

ATLAS DE HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO: RESULTADOS PRELIMINARES DE LOS ASPECTOS ESTÉTICOS OBTENIDOS CON MOLDES DE MADERA.

ARCHITECTURAL CONCRETE ATLAS: PRELIMINARY RESULTS OF AESTHETIC ASPECTS OBTAINED WITH WOODEN MOLDS.

A. López¹, A. R. Di Sarli²

¹ Investigadora Asistente CICPBA-LEMIT y Docente-Investigador UTN-FRLP/LEMac.
lopezanahi2002@gmail.com

² Investigador Superior CICPBA-CIDEPINT, CONICET. ardisarli@cidepint.gov.ar

RESUMEN

El hormigón arquitectónico, como cualquier otro tipo de hormigón, es un material de construcción compuesto por cemento, adiciones, arena, piedra, aditivos químicos, etc., junto con el uso de pigmentos. La característica arquitectónica de este tipo de hormigón viene dada por varios aspectos estéticos de su superficie tales como el color y la textura que proporcionan diferentes acabados. El color es la consecuencia de incorporar cemento y pigmentos. Los Sistemas o Atlas se elaboraron siguiendo diversos principios que dibujan láminas, clasifican los colores de acuerdo a su diferente luminosidad, saturación y tono. Para ello, se propone una sistematización de los conceptos de color y acabado de la superficie y de los ingredientes involucrados en su producción. El presente trabajo presenta láminas diagramadas con información resumida para desarrollar un Atlas. Se elaboraron dos grupos de morteros, cada uno de ellos con pigmento rojo, amarillo o negro. El color fue definido por el espacio de color CIELAB y su evolución fue comparada por las fórmulas de diferencias de color CIEDE1976 y CIEDE2000. El brillo también se analizó. Los resultados fueron representados en seis láminas para permitir la cuantificación y visualización de los diferentes morteros coloreados. Se observó una importante variación de color desde el día 7 hasta el día 28. La fuerte formación de depósitos de carbonato de calcio asociados a un creciente brillo fue un resultado desalentador.

Palabras clave: Atlas del Hormigón Arquitectónico, molde de madera, espacio de color CIELAB, fórmulas de diferencia de color CIEDE1976 y CIEDE2000.

ABSTRACT

The architectural concrete, as any other type of concrete, is a construction material composed of cement, admixtures, sand, stone, chemical additives, etc., together with the use of pigments. The architectural characteristic of this type of concrete is provided by its surface which presents several aesthetic aspects, such as color and texture that provide different finishes. Color is the consequence of cement and pigments incorporation. Systems or Atlas were elaborated following diverse principles that sketching figures, classify colors according to their different lightness, saturations and hues. For that, a

systematization of the color-surface finish concepts and the ingredients involved in their production is proposed. The present work presents diagrammed pictures with information summarized to develop an Atlas. Two groups of mortars were elaborated, each group with red, yellow or black pigment. The color was defined by CIELAB color space and their evolution was compared by CIEDE1976 and CIEDE2000 color difference formulas. The gloss was analysed too. Results were represented in six pictures to allow quantification and visualization of the different colored mortars. An important color variation was observed from day 7 to day 28. The strong formation of calcium carbonate deposits associated to an increasing gloss was a discouraging result.

Keywords: *Atlas of Architectural Concrete, wooden mold, CIELAB color space, mortars, CIEDE1976 and CIEDE2000 color difference formulas.*

INTRODUCCION

El hormigón arquitectónico (HA) es un material compuesto que, además de tener una amplia gama de resistencia mecánica y durabilidad, destaca por el valor estético de la superficie que proporciona su color y textura [1-3]. El aspecto estético es una alternativa, más allá de las tradicionales, que se elige para construir monumentos, esculturas, objetos decorativos y mobiliario urbano [4-6]. Los principales componentes que contribuyen al color son el cemento y los pigmentos. Sin embargo, el color deseado a veces no es posible de alcanzar con las diferentes proporciones de los componentes usados. Este hecho y el alto costo de los pigmentos hacen difícil conseguir nuevos colores. Ambas razones justifican la utilización de mezclas de mortero (sin piedras) ya que constituyen una alternativa rápida y de bajo costo. Se realizó un extenso estudio sobre el efecto de: 1) los cementos grises y blancos; 2) el contenido y tipo de pigmentos (óxidos de hierro (rojo, amarillo o negro), negro de carbono y ftalocianinas (azul o verde)); y 3) el tipo e incremento del superfluidificante sobre el color de morteros y hormigones autocompactados [7]. El color se definió de acuerdo con el espacio de color CIELAB estudiado por la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) [8-10], estimado a partir de los parámetros concretos luminosidad (L^*), saturación (C^*) y tono (h^*) obtenidos al ensayar morteros colocados en moldes de acero o madera. En el campo del color, la bibliografía existente, Ostwald [11], Munsell [12], Villalobos [13] y Natural

Color System (NCS) [14], presenta diferentes alternativas para sistematizarlo y persigue el propósito de ordenar los colores siguiendo algún criterio. Para sistematizar el color existen Sistemas o Atlas ordenados según diferentes principios que lo clasifican en rangos de luminosidad, saturación y tono y se delinean en láminas. Poco material se ha podido encontrar asociado a la clasificación de terminaciones superficiales, e incluso menos en estos atributos relacionados con las mezclas de cemento. El color del hormigón obtenido a partir de utilizar proporciones adecuadas de sus componentes está influenciado no sólo por el acabado superficial sino también por la rugosidad o el brillo derivados del contacto con el molde. Por lo tanto, color y brillo son variables determinantes en la apariencia de las mezclas de cemento [10, 11].

La evolución tecnológica de la industria de la construcción exige el uso de moldes de acero. Sin embargo, la madera sigue siendo el material más utilizado para hacer moldes debido a su menor costo. Después de analizar la forma en que las partículas de cemento se mueven, la información primaria indica que los colores más claros se obtienen en moldes de acero y los más oscuros en los de madera, [15]. Otra investigación sugiere varias alternativas de color independientemente del material utilizado para el molde [7]. Los moldes deben prepararse cuidadosamente tal que estén libres de polvo y usar los agentes desmoldantes

recomendados por los fabricantes [15].

