

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD SUPERFICIAL DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

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

RESUMEN

En la actualidad los requerimientos estéticos han dado lugar a mayores exigencias sobre la calidad superficial en hormigón visto. El uso de hormigón autocompactante (HAC) aparece como una alternativa para lograr elementos con mejor terminación superficial. El CIB Report N° 24 presenta un método para clasificar la calidad superficial del hormigón donde se incluyen como parámetros la uniformidad de color, la presencia de burbujas, manchas, marcas y otros tipos de defectos. En este trabajo se presentan experiencias en las que se analizó la calidad superficial en morteros y HAC. En primer lugar se realiza una síntesis de los aspectos a considerar, así como los criterios y métodos de evaluación. En la parte experimental se analizan las superficies de morteros en contacto con moldes de distintos materiales tratados con diferentes agentes desmoldantes. También se analiza la superficie de paneles delgados de hormigón moldeados en un encofrado metálico de 2 m de largo con HAC reforzados con fibras, aplicando para los tratamientos superficiales un agente desmoldante de base acuosa y otro de base oleosa; las superficies se comparan con las obtenidas sobre paredes recubiertas con un film de polietileno. El método de relevamiento adoptado permitió calificar la calidad superficial y evidenciar la influencia de los diferentes tratamientos y del tipo de mezcla.

INTRODUCCIÓN

El hormigón autocompactante (HAC) surgió con el propósito de favorecer los procesos vinculados con la colocación y compactación del hormigón, no sólo para reducir los tiempos y mano de obra sino fundamentalmente para asegurar la durabilidad de las estructuras, en particular aquellas densamente armadas.

Las características de fluidez y el mayor contenido de finos en un HAC dan lugar a mejoras en la calidad superficial, lo que además de beneficiar la zona de recubrimiento desde el punto de vista durable, ofrece una gran potencialidad desde el punto de vista estético. Se ha observado una gran capacidad de copiado de relieves, formas y texturas superficiales de moldes fabricados con distintos materiales así como detalles geométricos.

Por sus características reológicas el HAC desarrolla una presión hidrostática substancialmente mayor que el hormigón convencional, lo que ha de tenerse en cuenta al momento del diseño de los encofrados, no sólo en su estanqueidad y capacidad resistente

¹ Becario CONICET - UTN-FRC, GINTEMAC.

anlopez@scdt.frc.utn.edu.ar

² Docente Facultad de Ingeniería UNLP.

³ Investigador LEMIT-CIC. Profesor Facultad de Ingeniería UNLP.

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

sino en las eventuales imperfecciones que pudieren presentar. La terminación superficial depende no sólo del diseño del hormigón (tipo de cemento, adiciones, proporciones de los componentes, etc.) y del procedimiento de colocación, sino también del material de los encofrados y del agente desmoldante (1).

En hormigón arquitectónico cuando se habla de “defecto” se hace referencia al deterioro de las superficies únicamente en relación con su valor estético para cada tipo de aplicación (2). Definir la calidad superficial implica especificar el grado de uniformidad del color y la presencia de defectos. El Report N° 5 del CEB define como hormigón de color uniforme y sin defectos superficiales al hormigón cuyas superficies presentan variaciones de color estéticamente aceptables, exentas de manchas o con defectos insignificantes sólo perceptibles a través de un examen efectuado a poca distancia. Es evidente que estos exámenes no dejan de ser subjetivos (2, 3), el Report N° 24 (4) si bien disminuye las apreciaciones subjetivas no las elimina.

Este artículo analiza la calidad superficial en HAC. Presenta un relevamiento de defectos en morteros y hormigones con distintos tratamientos superficiales, que incluyen moldes de diferentes materiales y diversos agentes desmoldantes. Para evaluar la homogeneidad y el nivel de defectos se aplicaron los criterios de evaluación incluidos en el Report N° 24 (4) a lo que se sumaron mediciones del color (5). En los HAC se consideraron evaluaciones a distinta distancia.

LA CALIDAD SUPERFICIAL EN HORMIGÓN

Terminaciones, encofrados y agentes desmoldantes

El hormigón permite obtener diferentes terminaciones superficiales ya sea utilizando como modelo la superficie del encofrado o realizando algún tratamiento posterior, como por ejemplo para exponer los agregados. En el primer caso influirá la terminación del material del encofrado y de la superficie siendo, en general, del tipo lisas o pulidas; en el segundo caso las terminaciones dependerán de la profundidad de remoción y se califican como texturadas (6, 7). Es evidente que en ambos casos la terminación superficial también dependerá de los materiales constituyentes del hormigón en cuestión.

La bibliografía resume los tipos de acabado según el método empleado para obtenerlos; en una clasificación sistemática de los diferentes aspectos de las superficies de hormigón se pueden diferenciar dos grandes grupos, los aspectos que tienen que ver con el color y los que tienen que ver directamente con modificaciones en la calidad de la matriz, como por ejemplo picaduras, saltaduras y descascamientos (8). También hay clasificaciones que diferencian entre el hormigón visto propiamente dicho, hormigones tratados por lavado (por ejemplo usando retardadores que permitan eliminar una película de pasta), hormigones tallados y hormigones pulidos (9).

Como fuera expuesto en el apartado anterior el uso del HAC requiere encofrados más resistentes y estancos, en general se prefieren los metálicos (1, 10) y en consecuencia, se obtiene una apariencia superficial del tipo pulida o lisa. El molde metálico se clasifica como encofrado no absorbente y permite mayor mantenimiento y reutilización, el molde de madera posibilita la obtención de superficies veteadas (11, 12).

El grado de impermeabilidad del encofrado influye significativamente en la terminación superficial. Cuando los encofrados son no-absorbentes, impermeables o de baja permeabilidad tiende a incrementarse el número y tamaño de burbujas y otros defectos superficiales, pero como contrapartida se consiguen superficies con mayor uniformidad de color y más claras. Además de los encofrados metálicos se observa un comportamiento similar en moldes plásticos, enchapados o recubiertos con films plásticos. El uso de encofrados absorbentes si bien disminuye la formación de burbujas, ocasiona manchas y agrava la falta de uniformidad del color en la medida que la absorción superficial sea variable. Un material absorbente produce variaciones de la humedad superficial y el arrastre de las partículas en contacto con el molde; las burbujas quedan cubiertas pero el color puede modificarse y, en general, resulta más oscuro. Los encofrados de madera presentan estas características (11).

