

## INESTABILIDAD DE AGREGADOS EN PISOS INDUSTRIALES DE HORMIGÓN CON RECUBRIMIENTOS POLIMÉRICOS

O.R.Batic<sup>1</sup>, J.D. Sota<sup>2</sup>, P.J. Maiza<sup>3</sup>, S.A. Marfil<sup>4</sup>, E. Peyrú<sup>5</sup>  
LEMIT-CIC - 52 y 121 La Plata (1900) – TE: 0221-4831142/4 FAX: 4250471  
e-mail: [jdsota@netverk.com.ar](mailto:jdsota@netverk.com.ar)

**Palabras claves:** Pisos industriales, hormigón, polímeros, durabilidad

### RESUMEN

La aparición en pisos industriales de gran superficie de deformaciones o aglobamientos (blistering), seguidos de un posterior despegue parcial, de revestimientos poliméricos aplicados sobre la superficie del hormigón, afectaron la calidad superficial, alterando sus prestaciones y el aspecto estético.

La patología en todos los pisos analizados proviene del sustrato, se puso de manifiesto luego de un año y medio de colocado del piso.

Se realizaron estudios para detectar las fallas de los materiales que componen el hormigón y el revestimiento, procesos de colocación, condiciones locales de humedad, temperatura, etc..

Los resultados mostraron que los agregados utilizados contenían un porcentaje de clastos con una mineralogía inestable.

En este trabajo se describe el problema, se muestran los resultados de los ensayos “in situ”, la petrografía y mineralogía del agregado, porosidad del hormigón, adherencia, envejecimiento, etc..

Las conclusiones llevan a recomendar estudios especiales de los agregados que se usarán en pisos industriales con o sin tratamientos superficiales.

1. Investigador Principal CIC-LEMIT. Profesor Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata. [orbatic@netverk.com.ar](mailto:orbatic@netverk.com.ar).
2. Profesional Principal CIC-LEMIT. Docente Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata. [jdsota@netverk.com.ar](mailto:jdsota@netverk.com.ar).
3. Investigador Principal CONICET. Profesor Universidad Nacional del Sur. [smarfil@criba.edu.ar](mailto:smarfil@criba.edu.ar).
4. Investigador Adjunto s/d CIC. Profesor Universidad Nacional del Sur.
5. Presidente de Ferrocement S.A. [epeyru@ferrocement.com.ar](mailto:epeyru@ferrocement.com.ar).

## INTRODUCCION

El hormigón se proyecta para cumplir con propiedades normales y especiales de acuerdo al requerimiento del tipo de proyecto a construir. Habitualmente los hormigones deben cubrir varios aspectos en estado fresco principalmente los de trabajabilidad, es decir, cohesión, no segregarse, llenar bien los moldes en el estado endurecido y tener la resistencia mecánica necesaria, brindar la permanencia de sus propiedades en el tiempo, en el ambiente de emplazamiento, tener durabilidad para la vida en servicio esperada en el proyecto y además poseer la menor variación de volumen posible, como material compuesto en conjunto y la de cada uno de sus componentes.

Cuando se producen variaciones de volumen y existen restricciones de los grados de libertad en elementos estructurales, se generan tensiones, que al sobrepasar la resistencia mecánica, se inician las fisuras que avanzarán progresivamente si no se toman las precauciones del caso.

En ocasiones se utilizan componentes del hormigón que producen variaciones volumétricas, es el caso de los agregados, habitualmente ocupan aproximadamente el 70 % del volumen total, que frente a cambios de temperatura, humedad, pH, oxidación, etc., conducen a provocar fisuras a veces acotadas a un entorno, en la periferia de ellos o bien manifestarse como reventones localizados (pull-outs). En la bibliografía se citan casos (reacción con álcalis u oxidación) de inestabilidad de agregados que contienen minerales específicos como pirita, sílice amorfa, arcillas, ciertos óxidos, etc., que provocan deterioros en el hormigón.

Observaciones realizadas muestran que cuando solo se trata de reventones superficiales (pull-outs), no se pone en juego la estabilidad de la estructura y en consecuencia se le presta poca atención al problema, como sucede en la superficie de rodamiento; donde el aspecto superficial del hormigón es importante como terminación o de gran importancia si se va a aplicar algún revestimiento permeable o impermeable. En este caso no debe desprenderse ni mostrar variaciones volumétricas localizadas, globos u otras deformaciones que son proclives a gastarse, opacarse y además dejar de brindar una superficie lisa y continua.

