

MEDICIÓN DEL COLOR EN MATERIALES A BASE DE CEMENTO PORTLAND

López, A.¹, Tobes, J.M.², Positieri, M. J.³, y Zerbino, R.⁴

RESUMEN

Los avances en el diseño del hormigón han dado lugar a nuevas aplicaciones estructurales y arquitectónicas que se suman a las tradicionales. Entre ellas se destaca la incorporación de color al hormigón y otros materiales elaborados con cemento portland; su empleo en elementos premoldeados, pisos y ornamentaciones permite lograr una mayor integración de las construcciones con el medio circundante. Cada vez son más los materiales componentes con los que se elaboran dichos productos ya que se dispone de gran variedad de cementos, aditivos químicos y adiciones minerales. Entre ellos también se cuenta con pigmentos de diversa naturaleza que permiten elaborar hormigones con diferentes colores brindando una mayor integración estética con el medio ambiente. El LEMIT ha iniciado a partir de 2006 un proyecto de colaboración con la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba orientado al diseño y aplicación de Hormigón Autocompactable Coloreado, un material que abre nuevas alternativas y posibilidades de uso para la industria de la construcción. En este artículo se presenta la metodología de medición del color utilizada para materiales con cemento portland, basada en el empleo del sistema CIELAB. Se muestran algunos de los resultados obtenidos sobre pastas, morteros y hormigones elaborados con diferentes tipos y colores de pigmentos combinados con cemento gris y con cemento blanco.

INTRODUCCION

El Hormigón Autocompactable (HAC) ofrece grandes ventajas para la construcción de estructuras fuertemente armadas y con formas de difícil llenado. Además aparece como un material con grandes perspectivas en la fabricación de elementos premoldeados. La incorporación de color al HAC abre nuevas alternativas de aplicación arquitectónica; a su vez el HAC puede ser más económico debido a la mejora en la calidad superficial (1) y a las ventajas proporcionadas por la coloración que se logra a través de tratamientos superficiales o incorporando productos en la masa del hormigón (2-6).

El color es un atributo de la visión y una característica de la luz y los objetos. La luz es la energía radiante capaz de estimular la retina del ojo humano dando lugar a las sensaciones visuales, comprendiendo el espectro visible para el ojo humano longitudes de ondas entre 380 y 780 nm (7).

¹ Becario CONICET - UTN-FRC, GINTEMAC.

² Docente Facultad de Ingeniería UNLP.

³ Investigador GINTEMAC. Profesor UTN-FRC, UNC-FCEfyN.

⁴ Investigador CONICET, LEMIT. Profesor Facultad de Ingeniería UNLP.

Para percibir el color (impresión sensorial) es indispensable la coexistencia de tres elementos: luz, objeto y observador. Por ejemplo si un haz de luz blanca incide sobre un objeto, éste reflejará radiación que determinará curvas espectrales en distintas proporciones y magnitudes dependiendo de la pigmentación del objeto, las que pasarán a ser interpretadas por el sistema visual. De tal manera que si el objeto fuera blanco, el haz de luz se reflejará básicamente por igual para todas las longitudes de onda; contrariamente, si fuera negro el haz de luz será absorbido en su mayor parte. Un objeto rojo absorberá toda la radiación excepto el espectro rojo, que es lo que será reflejado y captado por el sistema visual. Los colores rojo (R), verde (G) y azul (B) son las variables por las cuales se identifica al color (7), se miden mediante instrumentos tales como colorímetros o espectrofotómetros con el fin de evitar apreciaciones subjetivas.

Este trabajo forma parte un proyecto de colaboración entre el Grupo GINTEMAC de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba y el LEMIT-CIC, y tiene por objetivos el diseño y aplicación de Hormigón Autocompactable Coloreado (HACC). En este artículo se presenta la metodología de medición del color utilizada sobre la base del sistema CIELAB y se indican los principales factores que modifican el color en el hormigón. Luego y a modo de aplicación, se presentan algunos resultados experimentales que permiten apreciar el efecto del contenido de filler o la influencia de la dosis de aditivo en pastas elaboradas con distintos pigmentos y tipos de cemento, la variabilidad del color entre caras expuestas y caras en contacto con los moldes y la vinculación entre las medidas del color de morteros y HACC.