Existe una gran variedad de agentes desmoldantes conforme el tipo de encofrado, formulados con el fin de minimizar los inconvenientes mencionados en el párrafo anterior. Pueden o no contener disolventes, lo que da lugar a diferencias en el olor y capacidad de distribución; también existen emulsiones acuosas (sin olor y mínima inflamabilidad). Estos productos tienen un efecto desencofrante físico y químico, garantizados por la componente oleaginosa y los aditivos, respectivamente. Los ácidos grasos o ésteres son los componentes que en general activan la separación. Una reacción química entre los grupos COOH de los ácidos grasos y el hidróxido de calcio producen el llamado "jabón de cal" (13). Las últimas innovaciones con emulsiones vegetales, mejoran aún más la uniformidad del color y evitan rechupes, además de no tener efectos perjudiciales sobre las personas y el medio ambiente.

Tipos de defectos superficiales

El HAC presenta en general mejor apariencia que el hormigón convencional; el color resulta más uniforme y si el encofrado se llena en forma correcta se reducen considerablemente el número y el tamaño de burbujas. De todos modos los principales defectos que modifican la apariencia de una terminación y que suelen aflorar durante o después de la colocación del hormigón autocompactante son los mismos que los encontrados en el hormigón vibrado.

Los defectos se pueden clasificar en función de distintas acciones que modifican la superficie. De este modo es posible distinguir dos grandes grupos que disminuyen la uniformidad, uno que considera específicamente los defectos referidos a variaciones de color ya sea por la presencia de distintas tonalidades, efecto marmolado o la aparición de distintos tipos de manchas (óxidos, eflorescencias); y otro que considera los aspectos que tienen que ver con alguna modificación de forma o de textura del material como es el caso de la aparición de burbujas, panales, agrietamientos y desniveles, entre otros (4, 8, 11, 14). Algunos de estos últimos defectos se suelen clasificar o considerar como patologías superficiales (12).

La Tabla 1 resume los defectos más comunes presentes en el hormigón y las causas más probables por las que cambiaría el color, en la última columna se mencionan particularidades para el caso de HAC (1).

Tabla 1. Defectos superficiales en elementos de hormigón.

Defectos superficiales	Causas más probables en hormigón convencional (11)	Aspectos particulares a considerar en un HAC (1)
VINCULADOS A LA HOMOGENEIDAD DEL COLOR		
Variación del color	Variaciones de materiales Mezclado incompleto Segregación durante la colocación Variación entre hormigonadas	Retardo o tinción causada por el aceite, adiciones. Muy elevada viscosidad o tensión umbral
Decoloración por tinte	Manchas Reacciones con el molde Impurezas en el desmoldante	
Decoloración marrón	Impurezas en el desmoldante Excesiva cantidad de desmoldante Óxidos del molde	
Decoloración por hidratación	Absorción variable de los encofrados Falta de desmoldante Curado insuficiente	
Transparencia de agregados	Bajo contenido de arena Encofrados lisos y flexibles Excesiva vibración Vibración externa	
VINCULADOS A LA FORMA Y TEXTURA		
Panales	Insuficiencia de finos Inadecuada compactación Juntas permeables	Falta de autocompactabilidad Segregación agregado/pasta
Burbujas	Mezclas con alto contenido de arena Moldes no absorbentes Vibrado inadecuado	Retención de aire, agua o agente desmoldante. Pobre capacidad de llenado y pasaje, alta viscosidad o tensión umbral
Escamación y descascarado	Hormigones de baja resistencia Falta de desmoldante Prematura remoción de los moldes	Estabilidad incompleta Segregación o exudación Secado muy rápido
Cuardeos	Mezclas muy ricas o muy pobres Encofrados con baja absorción Curado insuficiente Prematura remoción de los moldes	
Juntas frías	Llenado interrumpido Elevada velocidad de rigidización Segregación del agregado grueso Alta superficie específica de los finos	Incompleta habilidad de llenado veloz pérdida del escurrimiento Viscosidad muy alta Interacción adiciones/cemento
Formas	Corrimiento de moldes Mal diseño de encofrados	Excesiva presión

Metodologías de evaluación

Aunque se atiendan todos los factores arriba citados, los defectos igualmente suelen aparecer en alguna medida, por lo que es de interés valorar las características superficiales conforme las exigencias de calidad requeridas. El Report N° 24 presenta un método donde la calidad de una superficie puede ser expresada en términos cuantitativos. En algunos casos se dan límites para el tamaño de los defectos; en otros se fijan límites para la variabilidad entre distintas zonas de los elementos constructivos. Los límites están dados para distintos defectos pero no están interrelacionados entre sí. El Report N° 24 indica láminas con distintos niveles de grises para el color y hace lo propio para diversos tamaños y distribución de burbujas. Esta herramienta ha sido combinada con métodos de procesamiento de imágenes para evaluar la calidad superficial del hormigón gris, de esta manera se vinculó la luminosidad del material y sus variaciones con la cantidad de burbujas presentes resultando posible lograr una evaluación más objetiva que la que surge del mero uso de las láminas incluidas en el Report N° 24 (15). Cabe notar que el Report N° 24 se ha aplicado recientemente para caracterizar al HAC (16).

