

HOMOGENEIDAD DEL COLOR EN MEZCLAS CEMENTÍCEAS PARA OBTENER LA MENOR DIFERENCIA DE COLOR ΔE^*_{76}

Anahí López^{1,2}, Alejandro Ramón Di Sarli³

¹ LEMIT / CICPBA; La Plata, colores@lemit.gov.ar

² LEMaC / UTN-FRLP y CICPBA Centro Asociado, Berisso

³ CIDEPINT / CONICET-CICPBA-UNLP, La Plata, a.disarli@cidepint.ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

Los avances en el conocimiento del hormigón dieron lugar a técnicas que requirieron adaptaciones según la propiedad distintiva considerada, por ej., el color. Esta característica superficial es una sensación visual cuantificable según ensayos no destructivos y coexiste si un objeto es iluminado y visto. Sumadas a las técnicas de medición, algunas fórmulas permitieron determinar similitudes o diferencias de color y estándares de calidad. Estos niveles son más exigentes cuando se califican pinturas, razón por la cual el trabajo presenta una metodología para medir el color en morteros usando el espacio CIELAB y analizar modelos perceptuales mediante las fórmulas de diferencia de color ΔE^*_{76} y ΔE_{00} con el fin de determinar su homogeneidad del color y nuevos estándares de calidad. El procedimiento se aplicó en morteros gris, blanco, rojo, amarillo, negro, verde o azul. El análisis estadístico de diferentes poblaciones y comparaciones entre modelos perceptuales permitió establecer que si el objetivo es diseñar un color homogéneo es posible hacerlo realizando hasta 9 mediciones de color.

Palabras claves: número de mediciones, color, mezclas cementíceas, colorímetro.

INTRODUCCIÓN

EL color es un atributo visual que permite diferenciar los objetos incluso entre blanco o negro. Numerosos estudios de color en planificación urbana y ambiente, en cultura e identidad, en imagen, iluminación, industria textil, cuero, cosméticos, pinturas y recubrimientos, moda e indumentaria, salud y ciencia para la industria son realizados de manera constante y multidisciplinaria por la Asociación Internacional del color y centros de color. [1]

Las bases para medir el color y evaluar sus diferencias son extensamente desarrolladas en la literatura. [1-7] El espacio CIELAB permite caracterizar el color por medio de las coordenadas L^* , a^* y b^* y las fórmulas de diferencia de color CIEDE1976 (Ec. 1) y CIEDE2000 (Ec. 2) son algunos de los modelos perceptuales utilizados en la industria para evaluar similitudes o cambios del color. A estos parámetros se los llama diferencia de color total ΔE^* . La norma Europea EN 12878 recomienda usar CIEDE1976 [8] y la Tabla 1 muestra el valor que adquiere a medida que las diferencias de color se perciben en superficies de hormigón o pintura. [9] Algunos estudios demuestran la posibilidad de diseñar el color del hormigón evaluando previamente el color del mortero fabricado en el mismo tipo de molde. En este diseño de experimento sólo se realizaron mediciones y se completó con otro llevado a cabo en paneles de hormigones arquitectónicos comunes o

autocompactables observados en laboratorio con iluminación artificial a una distancia de tres metros. Así, manchas detectadas revelaron que el valor ΔE_{76}^* umbral de visibilidad es a partir de 3 unidades. [10] Este nuevo umbral permite cuantificar que la estabilidad del color de morteros amarillos en una cámara con temperatura y humedad controlada está garantizada durante 18 meses [11], no así el color original en hormigones expuestos durante 48 meses en ambiente marino o industrial en los cuales el color amarillo, rojo o negro cambia y es notorio, sin embargo, la tonalidad si los pigmentos son de óxido de hierro se mantiene, no así en el caso de las ftalocianinas cúpricas azul o verde en las que se pierde la tonalidad y se observan grises. [12]

$$\Delta E_{76}^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Donde $\Delta L^* = L_b^* - L_a^*$, $\Delta a^* = a_b^* - a_a^*$ y $\Delta b^* = b_b^* - b_a^*$ son las diferencias entre dos zonas o condición de cada coordenada.