EVALUACION DEL COLOR

El color es un atributo de la visión; los criterios y metodologías de mediciones del color se han discutido ampliamente en el seno de la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). Para evaluar el color se han aplicado diversas técnicas. Uno de los sistemas más empleados es el denominado CIELAB, donde se transforman los valores de reflectancia espectral de la muestra en valores triestímulos RGB y luego en XYZ. Sobre la base de estos últimos se calculan los parámetros L^* (luminosidad), a^* y b^* (coordenadas de cromaticidad), que se describirán posteriormente (7-9).

En 1976 la CIE oficializa fórmulas para obtener L^* , a^* y b^* para muestras opacas, definidas como aquellos objetos que no son atravesados por la luz. Cabe notar que si bien se sigue avanzando en el desarrollo de las formulaciones (10), estas ecuaciones aparecen en las normas vigentes (11-12) y son aplicadas por investigadores y usuarios (5-6, 13-14).

La gran variedad de materiales de construcción y posibles combinaciones hace dificultoso lograr la repetibilidad de un color en particular. Estudios orientados a la evaluación de la estabilidad del color en hormigones sometidos a distintas condiciones de exposición (5-6) confirman la necesidad de valorar el color a través de un número.

Por ejemplo, es importante determinar el grado de variación del color ante un mínimo ajuste de los materiales componentes; en muchos casos puede ser más importante valorar la uniformidad del color que conocer su real magnitud. Por ello se suelen establecer las magnitudes de las diferencias de un color respecto a un color de referencia o patrón (7). Finalmente la valoración del color a nivel de pastas y morteros aparece como un recurso práctico y económico para seleccionar y estimar el color en hormigones (15).

El sistema CIELAB

El CIELAB es un sistema de representación espacial del color por medio de una esfera. El color queda definido por tres variables, que suelen representarse gráficamente en sistemas cartesianos o polares. En el primero se hace referencia a los valores L^* , a^* , b^* y en el segundo a los parámetros luminosidad (L^*), saturación (C^*) y tono (h^*). Una iluminación dada se refleja sobre un objeto y es decodificada en tres variables (L^* , a^* , b^*).

La Fig. 1 representa un esquema de la esfera y muestra en el plano horizontal los ejes ortogonales a^* - b^* y en vertical el eje L^* . El eje a^* representa la variación amarillo-azul, siendo positivo para el primero ($+a^*$) y negativo para el segundo ($-a^*$). El eje b^* representa la variación rojo-verde, siendo positivo para el primero ($+b^*$) y negativo para el otro ($-b^*$) (7). L^* representa la luminosidad, que indica la variación entre el blanco (extremo superior), gris (centro de la esfera) y el negro (extremo inferior). La saturación permite juzgar el grado de pureza del color y está representada por el vector desde el centro al punto representativo del color en el plano a^* - b^* . Este parámetro queda establecido por el valor que adquiera el ángulo de tono (h^*). Este último permite juzgar si un color varía entre rojo, amarillo, verde y azul tomando valores de 0° , 90° , 180° y 270° respectivamente o valores intermedios (16).

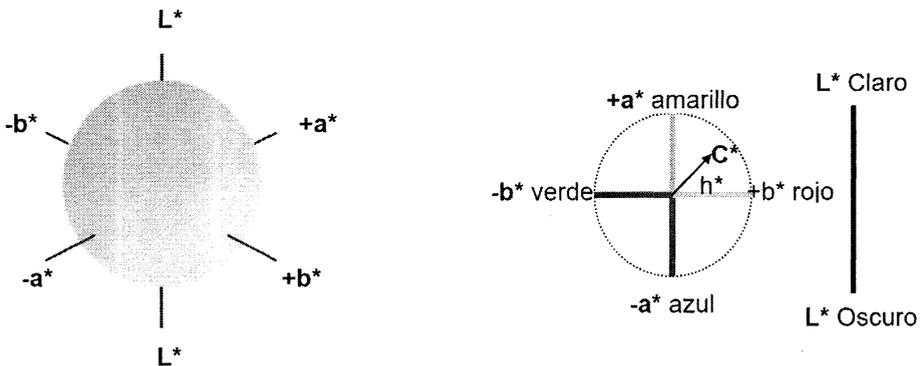


Figura 1. Sistema CIELAB.

Finalmente es posible definir el color a través del denominado color total (E); para cuantificar diferencias de color se puede calcular la diferencia de color total ΔE^* y estimar si dicha diferencia es percibida por el ojo humano a simple vista (10). Valores de ΔE^* menores a 1.5 no son detectados por el ojo humano.