La poca información justifica la elaboración de un Atlas de Hormigón Arquitectónico. La recopilación de información debe realizarse sobre la base de tres temas que interactúen para delinear el alcance de este material. Uno de estos temas es el diseño de mezclas con sus principales parámetros como punto de partida: la relación agua/cemento -que define la resistencia mecánica y durabilidad- y la relación pigmento/cemento -que contribuye con el color; un segundo tema está relacionado con la geometría de la superficie, donde el material de los moldes y los tratamientos realizados se asumen como factores principales que modifican y definen las diferentes texturas [10, 11]. Finalmente, y basado en las mediciones de color, brillo y la evaluación visual, el tercer tema involucra la decisión sobre los límites tolerables de cambios de color y rugosidad.

El artículo presenta los primeros análisis que condujeron al desarrollo del Atlas. A continuación se presenta la metodología que fue planteada ya en el Volumen 5 (2015) de esta revista (16).

METODOLOGÍA

Evaluación de los aspectos estéticos: color y su evolución, brillo e inspección visual

Se utilizó el espectrofotómetro BYK-Gardner programado para medir con el Espacio de Color CIELAB. La saturación (C^*) se calculó con los valores a^* y b^* como se muestra en la Ec. (1). Este instrumento también informa los datos de brillo. La diferencia de color producida por cambios en el tipo y contenido de pigmento y la evolución del color y brillo entre 7 y 28 días se compararon con las fórmulas de diferencia de color CIEDE1976 (ΔE^*_{76}) y CIEDE2000 (ΔE^*_{00}) [9, 17-20]. La Ec. (2) calcula los valores de ΔE^*_{76} y la Ec. (3) calcula los de ΔE^*_{00} . También se evaluó el efecto del cambio de luminosidad ΔL^* (Ec. 4). Este parámetro indica que si el valor es negativo la superficie está más oscura, en cambio si es positivo estará más

clara. Finalmente, las muestras de morteros se fotografiaron dentro de una cámara de inspección visual de modo que todas las imágenes fueron capturadas bajo la misma condición, Figura 1.

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

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

$$\Delta E^*_{00} = \left[\left(\frac{\Delta L^*}{K_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{K_C S_C} \right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C^*}{K_C S_C} \right) \left(\frac{\Delta H^*}{K_H S_H} \right) \right] \quad (3)$$

$$L^* = L^*_{28d} - L^*_{7d} \quad (4)$$

Preparación de las muestras

Se elaboraron dos grupos de morteros. Los del primer grupo con una relación agua/cemento de 0,40 mientras que la correspondiente al segundo grupo con una relación de 0,50. Se elaboró un mortero sin pigmento para cada grupo (4G y 5G) y luego se añadió pigmento de óxido de hierro rojo, amarillo o negro en porcentajes de 0,5; 3,0; 6,0; ó 9,0% en peso de cemento. Los grupos se identificaron como 4 ó 5 antes de la letra mayúscula de modo que los morteros pigmentados fueron: (subgrupo 40R) 4R05, 4R3, 4R6, 4R9; (subgrupo 50R) 5R, 5R05, 5R3, 5R6, 5R9; (subgrupo 40A) 4A05, 4A3, 4A6, 4A9; (subgrupo 50A) 5A05, 5A3, 5A6, 5A9; (subgrupo 40N) 4N05, 4N3, 4N6, 4N9; (subgrupo 50N) 5N05, 5N3, 5N6, 5N9. Cemento color gris (CPC40), pigmentos, arena silícea y agua se mezclaron según la secuencia indicada en la norma IRAM (21) y colocados en recipientes cilíndricos (10 cm de diámetro y 3 cm de alto), cuya base estaba hecha de madera tratada con un agente desmoldante. Esta superficie se trató con 1 mL de agente desmoldante a base vegetal (DESMOL A) recomendado para madera distribuido en 78 cm². Los moldes se fabricaron especialmente para esta prueba y de una manera que permitía el reemplazo de la base de madera por otra hecha con diferentes materiales. Después de pasar los morteros a los moldes estos se mantuvieron en el laboratorio durante 24 h, y luego se colocaron en una cámara

a 21 °C y 95% de humedad relativa (HR) durante 28 días. Estas condiciones son sugeridas por la normativa argentina (22) para obtener una hidratación uniforme del cemento (curado húmedo o saturado). Después del período de curado, todas las muestras permanecieron en una sala a 21 °C y 50% de HR hasta comenzar las pruebas (ver moldes de madera, Figura 1).

Número de pruebas

Las medidas se realizaron sobre la superficie del mortero en contacto con el molde de madera. Se prepararon dos cilindros de cada mortero y cada uno de ellos se sometió a cinco mediciones, realizando así diez ensayos. A partir de sus resultados se calcularon los valores medios (\bar{X}) para obtener la tendencia central de cada variable: luminosidad (L^*), coordenadas a^* y b^* , brillo (B), y los coeficientes de variación (CV) para determinar la dispersión de datos obtenida en relación con el valor medio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis estadístico de los parámetros estéticos

Esta sección muestra los valores estadísticos de color y brillo del grupo de morteros a la edad de 7 y 28 días. También se presentan las diferencias de color ΔE^*_{76} y ΔE_{00} y la diferencia de luminosidad (ΔL^*) entre ambas edades.

La Tabla 1 muestra los parámetros de color y los valores de brillo medidos en el grupo de mortero elaborado con una relación agua/cemento = 0,40. Cuando las mediciones se realizaron a los 7 días de curado, los valores L^* , a^* y b^* dependían del color del pigmento. Los subgrupos 40R y 40N mostraron valores de L^* entre 40 y 50 unidades; Por otro lado, el subgrupo 40A presentó valores mayores que 55 y alcanzó 67 unidades de L^* . Como era de esperar, las coordenadas a^* y b^* aumentaron a medida que el pigmento rojo o amarillo aumentaba en los subgrupos 40R o 40A, respectivamente. Después de 28 días de curado, el comportamiento se repitió



Figura 1. Inspección visual (izquierda); BYK Gardner (derecha arriba); molde de madera (derecha abajo).

en términos de las tendencias de las variaciones L^* , a^* y b^* . En general, se produjeron grandes aumentos de L^* (es decir, colores más claros) en los subgrupos 40R, 40N y mortero 4G. Esto queda expuesto por los valores positivos y elevados de la diferencia de luminosidad ($\Delta L^* > 6$), y también por

las importantes diferencias encontradas entre los altos valores de diferencia de color ΔE^*_{76} y ΔE^*_{00} . Por otro lado, los valores de L^* se mantuvieron en el subgrupo 40A, que mostró $\Delta L^* < 6$. Como se esperaba, y como indica el aumento de L^* , el color de la superficie fue significativamente afectado por la eflorescencia (23), factor a tener

Tabla 1. Valores estadísticos de color y brillo en grupos de morteros elaborados con una relación agua/cemento = 0,40.

