5, 249-260, (1990).
33. Roy S. Berns, David H. Alman, Lisa Reniff, G.D. Snyder, M. Balonon-Rosen. "Visual Determination of Suprathreshold Color-Difference Tolerances Using Probit Analysis". *Color Res. Appl.*, 13, 5, 297-316, (1991).
34. Y. S. W. Li, C. W. M. Yuen, K. W. Yueng, K. M. Sin. "Instrumental shade sorting in the past three decades". *J. Soc. Dyers Colour.*, 114, 4, 203-209, (1998).
35. J. A. García, J. Romero, L. Jiménez del Barco, E. Hita. "Improved formula for evaluating color-differential thresholds". *Appl. Opt.*, 31, 29, 6292-6298, (1992).
36. J. A. García, J. Romero, A. García Beltrán, L. Jiménez del Barco. "Interobserver Variability of Chromaticity Discrimination and Color Representation Spaces". *J. Optics*, 24, 2, 65-69, (1993).
37. M. Melgosa, E. Hita, J. Romero, L. Jiménez del Barco. "Color-Discrimination Thresholds translated from the CIE (x, y, Y) Space to the CIE 1976 (L*,a*,b*)". *Color Res. Appl.*, 19, 1, 10-18, (1994).
38. M. Melgosa, M. M. Pérez, E. Hita. "Chromaticity-discrimination thresholds with aperture and objects colors: experimental results and predictions of some recent color-difference formulas". *Appl. Opt.*, 35, 1, 176-187, (1996).
39. J. Campos, E. Hita, J. Romero, M. Melgosa, J. M. Artigas, P. Capilla, A. Felipe, F. M. Verdú, J. Pujol, I. Noguera, L. Jiménez del Barco. "Avances y tendencias recientes en colorimetría". *Opt. Pur. Apl.*, 30, 1-35, (1997).
40. J. A. García. "Determinación experimental de diferencias de color, normalización colorimétrica y modelos de visión". Tesis doctoral Universidad de Granada, 1991.
41. M. M. Pérez Gómez. "Determinación experimental de umbrales de discriminación cromática bajo distintos modos de presentación. Adecuación a diferentes fórmulas de diferencias de color". Tesis doctoral Universidad de Granada, 1994.
42. J. A. Martínez Ferrer. "Estudio de la influencia de las funciones de mezcla sobre la determinación de diferencias de color". Tesis doctoral Universidad de Granada, 1995.
43. F. Pérez Ocón. "Discriminación cromática: funciones de mezcla". Tesis doctoral Universidad de Granada, 1996.
44. A. Yebra Rodríguez. "Evaluación de umbrales de discriminación en mecanismos de la visión del color". Tesis doctoral Universidad de Granada, 1997.
45. D. H. Alman. "CIE Technical Comité 1-29, Industrial Color-Difference Evaluation". *Color Res. Appl.*, 16, 3, 219-220, (1991).
46. K. Witt. "CIE Guidelines for Coordinated Future Work on Industrial Colour-Difference Evaluation". *Color Res. Appl.*, 20, 6, 399-403, (1995).
47. P. Pinheiro, D. Hotza, C. Setter, C. Pérez. "Control de calidad para revestimientos cerámicos a través de análisis colorimétrico de superficies vidriadas monocromáticas". *Cerámica Industrial*, 2, 3-4, (1997).
48. F. G. Melchiades, A. O. Boschi. "Colores y tonalidades en revestimientos cerámicos". *Cerámica Industrial*, 4, 1-6, (1999).
49. Comité C-21 de la ASTM para cerámicas, porcelanas y productos relacionados. "Standard Test Method for Measurement of Small Color Differences Between Ceramic Wall or Floor Tile" ASTM C609 90 0759510 0561240 TT2.
50. Comité Técnico AEN/CTN 138. "Baldosas cerámicas. Determinación de pequeñas diferencias de color". NORMA UNE-EN ISO 10545 PARTE 16, 2001.
51. R. Massen, D. Hartung, Y. Marzi. "Control automático de la calidad de las baldosas mediante la elaboración en tiempo real de las imágenes a color". *Ceramica Informazione*, 378, 267-269, (1998).
52. CIE Publication 142, "Improvement to industrial colour-difference evaluation (Technical Report)" CIE Central Bureau, Austria, 2001.
53. M.R. Luo, G. Cui, B. Rigg. "The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000". *Color Res. Appl.*, 26, 340-350, (2001).
54. M. Melgosa, M.M. Pérez, A. Yebra, R. Huertas, E. Hita. "Algunas reflexiones y recientes recomendaciones internacionales sobre evaluación de diferencias de color". *Opt. Pur. Apl.*, 34, 1-11, (2001).
55. R. Huertas, A. Yebra, M.J. Rivas, M. M. Pérez, M. Melgosa, E. Hita. "Diferencias de color en muestras homogéneas y con textura simulada relativa". VIIª Reunión Nacional de Óptica, Santander del 8 al 11 de septiembre de 2003.
56. R. Massen. "Clasificación óptica automática de azulejos porcelanados". *Cerámica Información*, 252, 29-32, (2000)
57. R. Massen, T. Franz. "La calidad de los sistemas automáticos de inspección de azulejos". *Cerámica Información*, 273, 63-66, (2001).
58. F. López, J. M. Valiente, J. R. Navarro, F. Acebrón. "Inspección automática de tonalidad en procesos industriales: aplicación a la clasificación de azulejos". XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. pag 288-294, Santander (2002).
59. J. M. Valiente, F. Acebrón, F. López, J. R. Navarro. "Sistema de inspección visual automática de azulejos de patrón fijo". XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. pag 309-318, Santander (2002).
60. R. Massen. "Aumento de la producción cerámica con sistemas de visión bivalentes: inspección y seguimiento del proceso automático con la misma tecnología". QUALICER 2004, pag 3-6, España.
61. G. Peris-Fajarnés. "Análisis de los parámetros de impresión serigráfica que afectan a la variación del tono obtenido en azulejos producidos por monococción". Tesis doctoral Universidad Politécnica de Valencia, España, 1998.

Recibido: 10.01.05

Aceptado: 26.08.05