$$\Delta E_{00} = \left[\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right)^2 + R_T \cdot \Delta C' \cdot (K_C S_C)^{-1} \cdot \Delta H' \cdot (K_H S_H)^{-1} \right]^{1/2} \quad (2)$$

Tabla 1: Niveles de diferencia de color total ΔE_{76}^*

No Visible	Muy leve	Leve	Notable	Muy Notable	Grande	Muy Grande
<0,2	0,2-0,5	0,5-1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	6,0-12,0	>12

El carácter versátil del hormigón al cual siempre se hace alusión también dificulta el diseño del color porque éste depende de los materiales, del molde y del observador. Los costos de investigación son elevados y sólo la medición por sí sola no garantiza su reproducción ya que también depende del tiempo de curado. [13] A su vez, existe el hábito de comparar la terminación de una mezcla cementícea coloreada en su masa, que es una roca artificial, con la obtenida mediante la aplicación de una capa superficial de pintura. Por ello, para abaratar costos de investigación, se sugiere realizar la menor cantidad posible de mediciones p y que esas mediciones permitan diseñar un color lo más homogéneo. Un análisis estadístico y perceptual determina que es suficiente realizar sólo 10 ensayos sobre superficies de mortero de 6400 cm² y que de tres muestras diferentes cualquiera puede ser elegida para su medición. [14]

Este trabajo tiene como objetivo principal aplicar una metodología de análisis que contemple un análisis estadístico y los condicionamientos reales de percepción que experimentalmente se han venido desarrollando durante 10 años de experiencia.

DETALLE EXPERIMENTAL

Preparación de las muestras

Se elaboraron morteros con cemento gris (G) o blanco (B), pigmentos sintéticos y arena sílicea de color amarillento. Los colorantes fueron pigmentos tipo óxidos de hierro rojo (R), amarillo (A) o negro (N), dos ftalocianinas cúpricas azul (Z) o verde (V) y negro de humo (Nh). El mezclado fue mecánico y consistió en homogeneizar 1200 g de arena de tamaños entre 0,2 y 1,0 mm, 600 g de arena desde 1,0 a 2,0 mm, 200 g de filler calizo, 15 g de pigmento rojo, amarillo, azul, verde o negro (2,50 % en peso del cemento), o 5 g de negro de humo (0,83 % en peso del cemento), durante 10 segundos a velocidad lenta; luego se incorporaron 175 g de agua, cuando fue totalmente absorbida se añadieron 500 g de cemento y se mezcló durante 200 segundos a igual velocidad.[8] La consistencia que se

obtiene con esta proporción de materiales es muy seca. Con cada mortero se moldearon 3 prismas de 40x40x160 mm; transcurridas 24 horas se quitaron de los moldes y se mantuvieron en una cámara acondicionada a humedad relativa 55±5 % y temperatura 20±1 °C. Así quedaron conformadas 12 mezclas identificadas como G, B, N, Nh, GR, BR, GA, BA, GZ, BZ, GV y BV. En las mezclas N y Nh los pigmentos se combinaron sólo con cemento gris.

Medición del color y análisis estadístico

El color fue medido usando el Colorímetro Micro Color Dr. Lange programado para registrar según las coordenadas del espacio CIELAB. Se estableció el siguiente procedimiento lógico: **I)** realizar 9 (nueve) mediciones de color por cada prisma (27 mediciones por cada mortero); **II)** reordenar las mediciones según tres grupos de 9 medidas, las tres primeras (Tp), las tres siguientes (Ts) y las tres últimas (Tu) de cada prisma; **III)** calcular las medidas de centralización (Ec. 3; Ec. 4, Ec. 5) y de dispersión (Ec. 6; Ec. 7; Ec.8); **IV)** con estos parámetros estadísticos establecer límites máximos y mínimos y calcular las diferencias de color ΔE^*_{76} (Ec. 1) y ΔE_{00} (Ec. 2), también identificar la diferencia de coordenada que tiene mayor incidencia en la diferencia de color ΔE^*_{76} (Ec. 9); **V)** calcular el intervalo de confianza (IC) más exigente (Ec. 10; Ec. 11), para evaluar similitudes de variables entre cada grupo comparando si el valor promedio de cada variable se encuentra en el IC concluyendo en variables cualitativas: *todos, algunos, ningunos*, esto se realiza eligiendo el grupo con el menor valor de ΔE^*_{76} (paso IV) y con los parámetros estadísticos (paso III); **VI)** realizar el análisis y la justificación y **VII)** concluir sobre la homogeneidad del color. La Tabla 2 resume la secuencia de razonamientos.