Morteros/ Valores estadísticos		7 días				Diferencias entre 7 y 28 días			28 días			
		L^*	a^*	b^*	B	ΔE^*_{76}	ΔE^*_{00}	ΔL^*	L^*	a^*	b^*	B
4G	X	48,0	1,3	8,2	0,5	18,2	16,8	18,2	66,2	0,5	6,0	1,1
	CV	4,9	13,4	9,5	9,6				2,9	16,0	25,7	8,5
4R05	X	47,1	6,3	6,7	0,7	14,6	14,0	14,5	61,6	4,6	6,5	3,3
	CV	12,9	10,4	11,8	10,6				3,7	12,9	18,8	78,6
4R3	X	45,3	13,2	8,9	0,6	12,2	12,0	11,7	57,0	10,1	9,6	0,8
	CV	7,7	14,6	>	18,6				4,6	13,3	13,3	14,1
4R6	X	46,6	14,8	9,5	0,6	5,2	5,3	5,2	51,8	13,4	9,1	0,7
	CV	7,6	19,7	28,7	15,8				7,6	20,7	26,5	16,3
4R9	X	47,8	14,4	9,1	0,6	7,1	6,9	6,8	54,6	12,6	9,2	0,7
	CV	14,3	20,5	27,1	25,8				6,0	20,9	19,4	18,1
4A05	X	67,9	0,9	5,8	1,1	1,4	1,2	-0,7	67,3	1,0	7,1	1,0
	CV	4,3	16,8	18,5	11,3				3,2	18,4	16,4	9,0
4A3	X	64,9	2,5	11,3	1,0	3,1	2,0	0,4	65,3	2,9	14,4	1,0
	CV	4,2	12,2	15,8	11,6				5,8	24,2	23,4	17,6
4A6	X	61,5	4,5	18,3	0,9	4,5	2,8	2,2	63,7	4,9	22,2	0,9
	CV	4,7	24,7	27,9	10,0				3,4	15,7	17,1	10,9
4A9	X	56,1	6,7	23,3	0,7	6,0	5,3	6,0	62,1	6,1	23,5	0,9
	CV	2,6	6,7	8,3	15,0				2,8	10,9	13,7	13,3
4N05	X	51,2	0,6	3,9	0,6	9,3	8,7	9,3	60,5	0,5	4,6	0,9
	CV	8,8	29,3	21,2	20,8				4,8	19,8	10,1	11,2
4N3	X	50,4	0,1	0,8	0,7	8,2	7,9	8,2	58,6	-0,1	1,7	0,8
	CV	12,8	>	>	23,2				7,3	>	16,0	14,0
4N6	X	44,8	0,0	0,0	0,6	5,8	5,6	5,6	50,4	0,0	1,4	0,7
	CV	17,0	>	>	27,5				8,2	>	23,1	19,5
4N9	X	43,5	0,0	-0,2	0,5	8,7	8,6	8,6	52,2	-0,1	1,0	1,0
		10,9	>	>	26,8				7,6	>	25,1	15,2

> Coeficientes de Variación > 30%

en cuenta al usar curado húmedo. La variación de estas mediciones fue muy importante e indaga sobre la heterogeneidad del color y su alteración si las muestras se someten a este curado; muy pocas variables mostraron una $CV < 5\%$, un ejemplo de ello fue la variable L^* en los morteros 4G, 4A05, 4A3, 4A6 y 4A9. Se encontraron valores de $CV > 30\%$ para las variables a^* y b^* correspondientes a las dos edades evaluadas en el subgrupo 40N. Por otro lado, el brillo de la superficie de las muestras en contacto con la madera fue independiente del color del mortero y alcanzó valores promedio del 0,5-0,7% a los 7 días, aumentando ligeramente de 0,7% a 3,3% a los 28 días. En este caso, se presentaron variables con CV demasiado altos en los diferentes morteros elaborados.

La Tabla 2 presenta los parámetros de color y los valores de brillo medidos en grupos de mortero elaborados con una relación agua/cemento = 0,50. Cuando la medición se realizó a los 7 días de curado, los subgrupos 50R y 50N mostraron valores de L^* entre 50 y 60 unidades - valores más altos que en los 40R y 40N; Por su parte, la variación de L^* en el subgrupo 50A estaba entre 55 y 67 unidades. Las coordenadas a^* y b^* se comportaron como se ha mencionado anteriormente al aumentar la cantidad de pigmento R o A. Después de 28 días de curado, el comportamiento se repitió en términos de las variaciones a^* y b^* , sin embargo, no ocurrió lo mismo con la variable L^* . En general, L^* disminuyó en los subgrupos 50A y 50N, lo que significa colores más oscuros. Esto también está determinado por los valores negativos de diferencia de luminosidad ($\Delta L^* < 0$), y las diferencias importantes en los valores altos de diferencia de color ΔE^*_{76} y ΔE_{00} .

La variación de estas mediciones fue también muy importante e indaga sobre la heterogeneidad del color y su variación, muy pocas variables mostraron $CV < 5\%$, un ejemplo de ello fue la variable L^* para los morteros 5G, 5A05, 5A3, 5A6 y 5A9; nótese que ello ocurrió en el mortero sin pigmento y en aquéllos que utilizaban el mismo contenido de pigmento amarillo que el grupo anterior. También

se destaca que para las dos edades evaluadas en el subgrupo 50N, las variables a^* y b^* presentaron valores de $CV > 30\%$.

Por otro lado, el brillo obtenido alcanzó valores medios de 0,6-1,0% tanto a los 7 como a los 28 días de curado. En esta variable también presentaron CV demasiado altos por los diferentes morteros elaborados.