En la Tabla 1 se presentan las fórmulas utilizadas para calcular la saturación C^* , el tono h^* , la diferencia de color total ΔE^* , la diferencia de luminosidad ΔL^* y las diferencias en los ejes a y b .

Tabla 1. Parámetros colorimétricos.

Parámetro	Símbolo	Cálculo
Saturación	C^*	$\sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$
Tono	h^*	$h^* = \text{arctg} \frac{b^*}{a^*}$
Diferencia de color total	ΔE^*	$\sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$
Diferencia luminosidad	ΔL^*	$L^*_{\text{muestra}} - L^*_{\text{patrón}}$
Diferencia eje a^*	Δa^*	$a^*_{\text{muestra}} - a^*_{\text{patrón}}$
Diferencia eje b^*	Δb^*	$b^*_{\text{muestra}} - b^*_{\text{patrón}}$

Instrumento de medición

El instrumento elegido para la medición del color fue un colorímetro Micro Color II Dr. Lange. En la Fig. 2 se presenta el equipo que está integrado por un cabezal de medición compuesto por una esfera integradora combinada con una lámpara de xenón. El mismo se posiciona sobre la muestra a medir (objeto); al accionar el disparador del flash, un haz de luz incide difusamente sobre la muestra. El espectro reflejado por la muestra es medido a un ángulo de 8° y a través de un cable de fibra de vidrio la señal pasa por filtros estándares de color (observador) y transformada en valores L^* , a^* y b^* que se leen en el display. Como datos técnicos cabe indicar que la esfera tiene una geometría difusa/ 8° , un iluminante estándar D65 y una repetibilidad de $0.10 \Delta E^*$ para el blanco (17).

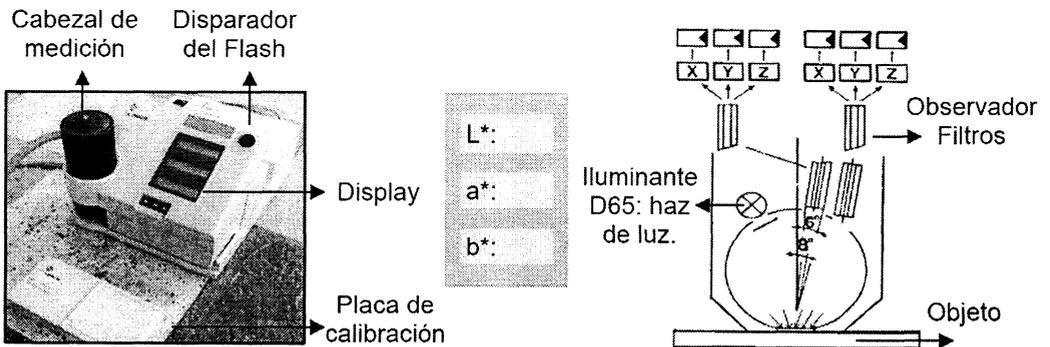


Figura 2. Colorímetro Micro Color II y esquema del funcionamiento de la esfera integradora.

Factores que modifican los parámetros cromáticos

El color del cemento influye significativamente en el color final de las mezclas, distintas partidas de un mismo tipo de cemento pueden dar lugar a marcadas diferencias en el color del hormigón. El contenido de hierro afecta notoriamente el color del cemento, siendo mínimo en el cemento blanco (5,6). Otro factor es el color de los agregados; el agregado fino tiene una importancia comparable a la del cemento, mientras que la incidencia del agregado grueso es despreciable, salvo en el caso de hormigón con agregado visto. De todos modos en la medida de lo posible es aconsejable seleccionar agregados con colores acordes a la tonalidad buscada.

Los aditivos también afectan el color; los plastificantes suelen favorecer la homogeneidad gracias a la mayor dispersión del cemento y del pigmento; los aditivos a base de lignosulfonatos por otro lado pueden oscurecen el material y favorecer la formación de eflorescencias (6). El curado y las condiciones de exposición son factores determinantes; muestras expuestas a diferentes tratamientos de envejecimiento mostraron cambios en la estabilidad de los parámetros colorimétricos con respecto a muestras expuestas a curado normal, los ciclos de mojado y secado, la radiación ultravioleta y la exposición a la intemperie son otros factores que modifican el color. Las variaciones se deben principalmente a disminuciones de la saturación; también se encontró que la limpieza no alcanza a reestablecer el color original (5-6).