Tabla 2: Metodología de análisis de la homogeneidad del color.

↓I. Definir el número de mediciones por muestra		
9 mediciones de L_i^* , a_i^* y b_i^* por muestra (6400 mm ²). 27 mediciones por color.		
↓II. Reagrupar las medidas registradas en las tres muestras		
tp	ts	tu
↓III. Calcular los parámetros estadísticos		
Promedio	\bar{L}^* (Ec. 3); \bar{a}^* (Ec. 4); \bar{b}^* (Ec. 5)	
Desvío estándar	s_L (Ec. 6); s_a (Ec. 7); s_b (Ec. 8)	
↓IV. Realizar el análisis estadístico y modelos perceptuales		
Calcular valores límites máximos y mínimos: $\bar{L}^* \pm s_L$; $\bar{a}^* \pm s_a$; $\bar{b}^* \pm s_b$. Calcular con estos límites el parámetro ΔE^*_{76} (Eq. 1) comparado a ΔE_{00} (Eq. 2). Determinar la diferencia ΔL^* , Δa^* o Δb^* que más influye en ΔE^*_{76} según proporcionalidad.		
↓V. Calcular el intervalo de confianza más exigente (IC)		
Elegir el menor valor de ΔE^*_{76} (paso IV) y con los parámetros estadístico (paso III) calcular el intervalo de confianza (IC) con \bar{X} (Ec. 10) e \bar{Y} (Ec. 11). Determinar si <i>todos, algunos</i> o <i>ningunos</i> de los valores de \bar{L}^* ; \bar{a}^* ; \bar{b}^* se encuentra en el IC		
↓VI. Analizar los resultados estadísticos y los modelos perceptuales: interpretaciones		
↓VII. Conclusiones: ¿qué nivel de homogeneidad tiene el color?		

$$\bar{L}^* = \sum_i L_i^* / n \quad (3); \quad \bar{a}^* = \sum_i a_i^* / n \quad (4); \quad \bar{b}^* = \sum_i b_i^* / n \quad (5)$$

$$s_L = \pm \left[\frac{\sum_i^n (L_i^* - \bar{L}^*)^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (6) \quad s_a = \pm \left[\frac{\sum_i^n (a_i^* - \bar{a}^*)^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (7); \quad s_b = \pm \left[\frac{\sum_i^n (b_i^* - \bar{b}^*)^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (8)$$

$$\frac{\Delta E_{76}^{*2}}{\Delta E_{76}^{*2}} = \frac{\Delta L^{*2}}{\Delta E_{76}^{*2}} + \frac{\Delta a^{*2}}{\Delta E_{76}^{*2}} + \frac{\Delta b^{*2}}{\Delta E_{76}^{*2}} \quad (9)$$

$$\bar{X} = \mu - Z(\sigma/\sqrt{n}) \quad (10); \quad \bar{Y} = \mu + Z(\sigma/\sqrt{n}) \quad (11) \text{ para cada valor de } L^*, a^* \text{ o } b^*.$$

μ toma los valores de μ_L, μ_a, μ_b y se corresponden con $\bar{L}^*; \bar{a}^*; \bar{b}^*$ respectivamente mientras que σ toma los valores de $\sigma_L, \sigma_a, \sigma_b$ correspondidos con s_L, s_a, s_b . A su vez n es igual a 9. La mayor exigencia se obtiene con $Z=1.96$ que incluye a los valores que aparecen con el 95 % de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 3 muestra los resultados calculados según lo indicado en los pasos ↓I, ↓II, ↓III y ↓IV de la Tabla 1 para todos los grupos. Además se subrayó el grupo de cada color que indica la menor diferencia de color ΔE_{76}^* . Se incluyó aquí el valor ΔE_{76z}^* calculado según los valores del intervalo de confianza (paso ↓V) y una imagen alusiva a cada color.