Elaboración de láminas para hacer el Atlas

Los resultados fueron resumidos y representados en seis láminas para permitir la cuantificación y visualización de los diferentes grupos de morteros coloreados. La Figura 2 muestra la lámina de los morteros 40R. En la parte superior de la Figura existe el encabezado de una tabla con los siguientes datos: color del pigmento, relaciones pigmento/cemento (p/c:%), edades de la medición del color e inspección visual, condiciones de curado húmedo, volumen de pasta de mortero (pigmento, cemento y agua), y material del molde. A continuación aparecen los gráficos de C^* vs. p/c, L^* vs. p/c, B vs. p/c, y ΔE^* (CIEDE1976) y ΔE (CIEDE2000). Finalmente, se muestran fotografías de morteros sin pigmento o con 0,5; 3,0; 6,0; ó 9,0% de pigmento. La información se resume para 7 (arriba) y 28 días (abajo). Las vetas de madera también pudieron verse sobre las superficies debido a la interacción mezcla de mortero-superficie de madera. A los 7 días, C^* cambió de 10 a 20 unidades a medida que aumentó el pigmento rojo, en cambio L^* (47 unidades) y B (0,6%) permanecieron sin cambios. Las diferencias de color (ΔE^* y ΔE) fueron < 2 unidades al cambiar el contenido de pigmento de 3,0% a 6,0% (ver ΔE^*_{76} y ΔE_{00}), esto sugiere que no es necesario añadir pigmento ya que el color cambia muy poco.

A los 28 días, los cambios fueron muy notorios en L^* ya que los valores fueron mayores a 50 unidades. A su vez, a medida que se añadía más pigmento, L^* disminuyó de 50 a 70 unidades. Además, las diferencias de color eran muy importantes. Debe señalarse que los valores de

Tabla 2. Valores estadísticos de color y brillo en grupos de morteros elaborados con una relación agua/cemento = 0,50.

Morteros/ Valores estadísticos		7 días				Diferencias entre 7 y 28 días			28 días			
		L*	a*	b*	B	ΔE^*_{76}	ΔE^*_{00}	ΔL^*	L*	a*	b*	B
5G	X	51,1	1,1	7,8	0,6	11,8	10,8	11,4	62,5	0,7	4,9	1,0
	CV	4,1	14,8	14,0	11,1				9,4	>	18,3	9,0
5R05	X	58,2	5,3	7,3	0,9	2,9	2,4	0,3	58,4	4,9	10,1	0,8
	CV	8,1	26,6	27,2	17,8				9,1	12,6	15,6	15,0
5R3	X	61,6	7,8	5,0	0,8	1,7	1,9	0,1	61,6	6,3	5,8	1,5
	CV	7,6	26,7	>	15,0				5,1	14,5	12,2	>
5R6	X	62,3	8,7	4,7	0,9	3,1	2,6	-2,7	59,6	8,5	6,1	0,8
	CV	9,7	>	>	19,4				9,2	29,9	>	13,6
5R9	X	61,1	9,2	4,4	0,9	5,6	4,8	-5,0	56,1	10,1	6,6	0,8
	CV	5,5	16,4	18,9	10,9				7,7	24,9	>	13,6
5A05	X	67,2	1,5	6,6	1,0	5,7	4,7	-5,6	61,6	1,5	7,3	0,9
	CV	3,2	21,0	17,8	8,2				7,5	>	24,5	10,0
5A3	X	66,1	3,0	11,2	0,9	3,9	3,2	-3,8	62,3	2,8	11,9	0,9
	CV	2,5	25,8	25,2	10,0				5,6	19,1	16,3	11,2
5A6	X	63,7	4,4	15,0	0,8	4,1	3,5	-3,2	60,6	5,2	18,9	0,8
	CV	3,2	8,8	11,6	5,8				3,6	8,9	10,1	7,7
5A9	X	60,7	6,5	21,4	0,8	0,9	0,6	0,1	60,9	6,4	22,3	0,8
	CV	1,8	8,1	9,7	10,2				2,1	11,1	10,6	7,7
5N05	X	58,2	0,0	1,0	0,7	7,0	6,7	-7,0	51,3	0,1	1,8	0,7
	CV	16,8	>	>	23,4				4,5	>	23,9	11,6
5N3	X	52,1	-4,3	-0,1	0,6	5,4	6,4	-3,5	48,6	-0,2	0,1	0,6
	CV	10,6	>	>	16,8				6,7	>	>	12,1
5N6	X	48,9	-5,4	-2,4	0,6	5,4	6,5	-0,3	48,6	-0,3	-0,6	0,6
	CV	20,0	>	>	28,7				12,1	24,0	>	26,1
5N9	X	56,7	-6,8	-1,5	0,8	8,2	9,2	-4,9	51,8	-0,3	-0,5	0,6
	CV	2,2	>	>	28,2				9,4	>	>	10,7

> Coeficientes de Variación > 30%

B aumentaron dramáticamente al principio y alcanzaron valores similares (0,6%) a los 7 días. Finalmente, se indica la apariencia de morteros: a la izquierda el mortero no pigmentado, a la derecha puede verse como los morteros se saturan al aumentar el contenido de pigmento. Este análisis permite sugerir que la adición de más del 6% de

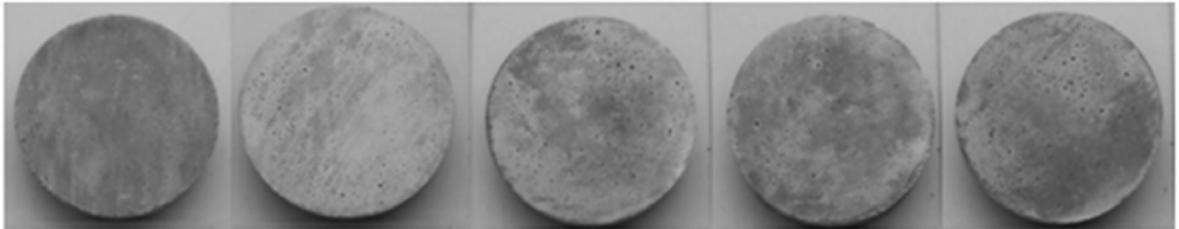
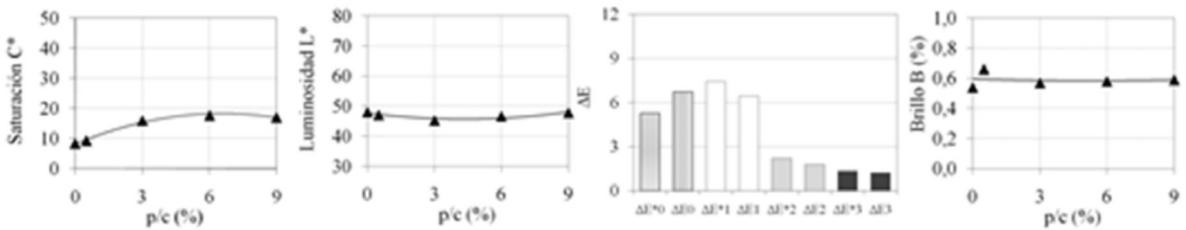
pigmento rojo no es significativa. Por otro lado, una importante variación de color tuvo lugar desde los 7 hasta los 28 días de curado. Sin embargo, asociado a la fuerte formación de carbonato de calcio, y consecuente aumento de brillo, fue un resultado desalentador.