En el Report N° 24 se diferencian cuatro calidades de hormigón en función de cuatro tipos de defectos según se indica en la Fig. 1: a) los referidos a variaciones de forma (modificaciones del plano debidas a algún tipo de discontinuidad), b) manchas y defectos, c) presencia de burbujas y d) variaciones de color sobre el hormigón seco observado a menos de 3 metros de distancia. Las variaciones de forma disminuyen en elementos prefabricados realizados con encofrados continuos, y dependen del correcto diseño, en cuanto a la rigidez, del molde. Los otros defectos están influenciados por los factores mencionados en el apartado anterior. La evaluación de estos factores califica al hormigón como “especial”, “cuidado”, “ordinario” o “rugoso”, si las superficies tienen más del 95 % libre de defectos, entre 95 y 80 %, entre 80 y 70 % o menos del 70 % respectivamente. Como era de esperar existe mayor tolerancia con la aparición de defectos a medida que disminuyen las exigencias de calidad, sin embargo esta recomendación no menciona cómo interrelacionar distintos defectos.

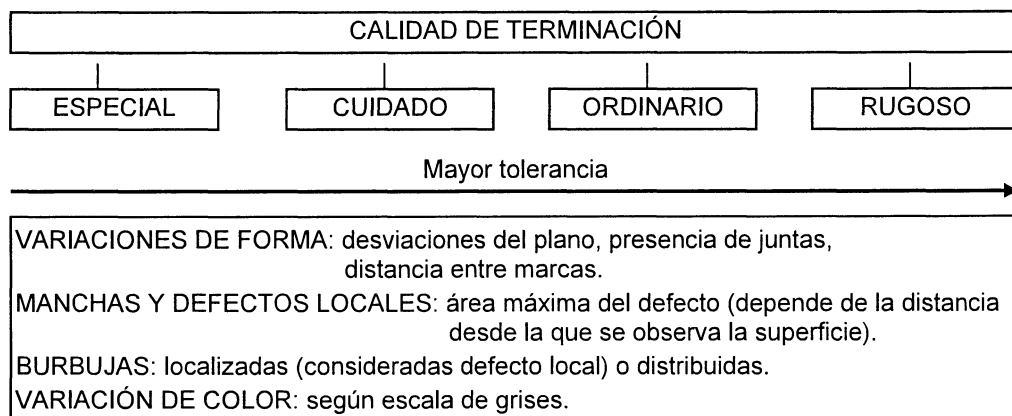


Figura 1. Características superficiales del hormigón según el Report N° 24 (4).

Para la evaluación de la calidad superficial se ha de tener en cuenta la separación entre las superficies (adyacentes o distantes); se permiten mayores defectos cuando las zonas evaluadas se ubican distantes entre sí. Las burbujas y las variaciones del color se ponderan a través de diferentes niveles como se muestra en la Tabla 2. Cada superficie puede presentar distintas escalas de grises (7 láminas) y diferente cantidad y distribución de burbujas (5 láminas). En el caso de contener manchas se podrían identificar por el nivel de gris. Una vez seleccionadas las láminas para cada zona se calcula la diferencia entre los números de las mismas para obtener un rango (R) que indica la calidad superficial (1, 2, 4, 12). En la Tabla 2 se presentan los rangos admitidos para cada calidad de hormigón en función de la distancia entre superficies observadas.

Tabla 2. Tolerancias según la clasificación de calidad superficial según el Report N° 24 (4).

Defectos	Hormigón											
	Especial		Cuidado		Ordinario		Rugoso					
	Rango (R) para observaciones a menos de 3 m de distancia											
Comparación	Ady.	Dist.	Ady.	Dist.	Ady.	Dist.	Ady.	Dist.				
Burbujas	2	4	4	6	6	-	-	-				
Variación de color	2	2	2	3	3	4	-	-				
Escala de grises*				Escala de burbujas*								
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5
*Escala escaneada del Report N° 24.												
Ady.: superficies adyacentes; Dist.: superficies distantes.												

Tabla 3. Parámetros de las láminas.

Parámetros		Lámina N° (Report N° 24)						
		1	2	3	4	5	6	7
Luminosidad	*	90	80	70	68	57	48	35
% de Burbujas	*	0	0.3	0.9	1.9	3.0	4.0	14
	**	0.03	0.13	0.64	2.05	3.67	-	-
* Datos encontrados en la bibliografía (15).								
** Relevamiento manual considerando las burbujas como círculos.								
Luminosidad: unidades CIE Lab								

La Tabla 3 indica los parámetros de luminosidad y el porcentaje de burbujas que caracteriza a cada lámina (15). A modo comparativo en este trabajo se realizó, para cada una de las láminas, una medición manual mediante una plantilla calibrada de los porcentajes de burbujas equivalentes a diámetros de 2, 4, 6, 12 y 17 mm, los valores obtenidos se incluyen en la Tabla 3. Dicha plantilla se utilizaría posteriormente para realizar el relevamiento in situ de burbujas en elementos estructurales; es posible observar una buena coincidencia entre estas determinaciones y los valores indicados por (15).

PROGRAMA EXPERIMENTAL

El programa experimental incluye en primer lugar el estudio de morteros de tipo autocompactantes realizados con el fin de apreciar las características de las superficies en contacto con diferentes materiales: vidrio, acero y madera. En dichas superficies también se realizaron mediciones de color (5). En una segunda parte se analizan dos paneles de HAC con fibras que fueron moldeados utilizando un encofrado metálico de 2 m de largo. La textura se compara además con la obtenida con el mismo hormigón al llenar una columna de PVC. Sobre las superficies de los moldes se aplicaron diferentes agentes desmoldantes.

Estudio de la calidad superficial de morteros en contacto con diferentes materiales

Los morteros se realizaron utilizando dos tipos de cemento, un cemento portland fillerizado (CPF40) y un cemento portland normal (CPN50), además se incorporó filler calcáreo en forma separada (ver Tabla 4). Como agregado fino se empleó una combinación de arenas silíceas naturales (densidad: 2.60; módulo de finura: 2.39; absorción: 0.6 %). El aditivo utilizado fue un superfluidificante con un aporte sólido de 36 %.

Se prepararon tres morteros con distintas proporciones de filler/cemento (f/c), uno con CPN50 (A) y dos con CPF40 (B1 y B2) manteniendo en todos los casos una relación a/c igual a 0.50. Para el mortero A la relación f/c fue de 0.90 y para los otros dos morteros las relaciones f/c fueron 0.80 (B1) y 0.70 (B2). Se adoptaron contenidos de superfluidificante del 0.40 % expresado como porcentaje sólido de aditivo en el mortero con CPN50 y del 0.35 % cuando se usó CPF40. Estas proporciones responden a mezclas previamente optimizadas para obtener HAC utilizando el mismo conjunto de materiales.