PROGRAMA EXPERIMENTAL

El programa experimental planteado para la obtención y evaluación de Hormigones Autocompactables Coloreados comprende el desarrollo de estudios en tres escalas acorde al tipo de mezcla analizada; ellas son pastas de cemento, morteros y hormigones. La multiplicidad de materiales componentes que se emplean en un hormigón autocompactable plantea la conveniencia de realizar estudios en estos niveles con el fin de minimizar el trabajo experimental y lograr la optimización de las mezclas evitando numerosos pasos de prueba y error. Los estudios sobre pastas son particularmente aptos para la selección de cementos, aditivos químicos, adiciones minerales y pigmentos, en especial en lo referente a verificar la compatibilidad del sistema. Los estudios sobre morteros permiten ajustar los contenidos de pasta y agregado fino conforme y verificar los niveles de resistencia deseados; finalmente en el hormigón se ajusta el contenido de agregado grueso y se verifican las condiciones de autocompactabilidad (18).

Materiales y mezclas

Se elaboraron pastas, morteros y hormigones utilizando dos cementos grises (identificados como g1 y g2) de diferente procedencia, un cemento blanco (b), aditivos superfluidificantes a base de éters policarboxílicos y filler calcáreo como adición. Los pigmentos empleados incluyen tres colores compuestos por óxidos de hierro y un caso especial de negro de humo. Las mezclas con pigmentos se identifican en base al tipo y dosis de pigmento. Se utilizaron como agregados una arena silícea natural (módulo de finura: 2.39 y densidad: 2.60) y una piedra partida granítica (tamaño máximo 12 mm y densidad 2.75).

Preparación de las muestras

Se emplearon procedimientos habituales para la elaboración de pastas, morteros y hormigones; la incorporación del pigmento fue realizada junto con el resto de los materiales finos (cemento, filler calcáreo u otras adiciones). En todos los casos se utilizaron tiempos de mezclado mayores a 240 segundos, de acuerdo a lo recomendado por diversos autores (19). Para elaborar las pastas y morteros se empleó una mezcladora tipo Howard con dos velocidades, y en el caso de los hormigones, una mezcladora de eje vertical de 60 litros de capacidad.

En la Fig. 3 se esquematiza la forma y el tamaño de las probetas para la evaluación del color. El tipo A fue empleado en pastas, el tipo B en pastas y morteros y el C en hormigones. En cada caso se realizaron mediciones de color y se analizó la influencia de las superficies de las caras en contacto con el molde y las expuestas al aire, identificadas como "m" y "e", respectivamente.

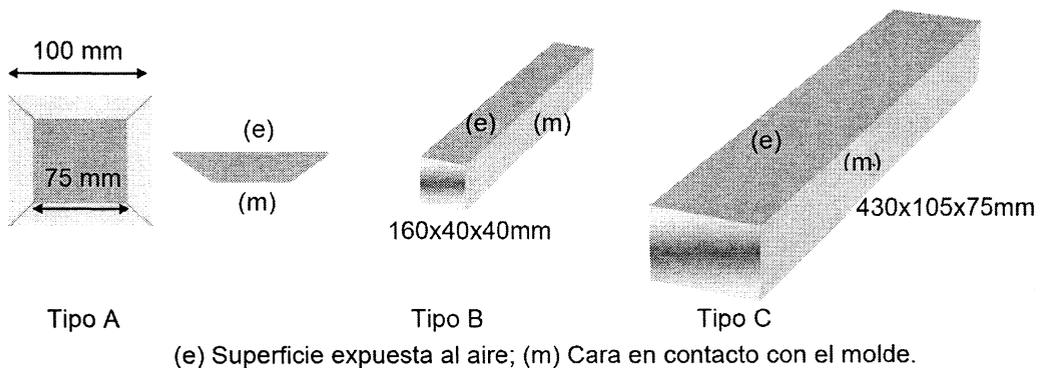


Figura 3. Forma y tamaño de las muestras empleadas.

Las muestras fueron sometidas a diferentes condiciones de curado; algunas fueron conservadas en los moldes y envueltas en film de polietileno hasta el momento de la medición, otras fueron curadas durante 28 días en cámara húmeda y luego mantenidas en cámara seca hasta el momento de la medición del color. Un aspecto interesante a destacar es que en todos los casos se realizó una limpieza del polvo superficial mediante un paño adecuado, a fin de que su influencia no alterara las mediciones del color.