La Figura 3 muestra la lámina para los morteros 50R, para la relación agua/cemento = 0,50, a la edad de 7 días se observaron ligeros aumentos (10 unidades) de la saturación y una luminosidad aumentada en casi todos los morteros. Los valores de brillo (0,70%) fueron similares a los obtenidos en los morteros 40R. A la edad de 28 días, los valores de saturación, luminosidad y brillo fueron similares a los calculados para 7 días, sin embargo, las diferencias de color eran menos evidentes a

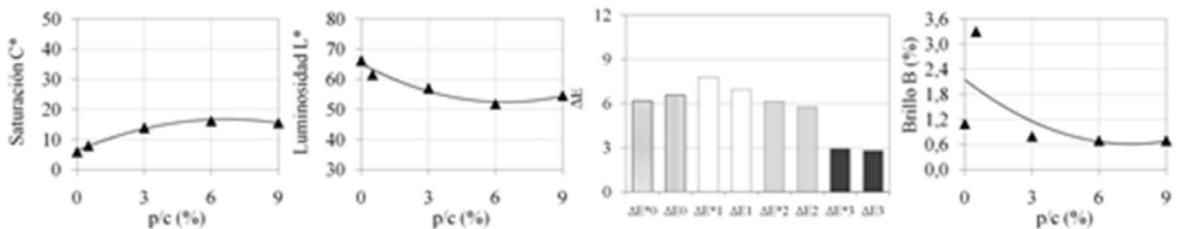
esta edad.

La Figura 4 muestra la lámina para los morteros 40A con una relación agua/cemento=0,40. El brillo era similar a los observados anteriormente y aumentó ligeramente a medida que pasaba el tiempo. La Figura 5 presenta la lámina para los morteros de 50A, muy similar a la de los morteros 40A.

Color	Pigmento/Cemento (%)	Edad (días)	Curado Húmedo	Vol. de Pasta (%)	Molde
Rojo	0.0; 0.5; 3.0; 6.0; 9.0	7; 28	21 °C, 95 % HR	46	Madera



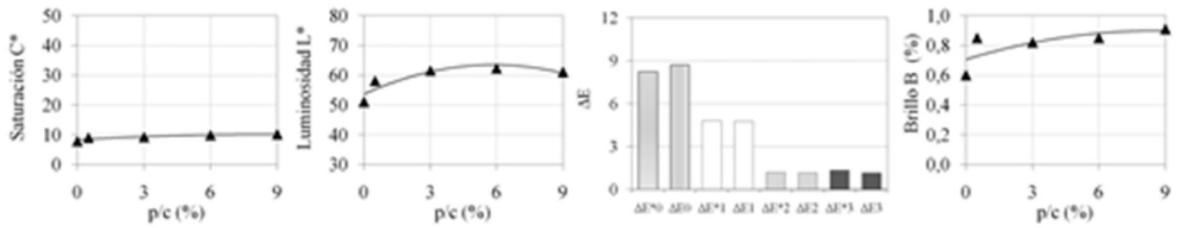
7 días de curado húmedo (arriba).



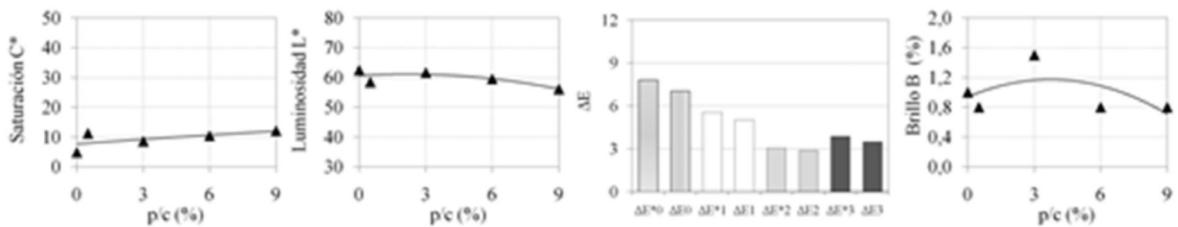
28 días de curado húmedo (abajo).

Figura 2. Morteros rojo (40R), agua/cemento = 0,40

Color	Pigmento/Cemento (%)	Edad (días)	Curado Húmedo	Vol. de Pasta (%)	Molde
Rojo	0.0; 0.5; 3.0; 6.0; 9.0	7; 28	21 °C, 95 % HR	52	Madera



7 días de curado húmedo (arriba).



28 días de curado húmedo (abajo).

Figura 3. Morteros rojo (50R), agua/cemento = 0,50

Color	Pigmento/Cemento (%)	Edad (días)	Curado Húmedo	Vol. de Pasta (%)	Molde
Amarillo	0.0; 0.5; 3.0; 6.0; 9.0	7; 28	21 °C, 95 % HR	46	Madera