Tabla 4. Análisis químico de los cementos y del filler utilizados.

Identificación	CPN50	CPF40	Filler
CaO (%)	64.1	61.9	50.2
SiO ₂ (%)	21.3	20.1	9.2
Al ₂ O ₃ (%)	3.7	3.3	1.1
Fe ₂ O ₃ (%)	3.6	3.2	0.7
SO ₃ (%)	2.5	2.4	0.1
MgO (%)	0.7	0.6	0.3
K ₂ O (%)	1.0	0.9	0.4
Na ₂ O (%)	0.1	0.0	0.1
PPC (%)	2.2	7.0	37.8

Las superficies fueron tratadas con dos agentes desmoldantes, uno de base oleosa (AD1) que produce con los álcalis del hormigón una barrera química resistente al agua y otro de base acuosa (AD2). Si bien este último está especialmente recomendado para superficies de madera, también puede ser empleado para encofrados metálicos. Las recomendaciones del fabricante indican que estos productos han sido formulados para evitar la presencia de manchas en las superficies, minimizar o eliminar huecos causados por agua o aire atrapados, homogeneizar detalles en piezas prefabricadas y reducir el costo y mantenimiento de los encofrados.

Para analizar la calidad superficial se construyó un conjunto de moldes con forma de U según se indica en la Fig. 2. El mismo cuenta con una base de madera sobre la que apoya una placa metálica (acero) que constituye el fondo; las paredes laterales están constituidas por listones de madera y el frente por un vidrio que, además de constituir una superficie pulida sin absorción, permite visualizar el movimiento del mortero durante el llenado. Cada una de las secciones U fueron rellenas con los morteros A, B1 y B2 y al cabo de un día se desmoldaron. En la base de acero se aplicó el agente AD1, en los listones de madera el agente AD2 y el vidrio sólo fue cuidadosamente limpiado (sin agente desmoldante).

Luego de ser desmoldadas las muestras permanecieron durante 24 horas en un ambiente a 23 ± 2 °C y humedad relativa 70 ± 10 % antes de ser analizadas, con el fin de asegurar una mayor uniformidad en el contenido de humedad de las superficies.

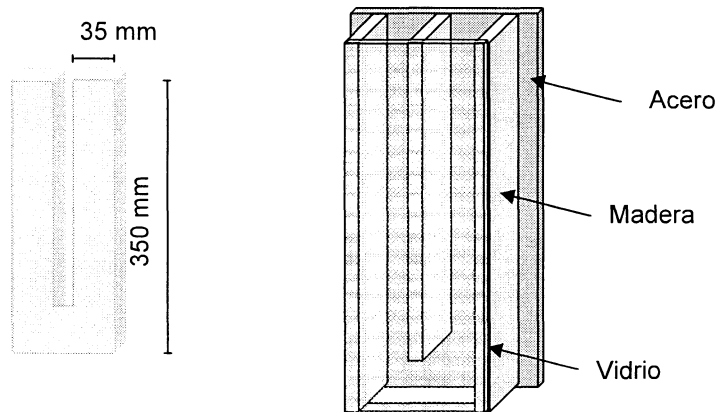


Figura 2. Esquema de los elementos en forma de U preparados en un molde con fondo de acero, laterales de madera y frente de vidrio, utilizados para el estudio del acabado superficial en morteros.

Sobre las superficies de los morteros se relevaron como defectos: las manchas (distinguiendo claras y oscuras) y las imperfecciones superficiales como burbujas o desprendimiento de material (valoradas como ninguna, pocas, intermedias o muchas). Todas estas apreciaciones fueron realizadas por un mismo observador. Finalmente se determinaron la escala de grises según variación del color en terminaciones superficiales y las variaciones de burbujas siguiendo el criterio del Report N° 24; utilizando una distancia de observación igual a un metro. La Tabla 5 resume los resultados obtenidos.

Tabla 5. Evaluación superficial de los morteros.

Tipo de Encofrado	Defectos		Morteros			Color					
			A	B1	B2	L*	C*	h*	L ₂₄		
Acero (AD1)	Manchas	Claras	-	-	-	A	76	6	77°	2	
		Oscuras	-	-	-						
	Burbujas	Ninguna	X	X	X	B1	73	9	81°	2	
		Poca	-	-	-						
		Intermedia	-	-	-						
		Muchas	-	-	-						
	Imperfecciones	Ninguna	X	X	X	B2	72	7	81°	2	
		Poca	-	-	-						
		Intermedia	-	-	-						
		Muchas	-	-	-						
	Madera (AD2)	Manchas	Claras	X	-	X	A	73	5	73°	1-3
			Oscuras	-	-	-					
Burbujas		Ninguna	X	X	-	B1	75	6	80°	1-3	
		Poca	-	-	X						
		Intermedia	-	-	-						
		Muchas	-	-	-						
Imperfecciones		Ninguna	-	-	-	B2	69	8	85°	3	
		Poca	-	X	-						
		Intermedia	X	-	-						
		Muchas	-	-	X						
Vidrio		Manchas	Claras	-	-	-	A	75	4	77°	2
			Oscuras	-	-	X					
	Burbujas	Ninguna	X	-	-	B1	72	4	81°	2	
		Poca	-	X	X						
		Intermedia	-	-	-						
		Muchas	-	-	-						
	Imperfecciones	Ninguna	X	X	-	B2	68	4	84°	2-3	
		Poca	-	-	X						
		Intermedia	-	-	-						
		Muchas	-	-	-						

L₂₄: Nº de lámina de color según el criterio del Report Nº 24.

No se indican las láminas de burbujas pues todas corresponden al Nº 1.

En la Tabla 5 se indican las calificaciones y mediciones de color en función del tipo de superficie y del tratamiento aplicado (AD1, AD2 y vidrio). Es fácil apreciar que en general hay una diferencia entre las texturas logradas conforme si las caras estaban en contacto con el metal (AD1), la madera (AD2) o el vidrio. Las dos primeras texturas resultaron menos brillantes.