Los valores de $\bar{L}^*; \bar{a}^*$ y \bar{b}^* se correspondieron con los colores típicos: **a)** G, B, N y Nh tienden a ser acromáticos o desaturados debido a que las coordenadas a^* y b^* fueron menores y la coordenada L^* sólo aumentó o disminuyó según el color; **b)** GR y BR tienen valores de $+a^*$ mayores que los de $+b^*$; **c)** viceversa para GA y BA; **d)** GZ y BZ tuvieron valores negativos de a^* y b^* ; mientras que **e)** GV y BV sólo fue negativa la coordenada a^* . Estos valores estadísticos traducidos en el modelo perceptual ΔE_{76}^* señalaron que de treinta y seis grupos, diecinueve tuvieron valores menores a 3 (B: Tp, Ts, Tu; N: Tu; Nh: Ts; GR: Ts, Tu; BR: Ts, Tu; BA: Ts, Tu; GZ: Tp, Ts, Tu; BZ: Tp, Ts, Tu; BV: Tp, Tu); cinco grupos fueron muy cercanos a 3 y menores a 4 (N: Tp, Ts; Nh: Tp; GA: Tp; BV: Ts); otros cinco grupos entre valores de 4 y 5 (G: Tp, Tu; Nh: Tu; BR: Tp; BA: Tp) y siete grupos tuvieron valores de ΔE_{76}^* entre 5 y 7,4 (G: Ts; GR: Tp; GA: Ts, Tu; GV: Tp, Ts, Tu). Independientemente de las características y cantidades grupos que cumplen con valores menores o cercanos a 3 y otros menores a 5, otros grupos indican problemáticas donde los cambios de color son percibidos y en estos casos el nivel de homogeneidad es difícil de garantizar. Los colores con menor homogeneidad son el GV y el GA.

Para analizar la incidencia que tienen los valores promedio respecto al intervalo de confianza que exige incluir el 95% de los resultados, en la Figura 1 se comparó una línea vertical, que contiene el valor promedio de ese grupo y representa el intervalo de confianza IC, con los valores promedios de los demás grupos. Estos valores se dibujaron con símbolos llenos o vacíos si están respectivamente fuera o dentro del intervalo IC. Luego se completó el paso ↓V para asignar la variable cualitativa a las variables estadísticas. En los colores BR y GZ *Todos* los valores de $\bar{L}^*; \bar{a}^*$ y \bar{b}^* estuvieron en el IC, por otro lado la mayoría de las variables de los demás colores se caracterizaron por la categoría *Algunos*. Esto indica que para exigencias de diferencia de color $\Delta E_{76z}^* < 3$ unidades si bien algunos valores quedan fuera del IC el color es homogéneo. Cada color debe ser analizado en particular y las incidencias de cada diferencia $\Delta L^*, \Delta a^*$ o Δb^* adquiere importancia si $\Delta E_{76}^* < 3$ unidades y serán de igual magnitud para el parámetro perceptual más exigente ΔE_{76z}^* o ΔE_z^* . El color GV es una excepción al caso.

Tabla 3: Valores estadísticos de color y parámetros perceptuales.