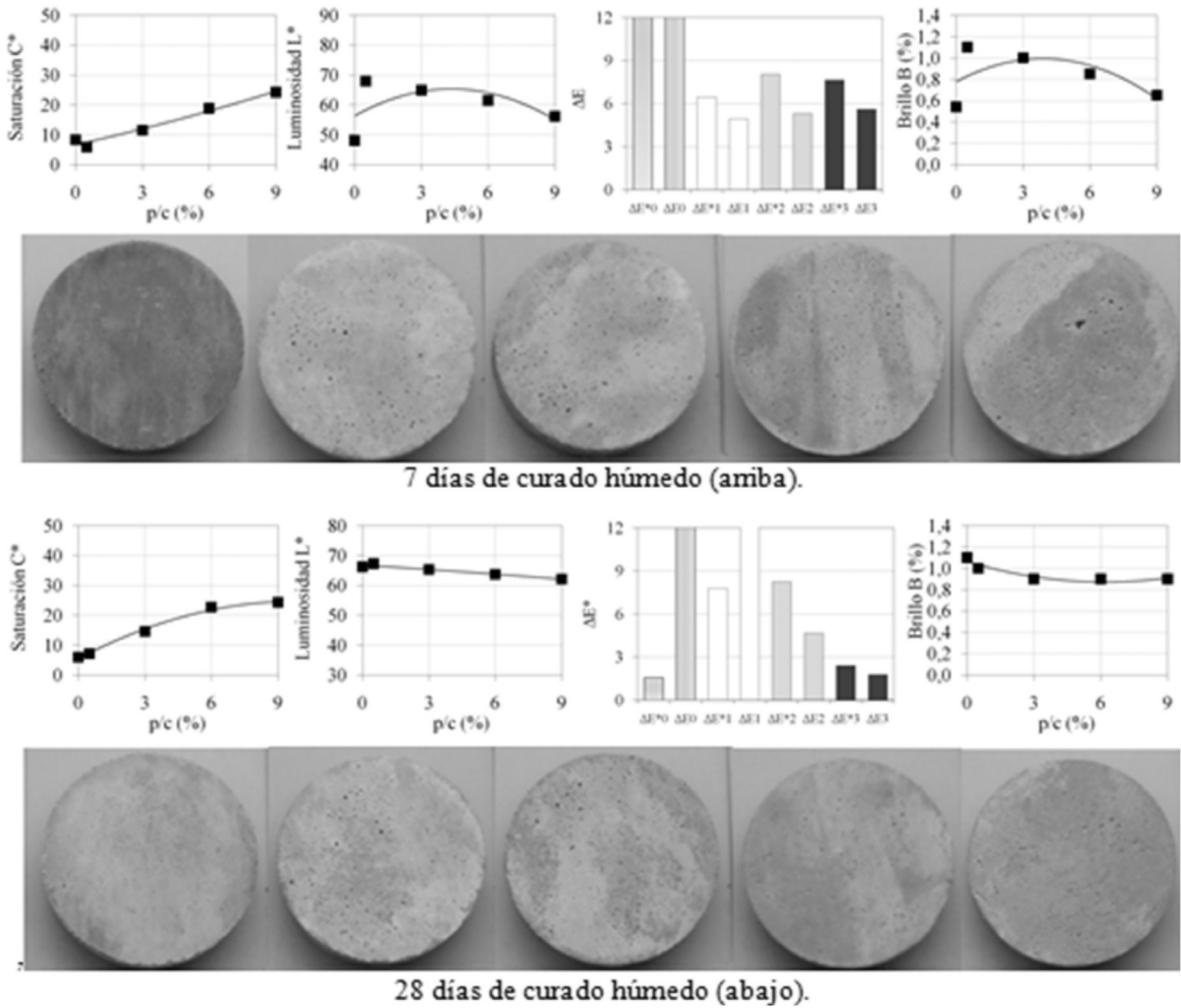
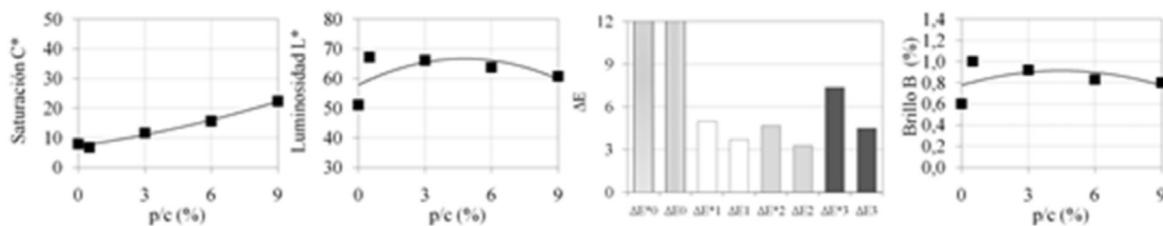
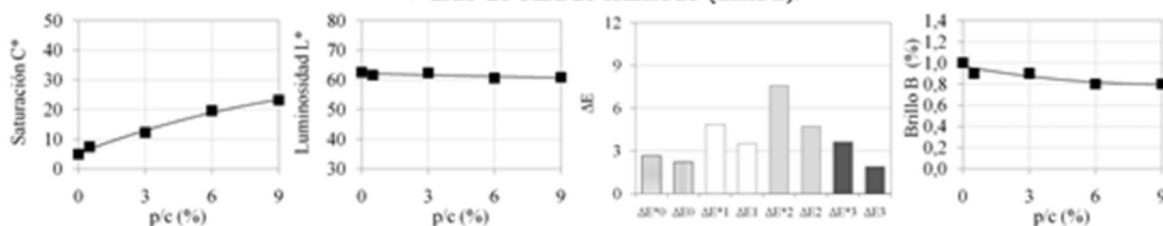


Figura 4. Morteros amarillo (40A), agua/cemento = 0,40

Color	Pigmento/Cemento (%)	Edad (días)	Curado Húmedo	Vol. de Pasta (%)	Molde
Amarillo	0.0; 0.5; 3.0; 6.0; 9.0	7; 28	21 °C, 95 % HR	52	Madera



7 días de curado húmedo (arriba).



28 días de curado húmedo (abajo).