En este trabajo se muestran los resultados del estudio de hormigones procedentes de varias obras en los que se han utilizado agregados de distinto origen, ubicados en diferentes ambientes y distinta tipología de estructura. El factor común reside en que al estar afectados por esta patología disminuye el valor del revestimiento por el deterioro de la terminación superficial debido a la aparición de pequeños cráteres o desconches que pueden provocar la aceleración de los procesos corrosivos en el hormigón y el hierro de refuerzo. En una de las obras un hecho similar provocó el desprendimiento de los revestimientos poliméricos (pisos vinílicos y epoxídicos), modificando la superficie del piso con deformaciones en forma de globos, mayoritariamente macizos, con distribución aleatoria, de variados tamaños y formas, principalmente circulares.

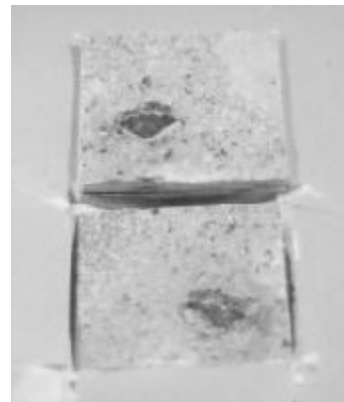
El estudio de las protuberancias mostró que debajo de la membrana del piso se observan clastos de agregados alterados, de color castaño característico, con humedad y en algunos casos, parte de mortero con trozos del agregado alterado adheridos al revestimiento polimérico aglobado.

El estudio, en laboratorio de trozos de piso polimérico tomadas en obra con las deficiencias señaladas, de muestras de hormigón y agregados, indicaron que los materiales pétreos utilizados contienen minerales que degradan a arcillas y que al absorber pequeñas cantidades de humedad manifiestan importantes cambios de volumen y provocan el desprendimiento localizado de la superficie del piso. Si estos clastos argilizados se ubican a cierta distancia de la superficie y están confinados, las tensiones que desarrollan no alcanzan a producir los daños mencionados.

Los testigos disponibles se cortaron en rodajas y se pusieron en contacto con agua, esto modificó las condiciones de confinamiento y exposición lo que provocó el hinchamiento, al cabo de unos días.



Fotografía 1. Aspecto del piso con aglobamiento superficial



Fotografía 2. Corte del piso en un aglobamiento. Agregado alterado y húmedo

Durante las inspecciones oculares realizadas a las obras, se tomaron fotografías de diferentes zonas de la superficie de los pisos. En las fotografías 1 y 2 se muestran detalles de alguno de los pisos en estudio.

## **ESTUDIOS REALIZADOS**

Se elaboró un plan de estudio en obra para conocer las condiciones ambientales y las del hormigón que influirían sobre la estabilidad volumétrica, tales como humedad, temperatura, relevamiento de globos y extracción de testigos. Luego se realizaron una serie de determinaciones en el laboratorio para conocer las características del hormigón y del piso, como composición litológica, influencia de la humectación, mineralogía y estado de alteración de las rocas en cortes delgados, difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (SEM).

## 1 - DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD “IN SITU”

Se consideró necesario disponer de información sobre la humedad que contenía el hormigón ubicado debajo del piso para determinar la humedad “in situ”. Se aplicaron los siguientes métodos para hacer la evaluación.

### 1.a - Medida de la emisión de vapor húmedo en bases de hormigón con cloruro de calcio anhidro.

Para determinar la emisión de vapor húmedo utilizando  $Cl_2Ca$  se tuvo en cuenta la especificación ASTM E 1907 párrafo 7.6, y F 1869. Con el fin de implementar esta última se hicieron cortes del piso polimérico superficial de 20 x 30 cm y se determinó la emisión de agua del hormigón a las 72 hs, utilizando  $Cl_2Ca$ . El cálculo se realizó aplicando la fórmula de MVER (párrafo 7.5). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.