Las superficies en contacto con la textura metálica no presentaron manchas según la clasificación adoptada (diferencias en el nivel de gris), ni oquedades o imperfecciones, sin embargo exhibieron algunas manchas de óxido atribuidas a defectos en la preparación del encofrado. Las superficies en contacto con la madera copiaron las vetas del molde y mostraron algunas imperfecciones como desprendimiento del material y manchas blancas propias del desmoldante; se comprobó que estas últimas se pueden eliminar con una simple limpieza superficial.

Considerando la escala de grises según el Report N° 24, los tratamientos AD1 y vidrio corresponden a la lámina N° 2. En el caso del tratamiento AD2 (madera) se encontraron mayores diferencias, con valores correspondientes a las láminas N° 1, 2 y 3, probablemente por exceso de agente desmoldante o por efecto de la absorción del molde.

Otras valoraciones más objetivas fueron obtenidas empleando un colorímetro, los detalles de la técnica fueron presentados en un artículo previo (5). Para los morteros que responden a las láminas N° 1 y 2 las mediciones de Luminosidad (L^*), Saturación (C^*) y Tono (h^*) ajustaron a valores que oscilan entre 72 y 76, 4 y 9 y 77° y 81° respectivamente. Cuando el mortero se ajusta a la lámina es N° 3 la luminosidad disminuyó a 68 con similares valores de saturación y tono. Finalmente cabe notar que en el mortero con menor contenido de filler (B2) disminuyó la luminosidad para todos los tratamientos aplicados.

Evaluación de la calidad superficial en paneles de HAC

Se realizaron dos HAC utilizando los mismos materiales que en el caso de los morteros y como agregado grueso piedra partida granítica, además se incorporaron en cada uno diferentes tipos de fibras. En el primero (H1) se empleó un tamaño máximo igual a 12 mm, el cemento CPN50 y fibras de acero de 35 mm de largo, tipo hooked-end. En el segundo (H2) piedra partida granítica de 20 mm de tamaño máximo, el cemento CPF40 y fibras sintéticas estructurales de 50 mm de largo.

La autocompactabilidad se evaluó a través del ensayo de escurrimiento (diámetro final D_f y tiempo T_{50}) y del embudo en V (tiempo T_v). El hormigón H1 tuvo un D_f de 670 mm y un tiempo T_{50} igual a 3.6 s, mientras que el T_v alcanzó valores de 12.7 s, por otro lado el hormigón H2 alcanzó similar D_f pero tuvo un comportamiento menos viscoso ya que el tiempo T_{50} disminuyó a 2.6 s y el T_v a 5.2 s.

Con cada HAC se llenó un panel de acero de 2 m de largo, 0.50 m de altura y 0.08 m de espesor. Con el hormigón H1 se llenó además un tubo de PVC de 2 m de altura y 0.10 m de diámetro. En el caso del H1 se colocó sobre una de las superficies del panel agente AD1 (Lado A) y en la otra agente AD2 (Lado B). En el hormigón H2 se utilizó nuevamente el agente AD1 sobre una de las superficies y sobre la otra se colocó un film de polietileno (P). En el tubo de PVC no se realizó ningún tipo de tratamiento. Los paneles fueron desmoldados a las 24 horas y luego permanecieron al aire un día antes de realizar las determinaciones de la calidad superficial. La Fig. 3 muestra el molde empleado.

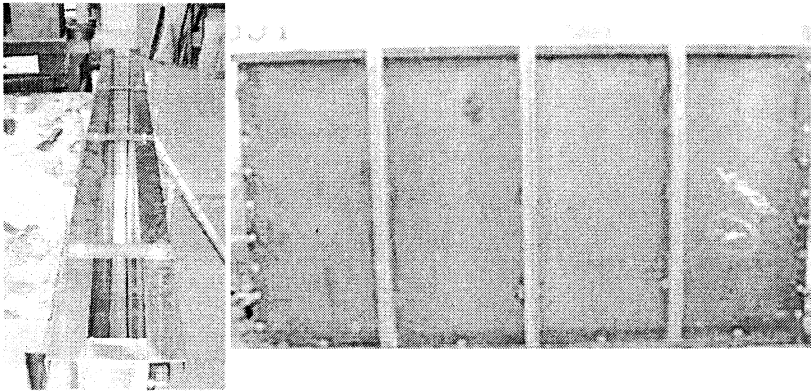


Figura 3. Encofrado del panel empleado en el estudio del acabado superficial en HAC.

Se realizó el relevamiento a la misma distancia utilizada en los morteros (1 m) y luego se comparó con nuevas evaluaciones obtenidas a mayor distancia (3 y 5 m).

Sobre ambos lados de cada panel se dibujaron cuadrículas de 0.50 x 0.50 m aproximadamente, mientras que en el caso del tubo se delimitaron secciones de 0.40 m de longitud. Los lados del panel (A y B) se dividen en las cuadrículas 1, 2, 3 y 4, y, al igual que el tubo; la cuadrícula número 1 corresponde a la zona de colocación del hormigón.

Además de determinar las escalas de color y burbujas se analizó la presencia de manchas o algún otro tipo de defectos. Para el relevamiento de la cantidad de burbujas se consideraron diámetros entre 2 y 17 mm.

En las Figs. 4.a, 4.b, 5.a y 5.b (fotografías tomadas a 3 metros de distancia) se han marcado los límites entre los distintos niveles de colores y burbujas identificados para los hormigones H1 y H2.

La Tabla 6 resume la información vinculada con la valoración de los defectos superficiales en los hormigones de acuerdo al rango (R) alcanzado. Se indican los números de las correspondientes láminas de color y burbujas, además de la presencia o no de alguna mancha o imperfección.