Color	Grupo	$\bar{L}^* \pm s_L$	$\bar{a}^* \pm s_a$	$\bar{b}^* \pm s_b$	ΔE^*_{76}	ΔE_{00}	ΔE^*_{76z}	Foto*
G	Tp	70,2±1,9	1,9±0,3	7,4±0,6	4,1	3,2	2,7	
	Ts	70,9±3,1	2,1±0,2	7,8±0,6	6,3	4,8		
	Tu	70,7±2,2	2,2±0,3	8,1±1,0	4,8	3,7		
B	Tp	81,6±0,8	1,3±0,1	4,0±0,1	1,6	1,1		
	Ts	82,0±0,5	1,4±0,2	3,9±0,2	1,1	0,9		
	Tu	82,1±0,5	1,3±0,1	3,9±0,2	1,0	0,7	0,6	
N	Tp	50,1±1,6	0,2±0,2	0,0±0,4	3,3	3,2		
	Ts	49,5±1,6	0,2±0,4	-0,2±0,4	3,4	3,4		
	Tu	48,8±1,3	0,2±0,2	-0,2±0,4	2,7	2,7	1,8	
Nh	Tp	36,4±1,2	-0,7±0,5	0,3±0,8	3,1	3,0		
	Ts	34,4±0,5	0,1±0,5	-0,5±0,6	1,9	2,1	1,2	
	Tu	35,2±1,9	0,2±0,5	-0,1±1,3	4,7	4,3		
GR	Tp	58,9±2,3	24,2±1,2	14,3±0,6	5,3	4,3		
	Ts	59,2±0,5	25,2±0,7	15,2±0,3	2,0	1,2		
	Tu	59,1±0,5	24,7±0,7	15,0±0,3	1,8	1,2	1,2	
BR	Tp	57,3±2,2	26,1±0,8	13,1±0,4	4,8	4,1		
	Ts	56,7±1,0	26,8±0,5	13,6±0,4	2,5	2,0	1,6	
	Tu	57,7±0,8	25,6±0,8	12,8±0,8	2,8	1,8		
GA	Tp	70,2±0,5	6,7±0,5	31,1±1,5	3,3	1,5	2,2	
	Ts	70,1±1,0	6,6±0,7	30,1±2,5	5,5	2,7		
	Tu	70,2±1,5	6,2±0,5	29,7±2,1	5,2	2,9		
BA	Tp	73,5±1,9	8,4±0,5	33,3±1,0	4,4	3,0		
	Ts	73,7±0,8	8,3±0,3	33,5±0,9	2,5	1,4		
	Tu	74,2±0,6	8,0±0,3	31,7±0,9	2,3	1,2	1,5	
GZ	Tp	58,3±1,1	-9,9±0,3	-7,9±0,2	2,4	2,1		
	Ts	57,5±0,8	-9,9±0,2	-7,7±0,3	1,8	1,6	1,2	
	Tu	58,3±0,6	-10,0±0,7	-7,8±0,4	2,0	1,7		
BZ	Tp	61,2±1,3	-11,7±0,2	-12,3±0,5	2,8	2,4		
	Ts	60,1±0,9	-11,8±0,2	-12,9±0,2	1,9	1,6		
	Tu	60,7±0,4	-11,6±0,2	-12,5±0,3	1,1	0,8	0,7	
GV	Tp	62,1±3,2	-10,6±0,3	11,3±0,5	6,5	5,5		
	Ts	62,0±3,7	-10,7±0,3	11,1±0,4	7,4	6,3		
	Tu	61,9±3,0	-10,2±0,5	10,9±0,6	6,2	5,3	4,1	
BV	Tp	61,9±1,3	-12,3±0,4	9,9±0,2	2,8	2,4		
	Ts	61,7±1,4	-12,3±0,7	10,0±0,4	3,3	2,8		
	Tu	60,4±0,4	-12,6±0,2	10,0±0,1	1,0	0,8	0,7	

*Las imágenes son ilustrativas de los colores. Nótese que G se visualiza más claro que B. Posible error de registro o diferentes condiciones fotográficas. ΔE_{00} se incluye para generar una base de datos y se advierte que, generalmente, es menor al valor de ΔE^*_{76}

La Figura 2 compara los parámetros perceptuales ΔE^*_{76} (símbolo remplazado por ΔE^*), para el menor valor ΔE^* de cada color (Fig. 2.a), el valor ΔE^*z según su respectivo ajuste en IC (Fig. 2.c), y el análisis estadístico (Paso $\downarrow III$ y $\downarrow IV$) para las 27 mediciones realizadas en cada color (Fig. 2.e). Además, se grafica la influencia proporcional que tiene cada cambio de la diferencia ΔL^* , Δa^* y Δb^* (Fig. 2b, Fig. 2d, Fig. 2f), respectivamente.