Metodología de evaluación

Las determinaciones de los valores triestímulos se realizaron en todas las superficies de las muestras. El número de determinaciones fue adoptado de forma tal de alcanzar densidades del orden de 0.16 mediciones por cm^2 en el caso de pastas y morteros, en los hormigones se utilizó una densidad menor. En la Tabla 2 se indica la densidad de mediciones discriminando según las caras de medición (m o e) y el tipo de muestra. Una vez obtenidos los valores triestímulos se calcularon los parámetros C^* y h^* conforme a las fórmulas de la Tabla 1. Los parámetros obtenidos fueron promediados y se calculó la desviación estándar de cada uno de ellos.

Tabla 2. Densidad de mediciones.

Tipo de mezcla	Densidad de medición ⁺		Tipo de muestra
	(m)	(e)	
Pasta	0.160	0.090	A
Pasta	0.156	0.156	B
Mortero	0.156	0.156	B
Hormigón	0.052	0.066	C

⁺ (Nº/cm²) Cantidad de mediciones por unidad de superficie

ESTUDIOS DEL COLOR PARA EL DISEÑO DE HACCC

Uno de los interrogantes planteados se refiere al efecto del contenido de superfluidificante sobre el color. Para ello se analizaron pastas (P) y morteros (M) elaborados con cementos gris (g) y blanco (b) y diferentes dosis de aditivo. Otro de los aspectos estudiados fue la relación entre los colores obtenidos en morteros y los correspondientes a hormigones elaborados con el mismo conjunto de materiales.

Tabla 3. Valores promedios de los parámetros L*, a*, b*, C* y h* determinados sobre las superficies expuestas (e) o sobre las caras en contacto con el molde (m) de muestras de hormigones (H) y morteros (M).

Serie	Pigmento	L*	a*	b*	C*	h*
HA-m	Amarillo	65	5	22	22	78
HA-e		64	9	30	31	74
MA-m		67	7	27	28	76
MA-e		63	8	29	30	75
HR-m	Rojo	49	23	11	25	25
HR-e		42	28	15	32	28
MR-m		47	26	14	30	27
MR-e		42	29	16	33	29
HNh-m	Negro	31	1	-1	1	298
HNh-e		26	1	-1	1	264
MNh-m		29	<0.50	-1	1	299
MNh-e		27	<0.50	-1	1	279

En la Tabla 3 se resumen algunas de las mediciones realizadas respecto a la relación entre los colores obtenidos sobre morteros y hormigones. Al comparar los hormigones con el mortero correspondiente se observa que no hubo diferencias significativas en los valores de h^* , que fueron aproximadamente iguales a 27° y 75° para los pigmentos rojo y amarillo respectivamente. Sin embargo se observan diferencias entre las caras de los moldes (m) y las caras expuestas (e), mayores en los hormigones que en los morteros. Por su parte los valores de L^* fueron similares en morteros y hormigones alcanzando rangos entre 40-50 y 60-70 cuando se incorporaron los pigmentos rojo y amarillo respectivamente.

En las pastas sin pigmento las principales diferencias se encuentran en la luminosidad. La Fig. 4 muestra los valores triestímulos medidos en pastas y morteros. En la Fig. 4.a se representa la coordenada b^* en función de a^* observándose la tendencia acromática que caracteriza a estos materiales. La Fig. 4.b muestra que las luminosidades alcanzadas con cemento blanco se vieron incrementadas en 10 unidades respecto de las grises, como era esperable; sin embargo la luminosidad no se vio afectada ante incrementos de la dosis de aditivo (Fig. 4.c).

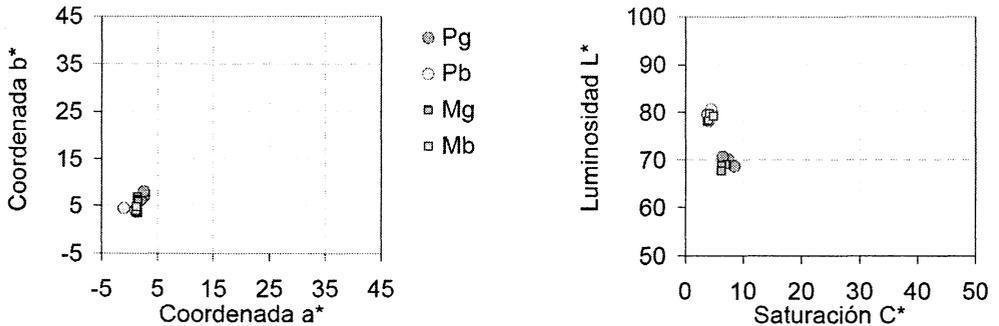


Figura 4. Pastas (P) y morteros (M) preparados con cemento gris (g) y blanco (b)
Fig. 4.a (izq) Variación de b^* vs a^* . Fig. 4.b (der) Variación de L^* vs C^* .