### 1.b - Uso de un higrómetro

En forma similar al método anterior se utilizaron higrómetros según lo indica la BS 8203:96 y ASTM E 1907-97 párrafo 7.9, en lugar de  $Cl_2Ca$ ; y se determinó la HR a las 72 Hs. Los resultados se indican en la Tabla 1.

### 1.c - Determinación de la pérdida de peso

Se determinó la humedad del hormigón de trozos obtenidos a profundidades de 2,5 y 5,0 cm. Las muestras se secaron en una estufa a  $105 \pm 5^\circ C$ , la diferencia de peso en % se muestra en la Tabla 1.

Los datos 1a y 1b se realizaron aplicando las trampas de vidrio sin que mediara oreo, a los fines de poder evaluar el grado de impermeabilidad del revestimiento. Los resultados obtenidos indican una muy elevada impermeabilidad del revestimiento existente sobre el hormigón y que por lo tanto el grado de humedad final determinado en 1c debe ser muy próximo al estado higrométrico residual original en el hormigón, al momento de la instalación del revestimiento, estando el mismo dentro de valores normales indicados en la ASTM E 1907 XI 3.1.1 (Appendix) para el Test Method D 2216.

Tabla 1. Determinación de la humedad del hormigón y la adherencia del piso por distintos métodos

Sitio	Humedad en trozo de hormigón (%)		Higrómetro HR (%)	MVER Lb/1.000 ft <sup>2</sup> . 24 h (*)	Pull-out (Kg/cm <sup>2</sup> )	
	a 2,5 cm	a 5 cm			A	B
1	4.8	5.1	100	17.55	6.3	12.5
2	3.2	3.7	-	n/d	11.1	12.0
3	4.0	6.0	100	20.0	7.9	10.0
4	4.3	4.4	90	--	15.3	16.8
5	4.1	3.1	100	16.45	11.8	16.1
6	4.4	4.2	100	24.80	11.8	13.5

(\*) Según 7.7.8.1 de ASTM F 1869

Del análisis de los resultados obtenidos por los tres métodos se consideró que el que mejor refleja el estado higrométrico del hormigón es el 1.c, con lo que se estima que el contenido de humedad está comprendido entre el 3 y el 6 %.

## 2 - DETERMINACIÓN DE LA ADHERENCIA DE LA MEMBRANA DE PISO

Debido a la observación de los desprendimientos localizados (globos) resultó de interés evaluar la tensión de adherencia piso/hormigón. Se determinó mediante un ensayo de pull-out "in situ" (Standard Test Method for pull-off ASTM D 4541-95), utilizando insertos adheridos al piso con un adhesivo epoxídico 72 hs. antes del ensayo. Usando un dinamómetro con registro se midieron los esfuerzos necesarios para producir los desprendimientos. Los resultados se muestran en la Tabla 1, los valores obtenidos son considerados normales para este tipo piso.

## 3 - MUESTRAS DEL HORMIGÓN SOPORTE USADO COMO BASE DEL PISO.

En un relevamiento ocular previo se seleccionaron sitios con alteraciones (globos) y otros normales; se extrajeron por calado con broca diamantada testigos cilíndricos de todo el espesor (12 cm). Se observó la existencia de una doble barrera de vapor sobre el suelo en que se apoya.

En el laboratorio se obtuvo la resistencia a compresión sobre los testigos que en todos los casos fue superior a 30 MPa, cumpliendo ampliamente lo requerido, otros testigos no ensayados, se cortaron en rodajas de 3 cm de espesor mediante un disco de corte en seco.

Con algunos trozos se realizaron estudios de estabilidad volumétrica, un grupo sumergido totalmente en agua y otro unos 4 mm, humedeciéndose por ascensión capilar, manteniendo ambas condiciones durante 30 días.



Fotografía 3. Se observan dos trozos de hormigón con clastos de agregado grueso alterado fuertemente adherido al piso polimérico y resto de sales de calcio (mitades enfrentadas)



Fotografía 4 Trozos de testigos apoyados en agua una semana. Se observa una fisura diametral y agregados alterados.