En el hormigón H2, que constituía una mezcla menos viscosa, no se observaron manchas ni imperfecciones, cosa que si ocurrió con el hormigón H1 empleando el mismo tratamiento superficial (AD1). En lo referente a variaciones de color y burbujas, nuevamente H2 presenta un mejor desempeño. Comparando el efecto de los agentes desmoldantes, en H1, se encontró una calidad menor con el desmoldante AD2 que con el AD1.

Para el caso del tubo, todas las secciones analizadas se ajustaron a la lámina de burbuja N° 1 y la de variación de color a la N° 3, más oscura.

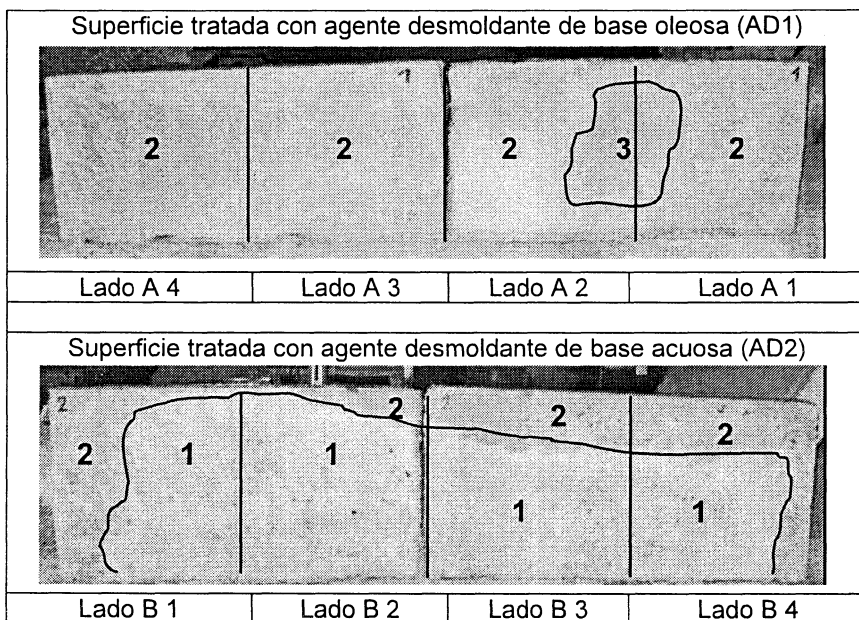


Figura 4.a. Relevamiento del color en el panel llenado con el hormigón H1.

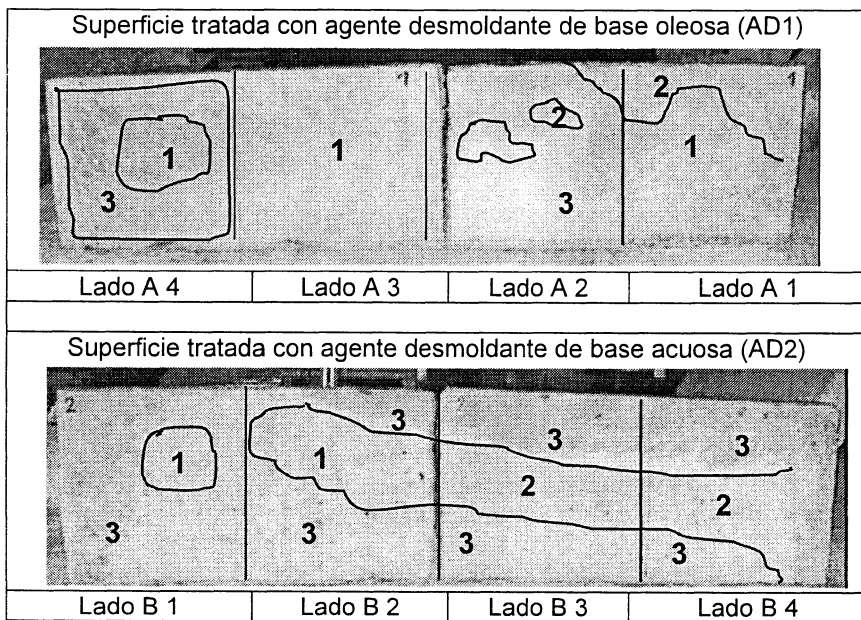


Figura 4.b. Relevamiento de burbujas en el panel llenado con el hormigón H1.

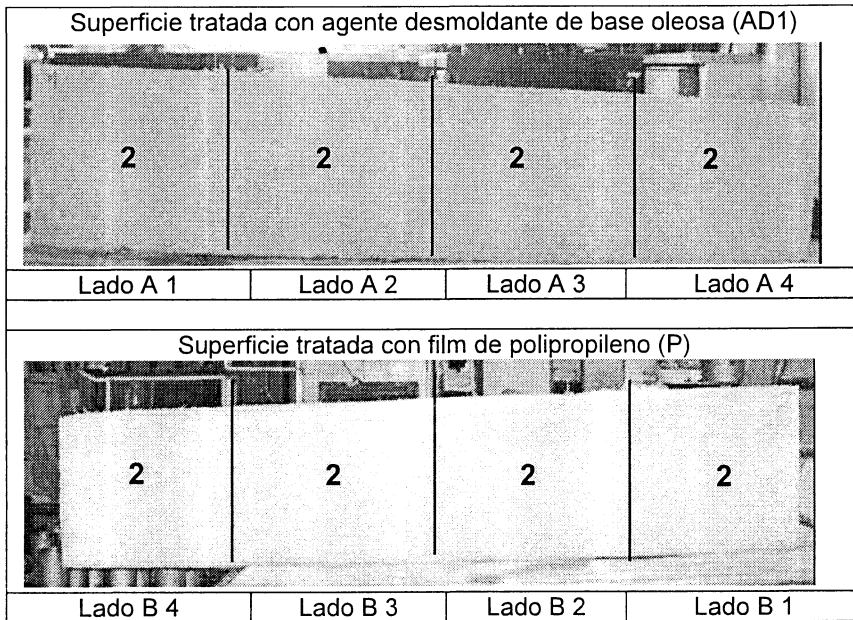


Figura 5.a. Variaciones del color en el panel llenado con el hormigón H2.