La línea horizontal roja indica que los valores menores a 3 unidades de ΔE^* son homogéneos y estos niveles se consiguen con nueve mediciones. La Figura 2e justifica que aumentar el número de medidas no garantiza la homogeneidad del color, puesto que en lugar de disminuir las diferencias de color, como es de esperar estadísticamente, tienden a ser mayores. La incidencia de las diferencias ΔL^* , Δa^* y Δb^* tienen porcentajes similares

en la mayoría de los casos. Nótese que esto sucede incluso con los colores G y GV que fueron señalados como los más comprometidos (G: $\Delta L^* \sim 89\%$; GV: $\Delta L^* \sim 93\%$).

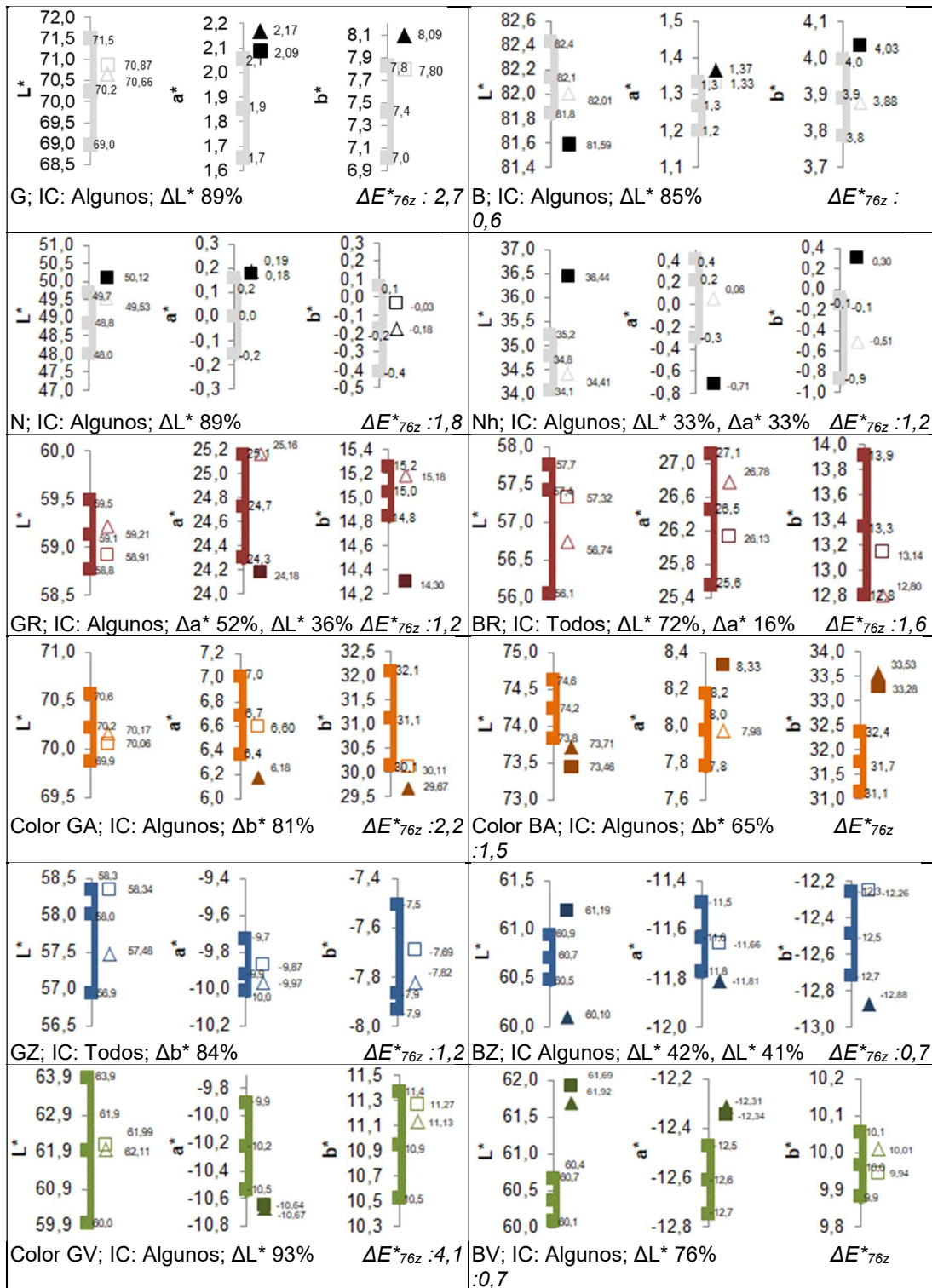


Figura 1: Intervalo de confianza, valores estadísticos y perceptuales en cada color. ↓V.

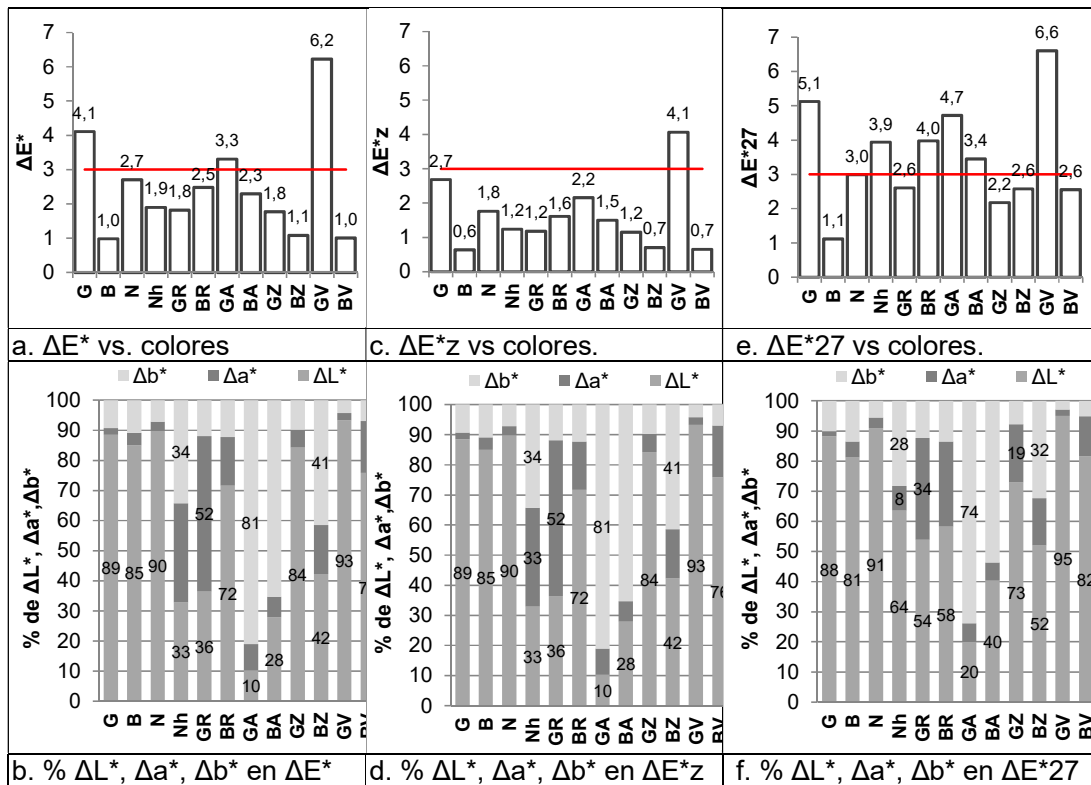


Figura 2: Diferencia de color e incidencia del % ΔL^* , Δa^* , Δb^*

CONCLUSIÓN

Este trabajo analiza cuántas mediciones son necesarias para obtener la menor diferencia de color con el menor costo de investigación, y el color de la muestra para definir la homogeneidad del mismo conducente a obtener criterios confiables para el diseño de mezclas cementíceas coloreadas.