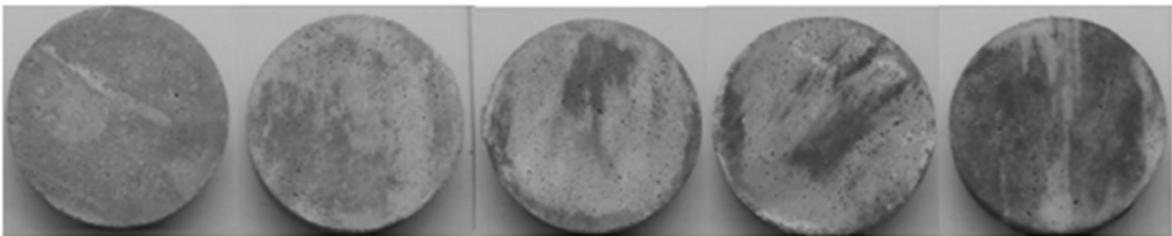
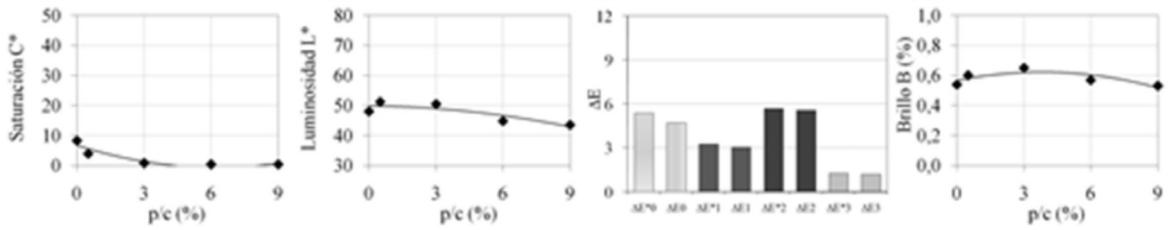
Figura 5. Morteros amarillo (50A), agua/cemento = 0,50

La Figura 6 exhibe la lámina para los morteros 40N. Como se esperaba, los valores de saturación eran muy pequeños y a medida que aumentaba el contenido de pigmento, la luminosidad disminuyó de 50 a 40 unidades, el brillo se comportó de manera similar a lo anterior, sin embargo, en este caso se observa una significativa pérdida de luminosidad

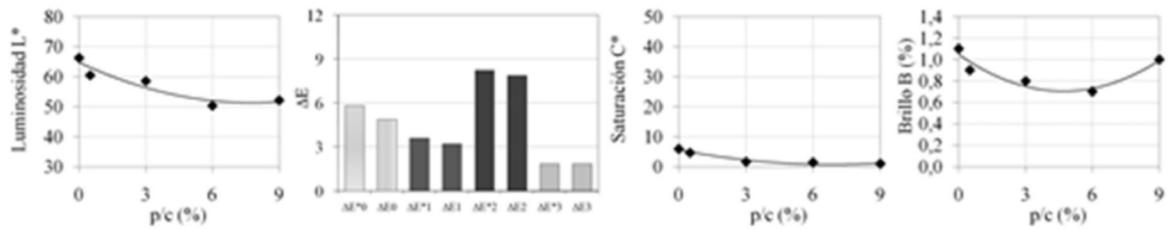
después de 28 días de curado húmedo. Parece que el pigmento negro agregado no se comporta como tal.

La Figura 7 muestra la lámina para los morteros 50N. También parece que no se hubiera utilizado pigmento negro.

Color	Pigmento/Cemento (%)	Días (Edad)	Curado Húmedo	Vol. de Pasta (%)	Molde
Negro	0.0; 0.5; 3.0; 6.0; 9.0	7; 28	21 °C, 95 % HR	46	Madera



7 días de curado húmedo (arriba).



28 días de curado húmedo (abajo).

Figura 6. Morteros negro (40N), agua/cemento = 0,40

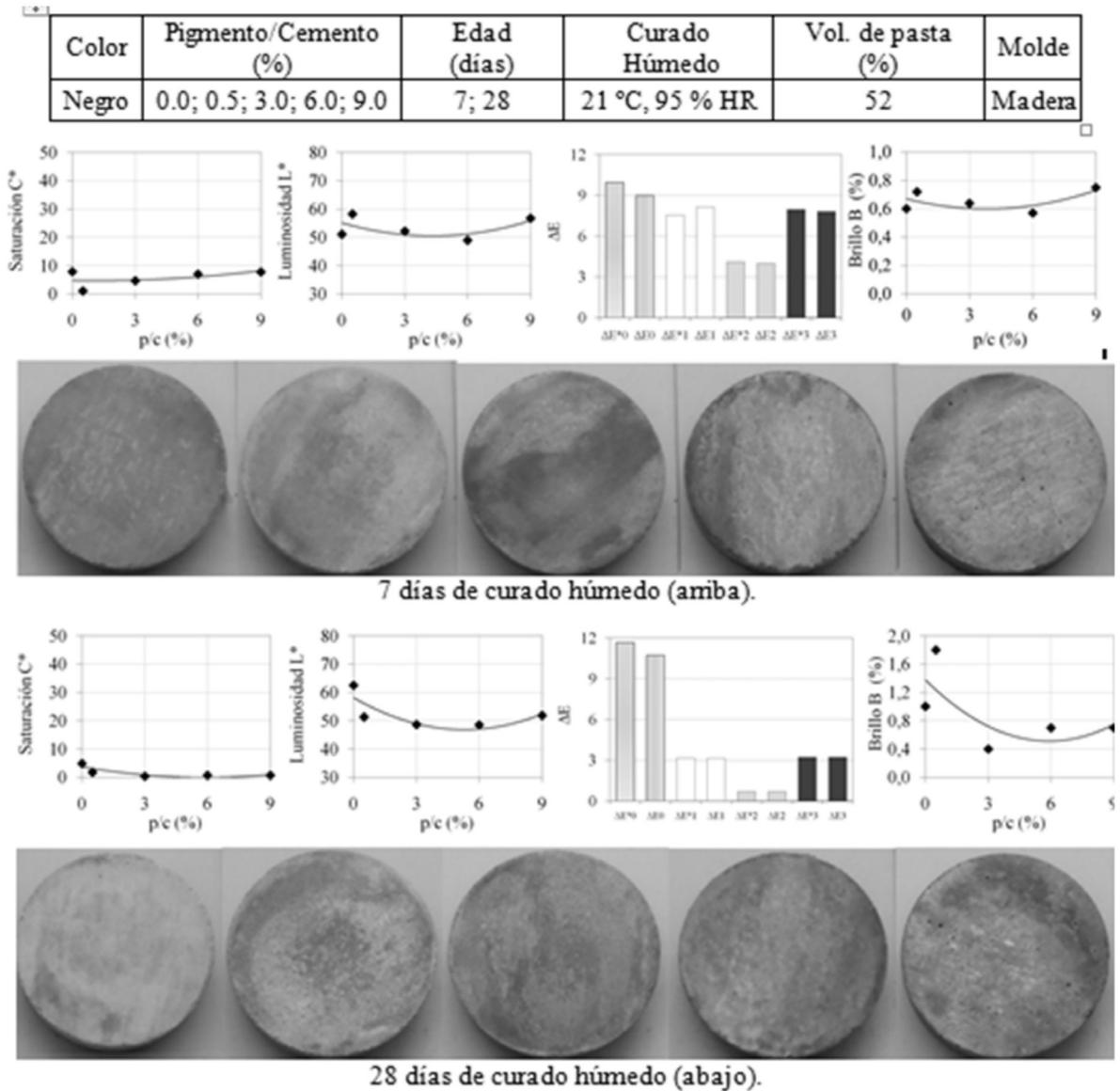


Figura 7. Morteros negro (50N), agua/cemento = 0,50

CONCLUSIONES

El presente trabajo muestra los primeros análisis que condujeron al desarrollo de un Atlas de Hormigón Arquitectónico. En particular, se estudió la interacción entre las mezclas de cemento y los moldes de madera.