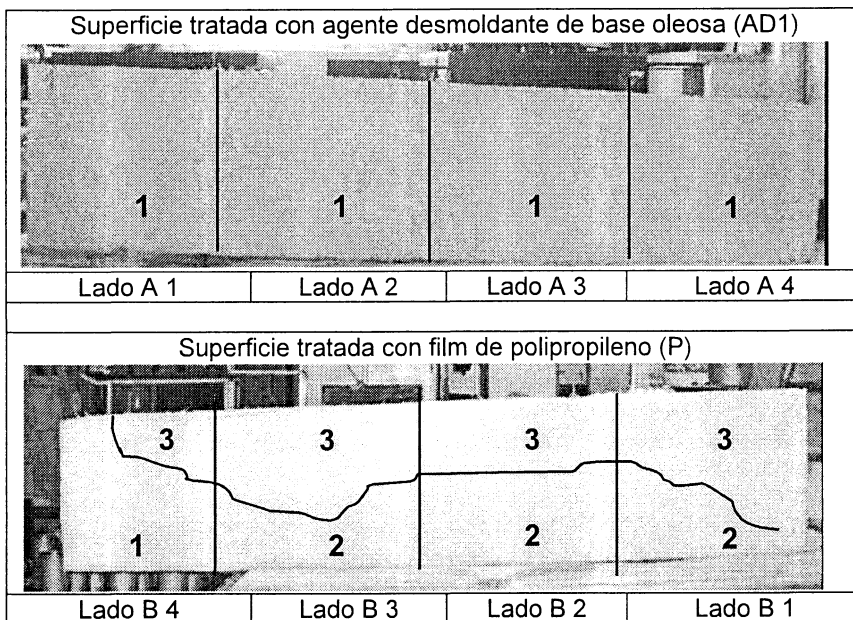


Figura 5.b. Relevamiento de burbujas en el panel llenado con el hormigón H2.

Tabla 6. Medidas de defectos superficiales en hormigones.

Cuadrículas		Color		Burbujas		Manchas	Imperfecciones
		L ₂₄	R	L ₂₄	R		
Panel H1	A1	2-3	1	1-2	1	Si	Si
	A2	2-3	1	1-2	1	Si	Si
	A3	2	0	1	0	No	No
	A4	2	0	1-3	2	No	Si
	B1	2-1	1	1-3	2	Si	Si
	B2	2-1	1	1-3	2	Si	Si
	B3	2-1	1	2-3	1	Si	Si
	B4	2-1	1	2-3	1	Si	Si
Panel H2	A1	2	0	1	0	No	No
	A2	2	0	1	0	No	No
	A3	2	0	1	0	No	No
	A4	2	0	1	0	No	No
	B1	2	0	2-3	1	No	No
	B2	2	0	2-3	1	No	No
	B3	2	0	2-3	1	No	No
	B4	2	0	1-3	2	No	No
Tubo H1	C1	3	0	1	0	No	No
	C2	3	0	1	0	No	No
	C3	3	0	1	0	No	No
	C4	3	0	1	0	No	No

L₂₄: lámina correspondiente en el Report N° 24
R: rango, indica las diferencias entre las láminas que se ajustan al color o a la distribución de burbujas dentro de la superficie analizada.

En la Tabla 7 se indica el porcentaje del área de cada cuadrícula correspondiente a cada lámina de color o de burbujas. El análisis de la misma permite apreciar la uniformidad en cada panel. Se observa que las superficies con el tratamiento AD1 (cuadrículas A) tienen mayor homogeneidad en la distribución del color y de las burbujas en H2 que en H1, ya que todas las cuadrículas del primero se enmarcan dentro de las láminas N° 2 de color y N° 1 de burbujas, mientras que en el H1 hay mayor variación de ambos parámetros.

Otro factor a considerar es el cambio en el tamaño de las burbujas que se produjo en el H2 al aplicar un film sobre el encofrado, en este caso se identificaron tres distribuciones de burbujas (láminas N° 1, 2 y 3) a diferencia del otro tratamiento superficial donde el 100 % corresponde a la lámina N° 1. La marcada aparición de burbujas en el lado B del H2 se atribuye al desprendimiento durante el desmolde de una delgada lámina de

pasta de la superficie en contacto con el film, que disimulaba las burbujas. En la Tabla 8 se indican los porcentajes de burbujas por cuadrícula de los paneles, según el hormigón evaluado. Se destaca que los valores son muy pequeños y en ningún caso alcanzan el 1 %. En el hormigón H1 con el tratamiento AD1 (Lado A) se produjo menor contenido de burbujas que con el tratamiento AD2 (Lado B), y a igualdad de tratamiento la menor viscosidad del hormigón H2, favoreció la disminución en la cantidad de burbujas.

Tabla 7. Distribución porcentual de los niveles de defectos.

Cuadrículas		Láminas color			Láminas burbujas		
		1	2	3	1	2	3
Panel con H1	A1	0	90	10	75	25	0
	A2	0	85	15	0	15	85
	A3	0	100	0	100	0	0
	A4	0	100	0	15	0	85
	Promedio	0	94	6	48	10	42
	B1	70	30	0	10	0	90
	B2	95	5	0	30	0	70
	B3	75	25	0	35	0	65
	B4	70	30	0	45	0	55
	Promedio	78	22	0	30	0	70
Panel con H2	A1	0	100	0	100	0	0
	A2	0	100	0	100	0	0
	A3	0	100	0	100	0	0
	A4	0	100	0	100	0	0
	Promedio	0	100	0	100	0	0
	B1	0	100	0	0	30	70
	B2	0	100	0	0	60	40
	B3	0	100	0	0	35	65
	B4	0	100	0	75	0	25
	Promedio	0	100	0	19	31	50
Tubo con H1	C1	0	0	100	100	0	0
	C2	0	0	100	100	0	0
	C3	0	0	100	100	0	0
	C4	0	0	100	100	0	0
	Promedio	0	0	100	100	0	0

Tabla 8. Contenido de burbujas sobre los paneles de HAC.