La determinación del tamaño de muestreo es un problema cuando se necesita diseñar al color en mezclas cementíceas porque este material es muy heterogéneo y el color final de la superficie obtenida depende del tipo de material (cemento gris o blanco), de la cantidad de pigmento, del tratamiento superficial, y del tiempo y tipo de curado.

La teoría del muestreo en el trabajo consta de diferentes grupos de medidas y compara el parámetro estadístico con los modelos perceptuales.

El espacio de color CIELAB define el color de la superficie del mortero y el modelo CIEDE1976 distingue si el color cambia.

Los valores perceptuales calculados según CIEDE1976 son, en general, mayores que los obtenidos según la fórmula CIEDE2000.

Es muy difícil establecer una regla general porque el nivel de homogeneidad es propio de cada color. Sin embargo, en la posibilidad de obtener valores de CIEDE1976 < 3 unidades hace que la homogeneidad pueda ser garantizada ya que esta propuesta es más exigente que la de observar una superficie a tres metros de distancia.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo es financiado por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires en el marco del proyecto “Propiedades y Aspectos Estéticos del Hormigón Arquitectónico” desarrollado en el LEMIT. Se agradece al Sr. Juan Blangino dueño de la empresa cordobesa de mosaicos por haber facilitado desinteresadamente el colorímetro y poder realizar estas mediciones.

REFERENCIAS

- [1] <https://www.aic-color.org/publications-proceedings>.
- [2] Lozano RD, “El color y su medición”, Américal, Buenos Aires, (1978).
- [3] Melgosa M, Huertas R, Berns R S, “Relative significance of the terms in the CIEDE2000 and CIE94 color-difference formulas”, *Opt. Soc. Am.*, 21, 12, (2004), 1-7. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.21.002269>.
- [4] Sharma G, Wu W, Dalal E N, “The CIEDE2000 color-difference formula: implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations”, *Color Res. Appl.*, 30, 1, (2005), 21-30. <https://doi.org/10.1002/col.20070>
- [5] Technical Report CIE 15:2004 “Colorimetry”, Commission Internationale de L’ Eclairage (2004).
- [6] Schanda J, “Colorimetry. Understanding the CIE System”, Commission Internationale de L’ clairage. Hungary: Wiley-Interscience A John Wiley & Sons, Inc., Publication, (2007), 459.
- [7] Lozano R.D., “La apariencia visual y su medición”, 1er Ed., Dunken, Buenos Aires, (2015)
- [8] EN 12878: 2005. Pigments for the colouring of Building Materials based on cement and/or lime. Specifications and Methods of Test”.
- [9] Teichmann G, “The use of colorimetric methods in the concrete industry”, *Betonwerk + Fertigteil-Technik/Concr. Precast. Plant Technol*, 10, (1990), 58-73.
- [10] López, A. “Patrimonio moderno: evaluación de los aspectos estéticos”, III Congreso Iberoamericano y XI Jornada de Técnicas de Reparación y Conservación del Patrimonio, (2013), 1–13.
- [11] López A, Guzmán G A, Di Sarli A R, “Color stability in mortars and concretes. Part 1: Study on architectural mortars”, *Constr. Build. Mater.*, 120, (2016), 617-622. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.133>
- [12] López A, Guzmán G A, Di Sarli A R, “Color stability in mortars and concretes. Part 2 : Study on architectural concretes”, *Constr. Build. Mater.*, 123, (2016), 248-253. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.147>
- [13] López A, Di Sarli AR, “Atlas of architectural concrete: coloured cement mixtures and their interaction with wooden moulds”, en *Environmental Colour Design: Theory and Practice. Social Transformations 27*, V. M. Schindler and Y. A. Griber, Eds. Smolensk: Smolensk State University Press, (2017), 111-126.
- [14] López A, Guzmán G A, Di Sarli A R, “Measurements number in cementitious mixtures to define the color and its homogeneity”, *Constr. Build. Mater.*, 238, (2020), Article 117636 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117636>.