El color fue definido a partir del valor de las variables L^* , a^* y b^* . La diferencia de color entre disímiles contenidos de pigmentos y la evolución del color del pigmento se compararon utilizando las fórmulas de diferencia de color CIEDE1976 y CIEDE2000. También se evaluó el brillo.

Los valores estadísticos de color y brillo muestran elevados coeficientes de variación. Este hecho advierte sobre la falta de homogeneidad del color y las correcciones a tener en cuenta durante el curado húmedo.

La superficie en contacto con la madera mostró un aspecto moteado y fue muy notable el aumento de brillo durante el tiempo de curado húmedo.

En este trabajo se presentan 6 láminas con información resumida de morteros arquitectónicos necesarios para desarrollar un Atlas de Hormigón Arquitectónico, ellas incluyen los siguientes datos: 1) color del pigmento; 2) relaciones pigmento/cemento (p/c: %); 3) edades de medición de color e inspección visual; 4) condiciones de curado en húmedo; 5) volumen de pasta de mortero

(pigmento, cemento y agua); y 6) tipo de material del molde. A continuación, aparecen los valores de gráficos C^* vs. p/c, L^* vs. p/c, B vs. a p/c, AE^* (CIEDE1976) y ΔE (CIEDE2000).

Este estudio permite determinar el contenido óptimo de pigmento y evitar así un aumento injustificado de su cantidad.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA) y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por el apoyo económico brindado para la ejecución de este trabajo de investigación. A las autoridades del LEMIT y del CIDEPINT por permitir realizar las experiencias. Al D.I Gasón Rule por diseñar los moldes y al Técnico CICPBA-LEMIT Alejandro Pittori por fabricarlos. También a los Sres. Victor Celis y Mario Fleitas por su colaboración en el acondicionamiento y la limpieza de los moldes. Por último, los autores también agradecen a la empresa TENSAC s.h. por proporcionar gratuitamente el agente desmoldante utilizado.

Nota. Las láminas aquí confeccionadas fueron presentadas en el congreso internacional AIC 2016: Interim Meeting: Colour in Urban life, y serán publicadas junto a otro análisis en futuras publicaciones.

REFERENCIAS

- 1.- Humberto B, Pereira M. Concreto: Forma, Textura e Cor. En Concreto Ensino, Pesquisa e Realizações. Brasil: IBRACON; 2005:1413-1451.
- 2.- Benítez A, Bálsamo H. Hormigones arquitectónicos: blanco y coloreado. En Hormigones Especiales. La Plata, Argentina: Autoeditor; 2004: 309-330.
- 3.- Püttbach E. Pigments for the Colouring of Concrete-Questions of Quality, BFT/Concrete Precasting Plant and Technology; 1992; 10, en www.BFT-online.info.

- 4.- Bennett D F H. Innovations in Concrete. London: Thomas Telford; 2002.
- 5.- Bennett D F H. The Art of precast concrete, colour texture expression Birkhäuser – Publishers for Architecture. Basel, Switzerland: Birkhauser Verlag AG; 2005.
- 6.- Expertunforum Sichtbeton. Sichtbeton-Architektur pur; 2007: 64 p.
- 7.- López A. Diseño y Caracterización del Hormigón Autocompactante Coloreado. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata; 2012. 189 p.
- 8.- Lozano R D. El color y su medición. Bs As: Américalee S.R.L; 1978.
- 9.- CIE 15. 2004 Technical Report draft. Colorimetry. 3 Edition. 82 p.
- 10.- Hunter R S. The Measurement of Appearance. New York: John Wiley & Sons; 1975.
- 11.- Lozano R D. A new approach to appearance characterization. Color Research and Application 2006; 31:164-167.
- 12.- Munsell Book of Color. Neighboring Hues Edition. Matte Finish Collection, 1970.
- 13.- Villalobos Domínguez C, Villalobos J. Atlas de los colores. Bs As: El Ateneo; 1947.
- 14.- NCS – the international language of colour for specification, communication and control of colour in design, architecture, education, research, marketing and manufacturing.
- 15.- Mindess S, Young F.J and Darwin D. 2003. Concrete, EE.UU. Pearson Education.
- 16.- López A. Atlas del hormigón arquitectónico. Ciencia y Tecnología de los Materiales, Ed. LEMIT-CICPBA, La Plata, Buenos Aires, Argentina; 2015, 5: 45-59.
- 17.- EN 12878. 2005. Pigments for colouring of building materials based on cement and/or lime-Specification and methods test.
- 18.- López A, Guzmán A., Di Sarli, A.R. Color stability in mortars and concretes. Part 1: study on architectural mortars, Journal of Construction and Building Materials 2016; 120: 617-622.
- 19.- Melgosa M and Huertas R. Relative significance of the terms in the CIEDE2000 and CIE94 color-difference formulas, Optical Society of America; 2004, 21: 1-7.
- 20.- Sharma G, Wu W, Dalal E N. Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations CIE 2000, Color Research and Application; 2005: 30, 21-30.
- 21.- IRAM 1622. 2006. Cemento pórtland. Método de determinación de las resistencias a la compresión y a la flexión.

22.- IRAM 1534. 2004. Hormigón de cemento pórtland. Preparación y curado de probetas para ensayos en laboratorios.

23.- Positieri, M. J., "Propiedades físico-mecánicas y durabilidad del hormigón coloreado." Tesis doctoral, Universidad Tecnológica Nacional Fac. Reg. Cba. 2005.