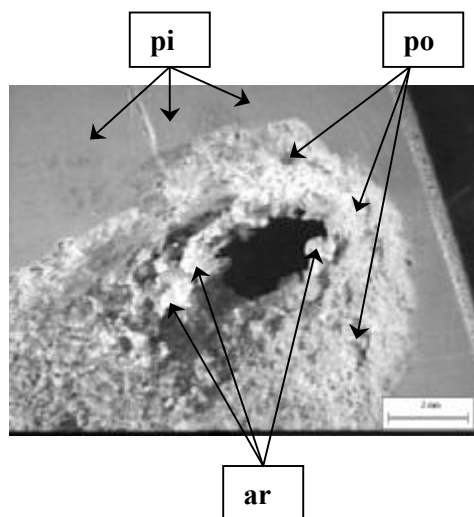
Los trozos expuestos a humedad en la base (ascensión capilar) mostraron, al cabo de cuatro días, los primeros síntomas de aumento de volumen de algunos clastos del agregado, observándose pequeñas fisuras que avanzaron con el tiempo como puede observarse en las fotografías 3 y 4. También se observaron signos de alteración superficial.

Partes de los testigos extraídos de los pisos afectados, tomados de la superficie, del tercio medio y del inferior, se utilizaron para estudios petrográficos y mineralógicos de los agregados, de la microestructura en la masa y de la interfase hormigón-revestimiento poliuretánico superior.

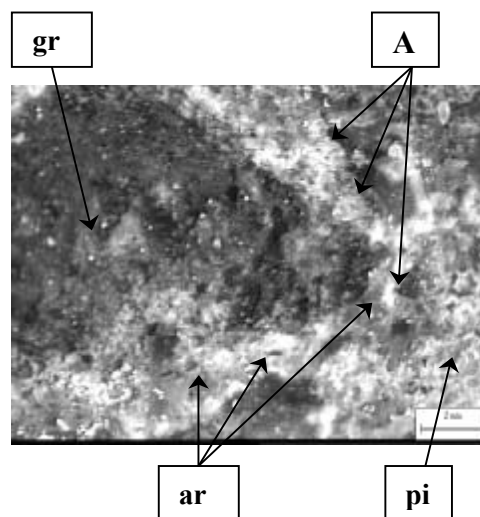
Se utilizó una metodología similar a la descrita por ASTM C 856. Los resultados muestran que el hormigón contiene agregado grueso compuesto por metamorfitas graníticas; predominan migmatitas graníticas, ricas en feldespato potásico y migmatitas calco-alcálicas en cantidad subordinada. En general el estado de alteración es débil; consiste en una incipiente sericitización y caolinización, esporádicamente hay carbonatación. Se estima que entre el 2 y 4% de los clastos de agregado grueso, presentan desferrización de los minerales máficos, con fuerte argilización.

El agregado fino está compuesto por una arena natural cuarzo-feldespática con clastos líticos de areniscas silíceas y rocas graníticas. No se observan clastos alterados.

El estudio de la interfase hormigón-membrana polimérica, realizado mediante estereomicroscopía mostró que en la parte superior del testigo (zona del aglobamiento) existe un clasto de agregado alterado. Se identificó la presencia de algunas hojuelas de arcilla (ar) y de abundante agua, que al secarse provocó la precipitación de importante cantidad de portlandita.



Fotomicrografía 5: Vista de interfase de piso poliuretánico (pi) y una zona porosa de hormigón (po), una arcilla blanca (ar) muy expandida según planos de clivaje.



Fotomicrografía 6: Vista del hormigón desprendido: un clasto de roca granítica alterada (gr) con una corona de reacción arcillosa (ar), zonas saturadas (A) y parte de piso (pi)

El estudio de trozos de hormigón tomados a una profundidad desde 2 cm hacia la base no muestra evidencias de alteraciones de agregados en el hormigón, ni reacciones deletéreas, cambios de color, ni fisuras.

Los estudios realizados con SEM de muestras de hormigón obtenidas de las zonas que presentan alteraciones permiten observar gran cantidad de microfisuras entre los constituyentes de la roca granítica, identificándose partículas de cuarzo, relictos de mica y feldespatos y una pátina de un gel de silicato alcalino, similar al que se produce durante el desarrollo de la reacción álcali - agregado.

