

HORMIGÓN RECICLADO CON ARENISCA REACTIVA A LOS ÁLCALIS

RECYCLED CONCRETE WITH SANDSTONE REACTIVE TO ALKALIS

Claudio J. Zega¹, Darío D. Falcone², Angel A. Di Maio³

¹ Investigador Adjunto CONICET, LEMIT, cj.zega@conicet.gov.ar

² Profesional Principal CICPBA-LEMIT, durabilidad@lemit.gov.ar

³ Profesional CICPBA-LEMIT, hormigones@lemit.gov.ar

RESUMEN

Uno de los requisitos que debe verificar un agregado natural para su empleo en la elaboración de hormigones está vinculado a la reactividad potencial frente a los álcalis. En el caso de los agregados reciclados provenientes de residuos de hormigón, el cumplimiento de este requisito debería satisfacerse de igual modo. El posible agotamiento de la sílice reactiva en el agregado natural y el consumo de los álcalis aportados por el cemento en el hormigón de origen, sumados a la generación de nuevos planos de fractura en el agregado reciclado y al aporte de álcalis en la nueva matriz, son factores que podrían modificar el desarrollo de la reacción álcali-sílice (RAS) en los hormigones reciclados. En un trabajo anterior se evaluó el comportamiento de hormigones reciclados elaborados con 20 y 50% de agregado grueso reciclado (AGR) respecto al de un hormigón convencional. En este trabajo se analizan las expansiones registradas en dichos hormigones hasta la edad de 156 semanas. Además, se presentan las expansiones de mezclas elaboradas con iguales proporciones de AGR cuando se utilizó un cemento Portland fillerizado, como medida preventiva propuesta para atenuar los efectos deletéreos de la RAS. Se presentan también la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad estático de todos los hormigones determinados a las edades de 28 días y 156 semanas.

Palabras clave: *agregado grueso reciclado, hormigón reciclado, reacción álcali-sílice, medida preventiva.*

ABSTRACT

One of the requirements the natural aggregate must satisfied for its use in the production of concrete is related to the potential reactivity against alkalis. For recycled aggregates obtain from crashing waste concretes, this requirement must be satisfied in the same way. The possible exhaustion of the reactive silica in the natural aggregate and the consumption of the alkalis from cement in the source concrete, adding to new fracture plans generated in recycled aggregate and the input of alkalis in the new matrix,

are factors that might modified the alkali-silica reaction (ASR) development in recycled concretes. In a previous paper, expansions recorded up to the age of 52 weeks on specimens of recycled concretes made with 20 and 50% of coarse recycled aggregate (CRA) were contrasted with the performance of a conventional concrete. In this paper, expansions of such concretes recorded up to the age of 156 weeks, are analyzed. In the same way, expansions of concretes made with equal proportions of CRA but using a limestone Portland cement, as proposed preventive action to mitigate the deleterious effect of ASR, are presented. Moreover, compressive strength and static modulus of elasticity of all concretes at the ages of 28 days and 156 weeks are presented.

Keywords: *coarse recycled aggregate, recycled concrete, alkali-silica reaction, preventive action.*

INTRODUCCIÓN

El empleo de hormigón reciclado es una práctica en pleno auge en nuestro país, motivada por el incremento de los volúmenes de hormigones de desecho que se generan, la creciente demanda de hormigón elaborado y la escases de agregados naturales de calidad adecuada para su empleo en hormigones.

La falta de certeza con respecto al comportamiento durable del hormigón reciclado aparece como uno de los mayores limitantes al momento de su empleo. En tal sentido, a partir de algunos resultados informados en la literatura se podría inferir que la durabilidad del hormigón reciclado es inferior a la del hormigón de igual nivel resistente elaborado con agregados naturales, debido a la mayor porosidad del agregado reciclado. Sin embargo, en varios estudios se ha constatado su adecuado desempeño en ambientes agresivos [1-7]. Las diferencias señaladas pueden relacionarse con diferentes factores, como la calidad del agregado reciclado, el tipo de agregado natural que contiene el hormigón de origen, la calidad de la nueva matriz y, fundamentalmente, el mecanismo de transporte o de deterioro involucrado.

Entre los mecanismos de deterioro que pueden afectar la durabilidad del hormigón reciclado, la reacción álcali-sílice (RAS) resulta de particular interés, por cuanto el posible aporte de sílice reactiva y/o álcalis por parte del agregado reciclado genera incertidumbre respecto a la potencialidad de ocurrencia de la RAS. Debido a ello, algunas

normativas restringen el empleo de agregados reciclados que provengan de la trituration de hormigones afectados por dicha reacción [8], mientras que otras consideran su evaluación de igual modo que un agregado natural [9,10].