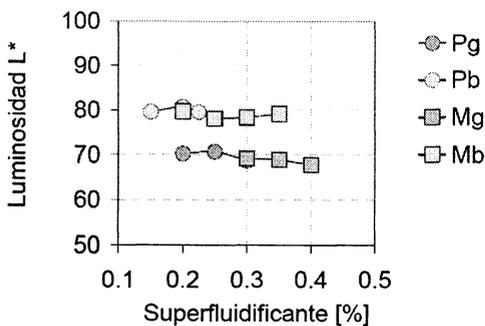


Fig.4 c. L^* vs porcentaje de aditivo superfluidificante.

También se estudió la influencia del contenido de filler calcáreo sobre la luminosidad de morteros elaborados con cemento gris, los resultados se muestran en la Fig. 5. Para una misma dosis de superfluidificante (SP) las luminosidades oscilan en el orden de 70 ± 5 unidades para relaciones filler/cemento comprendidas entre 0.80 y 1.20.

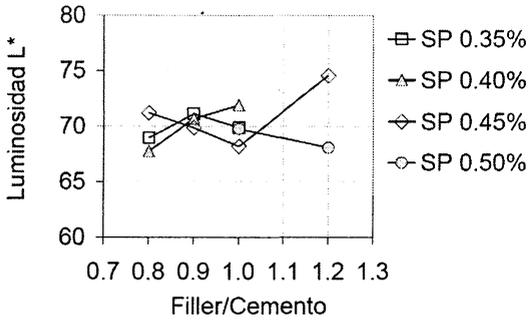


Figura 5. Variación de la luminisidad en morteros con cemento gris y distintos contenidos de filler.

En los hormigones con pigmento, las mediciones del color evidenciaron diferencias significativas según el tipo de pigmento utilizado. En la Fig. 6 se comparan morteros elaborados con pigmento negro en base a óxidos de hierro (N) y con negro de humo (Nh); los morteros con pigmento a base de óxidos de hierro resultaron mucho más claros, con luminisidades en el orden de las 50 unidades. En este caso para cada pigmento no se observaron variaciones de la luminisidad ante aumentos de la dosis de superfluidificante.

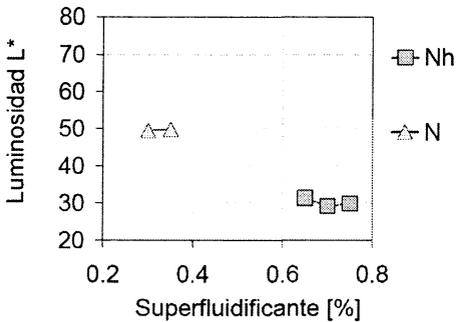


Figura 6. Variación de la luminisidad en morteros con cemento gris dos tipos de pigmento negro.

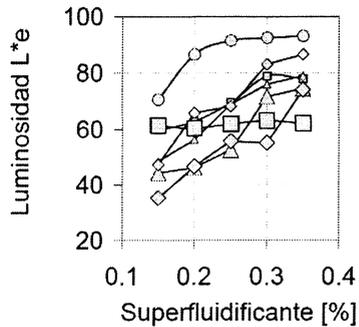
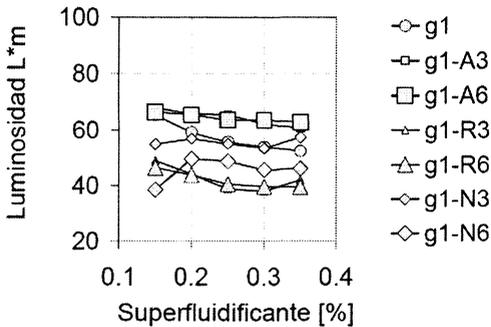


Figura 7. Variación de la luminisidad en pastas sin filler. (izq) Caras en contacto con el molde; (der) caras expuestas al aire.