## **CONSIDERACIONES**

Los estudios “in situ” del piso y los testigos en el laboratorio muestran que existen aglobamientos de diferentes tamaños y que en los lugares con desprendimiento de la membrana del piso, se observan restos adheridos de mortero u hormigón con agregados alterados y dentro de la misma área zonas limpias sin adherencia, sin mortero.

En la mayoría de los sitios afectados estudiados, presentan humedad y se detectan agregados alterados, destacándose que los envuelve una aureola de color pardo u ámbar, propia de la desferrización de algunas rocas cuando se alteran y otros de color blanco por la presencia de calcio, probablemente debido a la circulación de humedad; además un producto amorfo, tipo gel, de silicato alcalino.

El hormigón analizado, contiene un agregado grueso del tipo metamorfita granítica en los que predominan migmatitas graníticas, ricas en feldespato potásico parcialmente argilizado y sus mafitos desferrizados en un porcentaje aproximado del 2 al 4%. El proceso de desferrización tiñe de pardo rojizo al hormigón circundante cuando está oxidado o de gris verdoso cuando el proceso de oxidación no ha concluido.

En los productos neoformados por alteración del agregado, los estudios por DRX mostraron arcillas expansivas (del tipo montmorillonita y vermiculita). Estas al absorber humedad aumentan de volumen, causando tensiones que pueden llegar a provocar fisuras en el hormigón y cuando están próximas a la superficie (de acuerdo a la ubicación, grado de alteración y tamaño), por absorción de agua provocan el desprendimiento del piso impermeable adherido.

En algunos globos se determinó además de la existencia de agregados alterados, agua conteniendo calcio, sodio y potasio y un elevado pH, superior a 12, que contribuye a intensificar el deterioro en la zona de interfase hormigón-piso.

No se descarta que en el desprendimiento del piso hayan participado además de la humedad, procesos de ósmosis y cristalización de sales.

## CONCLUSIONES

El hormigón utilizado en las obras estudiadas cumple con los requisitos de trabajabilidad para poder ser colocado correctamente y los de resistencia mecánica final según el proyecto.

Sin embargo la presencia de agregados con algunos clastos argilizados y sus mafitos desferrizados en el orden del 2 al 4 %, hacen necesario tomar precauciones adicionales en proyectos en que el hormigón sea utilizado como base de pisos permeables o impermeables deformables.

El estudio de las dosificaciones de los hormigones en función de su buena eficiencia y vida útil no solo debe pasar por el estudio de sus materiales componentes aplicando especificaciones generales sino algunas particulares según el destino o necesidad, frente a diferentes solicitudes, siendo en este caso una exigencia no estructural muy importante.

En los hormigones destinados al soporte de pisos impermeables deformables se debe tener en cuenta de manera particular el estado y la calidad de los agregados en los que debe extremarse su limpieza y la ausencia de materiales arcillosos además de evitar las contaminaciones de clastos alterados aunque sea muy bajo el porcentaje de los mismos (menores al 5 % total del agregado).

Para el estudio de agregados que serán empleados en el hormigón base para aplicar pisos o membranas impermeables, a fin de impedir el desarrollo de patologías como las analizadas en este trabajo (aglobamiento) se deben tener en cuenta ensayos complementarios a los normalizados a fin de asegurar un buen comportamiento, debiendo generarse recomendaciones particulares para estos hormigones.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) Norma ASTM E 1907 –97 – Standard Practices for determining moisture-related acceptability of concrete floors to receive moisture-sensitive finishes.
- 2) Cain R. Solving problems caused by moisture vapor transmission on concrete floors. Key Resin Company Batavia, Ohio.pp.13-16.
- 3) BS 8204-1:1999. Screeds, bases and in-situ floorings. Part 1. Concrete bases and cement sand leveling screeds to receive floorings-Code of practice.
- 4) BS 8203:1996. Annex A . (normative). Dampness testing.
- 5) Suprenant B. A. and Malisch W.R. Effect of water-vapor emissions on floor-covering adhesives. Concrete Construction. January 1999. pp. 27-33
- 6) FeRFA. Guide to the Specification and application of synthetic resin flooring. The Resin Flooring Association.
- 7) ASTM C 856-95 . Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete.
- 8) Norma ASTM F 1869 –98 – Standard Test Method for Measuring Moisture Vapor Emission Rate of Concrete Subfloor Using Anhydrous Calcium Chloride.