Cuadrículas	H1 (%)		H2 (%)	
	Lado A	Lado B	Lado A	Lado B
1	0.05	0.32	0.01	0.07
2	0.16	0.53	0.02	0.20
3	0.04	0.29	0.00	0.05
4	0.32	0.81	0.01	0.03
Total	0.57	1.96	0.03	0.36

Finalmente se realizaron comparaciones entre cuadrículas adyacentes y distantes para analizar la variación del acabado superficial a lo largo del panel. Desde el punto de vista estético la variación a la distancia puede ser muchas veces de tanta importancia como la presencia de defectos localizados. Para esto se aplicó el criterio de las tolerancias de rango presentado en la Tabla 2. A partir del mismo surge que todas las terminaciones superficiales pueden calificarse como "Especiales" ya que en ningún caso superan el rango 2. No obstante ello, el hormigón H2 dadas sus características en estado fresco permitió alcanzar una mejor calidad superficial.

Cabe destacar que todas las evaluaciones analizadas fueron realizadas a una distancia de observación igual a 1 m a fin de seleccionar las láminas correspondientes del Report N° 24 sobre color y distribución de burbujas. A medida que se aleje el observador se modificará esta apreciación, obteniendo una mayor valoración de la calidad superficial que la determinada a menor distancia. Esto se da en especial para la distribución y tamaño de burbujas (lo mismo ocurriría si existieran agregados expuestos), pero en el caso de las manchas el incremento en la distancia tendrá que ser mucho mayor para dejar de percibir las. Al respecto se debe señalar que en las observaciones realizadas a 3 y 5 m disminuyó significativamente el impacto que produce la presencia de las burbujas pero se incrementó el de las manchas, en particular en el caso del hormigón H1.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó la metodología adoptada para evaluar la calidad superficial en morteros y hormigones autocompactantes. La misma parte de la propuesta del Report N° 24 del CIB, e incluye la caracterización de la uniformidad en el color y de la presencia de burbujas. Además se incorporaron otros elementos para la definición de manchas y la valoración de la cantidad de burbujas de diversos tamaños. Se realizaron experiencias sobre morteros y hormigones evaluando superficies obtenidas con moldes de distintos materiales tratados con diferentes agentes desmoldantes. Las observaciones y conclusiones más destacadas se presentan a continuación.

El método de relevamiento adoptado permitió calificar en forma sencilla la calidad superficial y evidenciar la influencia del material de los moldes, de los diferentes tratamientos aplicados a las paredes de los moldes como así también de las características particulares de cada mezcla.

En los estudios realizados sobre morteros para HAC se obtuvieron superficies pulidas en contacto con vidrio, con moldes de madera las terminaciones fueron rústicas, mientras que con el acero resultaron texturas lisas, intermedias entre la madera y vidrio. En cuanto a la coloración las escalas de grises estuvieron comprendidas entre las láminas N° 1 a 3; lo que pone de manifiesto una buena uniformidad; en el caso de las paredes del molde de acero se observó mayor homogeneidad y todas las superficies correspondieron a una misma Lámina (N° 2).

En estudios realizados sobre HAC se encontró que al utilizar mezclas más viscosas se produce una disminución en la calidad superficial, fundamentalmente evidenciada en una mayor cantidad de burbujas. A la vez se observó que al emplear moldes metálicos el agente desmoldante a base oleosa da lugar a una mejor calidad superficial.

La concordancia entre las observaciones a nivel de mortero y de HAC, reafirman la potencialidad de los estudios a escala de la matriz para estimar la calidad superficial del hormigón.

REFERENCIAS

- (1) EPG 2005. "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use", en <http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf>
- (2) Esqueda Huidobro, H.A., "Concreto Arquitectónico". IMCYC, 1996, 169 p.
- (3) Coelho, F. de Carvalho, "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, 248 p.
- (4) CIB Report N° 24 "Tolerances on blemishes of concrete", prepared by CIB Working Commission W29 "Concrete Surface Finishings", 1977.
- (5) López A., Tobes J. M., Positieri, M. J. y Zerbino, R. "Medición del color en materiales a base de cemento portland". Ciencia y Tecnología del Hormigón N° 14, 2007, pp. 25-36.
- (6) "Architectural Precast Concrete Finishes Guides" en www.archprecast.org/finishesguide.pdf
- (7) Benini H. "Concreto Arquitetónico e Decorativo" en Concreto. Ensino, Pesquisa e Reliações, Editor G. C. Isaia. IBRACON. São Paulo-SP, Brasil. ISBN 85- 98576-04-2, Cap. 46, 2007, pp. 1413-1551.
- (8) Positieri, M. J., "Propiedades físico-mecánicas y durabilidad del hormigón coloreado". Tesis doctoral, UTN-FRC, Argentina, 2005, 254 p.
- (9) Pérez F. C., Cassinello, F. y Martí, J., "Construcción: Hormigonería". Instituto Juan de Herrera (ETS de Arquitectura), Reverté Ed., 1996, 656 p.
- (10) ACI 237R-07. "Self-Consolidating Concrete". Reported by ACI Committee 237. 31 p
- (11) Mindess, S., Young, F. J. and Darwin D. "Concrete". 2nd ed. Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, EEUU. ISBN 0-13-064632-6, 2003, 629 p.
- (12) Delibes Liniers, A., "Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón". 2ª ed. INTEMAC Ed., España. ISBN 84-88764-01-4. 1993, 396 p.

- (13) Gretschel, V. "Agentes desencofrante: fundamentos y aplicación en la fábrica de prefabricados", PHI-Planta de Hormigón Internacional, 2008, p. 164-166.
- (14) ACI 201.1 R-92. "Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service". by ACI Committee 201. 16 p.
- (15) Lemaire, G., Escadeillas, G. and Ringot, E., "Evaluating concrete surfaces using an image analysis process". Construction and Building Materials 19, 8, 2005, pp. 604-611.
- (16) Pacios, A., Olmos, I. y Flores D., "Relación entre el control de recepción y el acabado en elementos de hormigón arquitectónico", en Hormigón Autocompactante, España, ISBN 978-84-612-2373-2, 2008, pp. 495-506.