Otro aspecto de interés es la diferencia de color entre las superficies expuestas (e) y las caras en contacto con los moldes (m). La Fig. 7 corresponde a estudios sobre pastas sin filler elaboradas con cemento g1 y contenidos de 3 o 6 % de pigmentos amarillo, rojo o negro. Se encontró que la luminosidad se mantiene constante en las caras “m” mientras que se aprecia un aumento de luminosidad en las caras “e” con el incremento en la dosis de aditivo. Esto se atribuye a la segregación de partículas blancas en dichas superficies por efecto del aditivo.

En la Fig. 8 se muestran estudios similares sobre pastas con filler preparadas con cementos gris (g2) y blanco (b) y con pigmentos de color amarillo, rojo y negro. En estas experiencias el incremento en la dosis de aditivo no dio lugar a cambios en la luminosidad en los dos tipos de superficies analizadas.

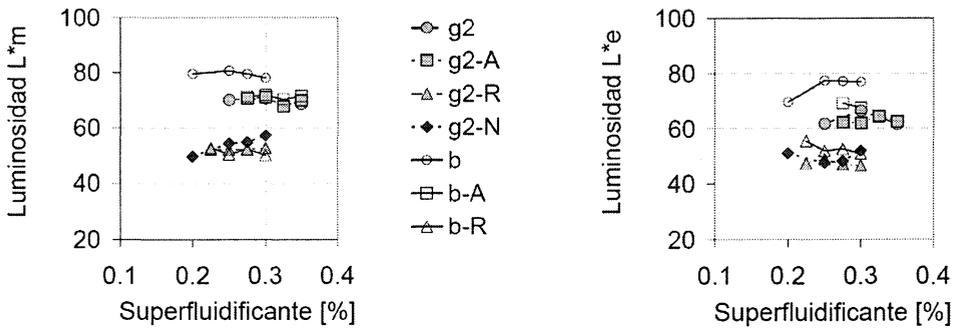


Figura 8. Variación de la luminosidad en pastas con filler. (izq) Caras en contacto con el molde; (der) caras expuestas al aire.

En la Fig. 9 se comparan los resultados obtenidos sobre morteros (símbolos vacíos) y hormigones (símbolos llenos); se grafican los valores de b* vs a* (izq) que muestran las posiciones de las coordenadas de cromaticidad y por otro la luminosidad (der) en función de la saturación; tanto para morteros como para hormigones los puntos graficados se ubican en una misma zona, por lo que se considera factible la valoración del color en morteros para estimar el color en los correspondientes HACC.

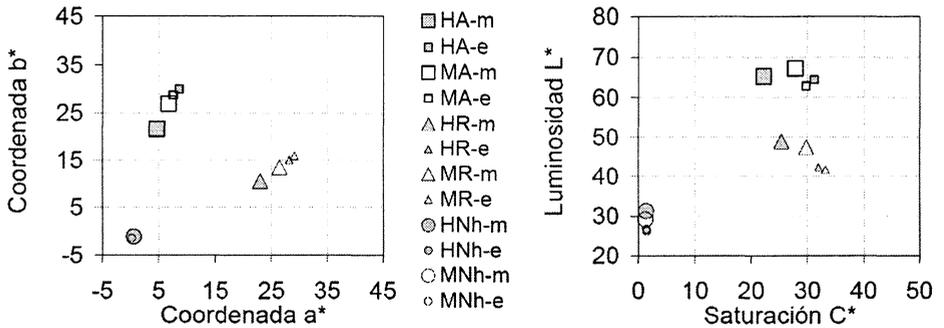


Figura 9. Parámetros L*, a*, b* y C* medidos en hormigones y morteros con pigmento. b* vs a* (izq) L* vs. C* (der).

CONSIDERACIONES FINALES

En este trabajo se presentó la metodología de medición del color (sistema CIELAB) empleada para el estudio de pastas, morteros y hormigones. Las experiencias forman parte de un proyecto conjunto entre el LEMIT-CIC y el GINTEMAC de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba, orientado al diseño y aplicación de Hormigones Autocompactables Coloreados.

Se mostraron varios ejemplos relacionados con la problemática de la valoración del color en materiales elaborados con cemento portland, entre ellos las diferencias de luminosidad para diferentes cementos, el efecto del contenido de filler, la dosis de aditivo superfluidificante y el tipo de pigmento utilizado. Se analizó la influencia de la terminación superficial, mostrando cambios en la tonalidad entre superficies de terminación y las caras en contacto con los moldes, por lo que este es un factor que debe ser considerado cuando se decide seleccionar un color o tono a emplear.

Las experiencias realizadas indican que el estudio sobre morteros representa una buena alternativa de predecir el comportamiento de la luminosidad, saturación y tono en los HACC correspondientes.

AGRADECIMIENTOS

A Cementos Avellaneda S.A., Cerro Blanco S.A., Loma Negra S.A., BASF S.A. y Meranol S.A. por su colaboración con el suministro de materiales para el desarrollo del programa experimental; a la fábrica de pisos J. N. Blangino por facilitar el uso del colorímetro; y al Lic. Roberto Daniel Lozano y Dr. José Luis Caivano por la revisión del artículo.

REFERENCIAS

- (1) Walraven, J., "State of the Art of Self Compacting Concrete in The Netherlands", Proc. Second Intl. Symp. on Self Compacting Concrete, Eds. K. Ozawa and M. Ouchi, COMS Engineering Corp., Kochi, Japón, 2001, pp. 13-24.
- (2) Tebbe, R., "The basic properties and manufacture of inorganic pigments", Betonwerk+Fertigteile-Technik, N° 3, 1992.
- (3) Ramachandran, V. S., "Concrete Admixtures Handbook. Properties, Science, and Technology", 2nd Edition, Noyes Publications, New Jersey, USA, 1995, pp. 971-985.
- (4) Esqueda Huidobro, H.A., "Concreto Arquitectónico". Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1996, pp. 52-50.
- (5) Coelho, F., "Variación del color y textura superficial de hormigones vistos, con adición de pigmentos inorgánicos, sometidos a distintos estados de exposición ambiental" Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2000.
- (6) Positieri, M. J. "Durabilidad y propiedades físico-mecánicas de hormigones coloreados". Tesis Doctoral, Universidad Tecnológica Nacional Fac. Reg. Córdoba, 2005.
- (7) Lozano, R. D., "El color y su medición", Ed. I Américalee S.R.L, Buenos Aires, 1978, 640ºp.

- (8) Caivano, J. L., "Cesia: Its Relation to Color in Terms of the Trichromatic Theory", *Die Farbe* 42, N 1-3, 1996, pp. 51-63.
- (9) Lozano, R. D. 2006. "A new approach to appearance characterization". *Color Research and Application*, Vol. 31, N 6, pp. 164–167.
- (10) Lozano, R. D. "Una revisión crítica del uso de las formas para evaluar diferencias de color", *Inf. Téc. INTI-SFI-DO-001-87*, Lecturas Escogidas II curso Tecnología del color, 2006.
- (11) EN 12878-2005 (E). *Pigments for the colouring of building materials based on cement and/or lime-Specifications and methods of test*, pp. 4-15.
- (12) Designation: ASTM D2244-2000. *Standard Test Method for Calculation of Color Differences From Instrumentally Measured Color Coordinate*, pp. 1-4.
- (13) Teichmann, G. 1990, "The use of colorimetric Methods in the Concrete Industry", *Betonwerk+Fertigteil-Technik*, N 11, pp. 58-73.
- (14) Lemaire, G., Escadeillas, G., and Ringot, E., "Evaluating concrete surfaces using an image analysis process". *Construction and Building Materials*, N 19, 2005, pp. 604–611.
- (15) López, A., Tobes, J. M., Giaccio, G., Positieri, M., Oshiro, A., Zerbino, R. and Barragán B. "Design and characterization of coloured self-compacting concrete", *Proceedings fib Symposium: Concrete Structures-Stimulators of Development*, Dubrovnik, Croatia, 2007, pp. 443-450.
- (16) *Annual Book of ASTM Standards: Listed by Section and Volumen. Standard Terminology of Appearance*. ASTM E 284-99^a, pp. 706-707, 711.
- (17) *Operating Instructions MICRO COLOR II*. 24 p.
- (18) Tobes, J. M., Giaccio, G., Barragán, B. and Zerbino, R., "Mortar-based design for self compacting concrete", *fib Symposium: Concrete Structures-Stimulators of Development*, Dubrovnik, Croatia, 2007, pp. 435-442.
- (19) Plenker, H., "The metering and dispersion of pigments in concrete". *Betonwerk+Fertigteil-Technik*, N 9, 1991.