La potencialidad de reacción de los agregados reciclados frente a los álcalis, incluyendo la evaluación de la eficacia de los métodos inhibidores de la RAS existentes para agregados naturales al ser aplicados a los agregados reciclados, es una temática que ha sido poco abordada en la literatura [11-13]. Se ha indicado que la reactividad del agregado natural del hormigón de origen sigue produciéndose en las mezclas recicladas, con expansiones semejantes a las de las mezclas originales [11,12]. En tal sentido, la formación de gel de reacción en el perímetro de los agregados reciclados debido a la arena natural reactiva del hormigón de origen fue observado por Etxeberria y Vázquez [14]. Shehata et al. [13] han atribuido la elevada expansión de los hormigones reciclados a la generación de nuevas superficies de material reactivo capaz de reaccionar al triturar el hormigón original. Asimismo, el hormigón reciclado requirió una mayor cantidad de adición mineral para mitigar el efecto de la RAS que la habitualmente empleada en el hormigón con agregados naturales de igual naturaleza.

En cuanto a la evaluación de los agregados reciclados frente a la RAS, existen diferentes propuestas que incluyen la modificación de

las condiciones de exposición de los métodos existentes para agregados naturales y la evaluación por separado del mortero y del agregado natural presente en el agregado grueso reciclado (AGR) [12,15]. Barreto Santos et al. [12] señalan que las mayores variaciones en los resultados obtenidos sobre morteros se deben a la fragmentación del AGR, produciendo la pulverización del mortero adherido, lo cual provoca que las características del agregado fino reciclado sean diferentes a las de la fracción gruesa.

Este trabajo tiene por finalidad evaluar la capacidad remanente de reacción frente a los álcalis de un agregado grueso reciclado (AGR) obtenido a partir de la trituración de un hormigón deteriorado por la reacción álcali-sílice (RAS). Se evalúan hormigones reciclados elaborados con 20 y 50% (en volumen) de AGR, empleando distintos tipos de cemento (CPN y CPF) con contenidos de álcalis disímiles. Se comparan las expansiones registradas hasta la edad de 156 semanas, tanto en probetas expuestas a las condiciones de la IRAM 1700 como en probetas gemelas mantenidas en cámara húmeda. Se presentan también resultados de resistencia a compresión y módulo de elasticidad estático de los hormigones a las edades de 28 días y 156 semanas.

EXPERIENCIAS

Materiales

Para la elaboración de los hormigones reciclados se empleó un cemento Portland normal (CPN 40) ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0,86\%$) y un cemento Portland fillerizado (CPF 40) ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0,73\%$). Como

agregado fino se utilizó una arena silíceas natural no reactiva. El agregado grueso natural (AGN) fue una piedra partida granítica, no reactiva. El agregado grueso reciclado (AGR) fue obtenido de la trituración y posterior tamizado (retenido en el tamiz de 4,75mm) de un hormigón cuyo agregado grueso estuvo compuesto por combinación de piedra partida granítica (no reactiva) y arenisca cuarcítica del Chaco (reactiva) en proporciones 90%-10% respectivamente. El bajo porcentaje de cuarcita empleado se debe a que en estudios previos se comprobó que es altamente reactiva frente a los álcalis, generando un efecto “pessimun” con 10% de reemplazo [16]. Las propiedades evaluadas a los agregados naturales y al AGR se presentan en la Tabla 1.

Desarrollo experimental

Se elaboraron hormigones reciclados con 20 y 50% (en volumen) de AGR, todos ellos de relación agua-cemento 0,42. Cuando se utilizó el CPN se adicionó NaOH en el agua de mezclado a fin de tener un contenido de álcali equivalente en el cemento de 1,25%, mientras que cuando se utilizó el CPF se mantuvo el contenido de álcali propio del cemento. En la Tabla 2 se presentan las proporciones de las mezclas elaboradas con el cemento CPN (HR20-N y HR50-N) y con el cemento CPF (HR20-F y HR50-F), junto con las propiedades determinadas en estado fresco. De esta manera se pretende, por un lado, evaluar la potencialidad de reacción del AGR para diferentes contenidos del mismo, y por otro lado, verificar el comportamiento del AGR al emplear un cemento de uso general (IRAM 50000), considerando la medida prescriptiva de bajar el contenido de

Tabla 1. Propiedades de los agregados fino y gruesos.

Propiedad	Arena silíceas	AGN		AGR
		Granito	Arenisca	
Módulo de finura	2,70	6,92	6,67	6,64
Densidad (kg/dm^3)	2,64	2,71	2,50	2,54
Absorción (%)	0,3	0,2	1,3	5,1

álcalis en la mezcla (IRAM 1531/2016). En todos los casos, el AGR fue empleado en condición de saturado y superficie seca, a fin de evitar modificación en la consistencia de las mezclas debido a la mayor absorción del mismo.

Con cada una de las mezclas elaboradas se moldearon probetas cilíndricas de 150x300mm para la determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad estático y prismáticas de 75x75x300mm destinadas a la evaluación de los cambios de longitud debido a la RAS.

Las probetas permanecieron en los moldes durante 24 horas y luego se almacenaron en cámara húmeda ($T: 23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; $\text{HR} > 95\%$) hasta las edades de ensayo (28 días y 156 semanas). A partir de las 24 horas del desmolde, se realizaron las mediciones de las longitudes iniciales en 2 grupos de probetas gemelas de cada uno de los hormigones en estudio (Fotografías 1 y 2). Un grupo fue mantenido en cámara húmeda (Fotografía 3) mientras que el otro fue expuesto a las condiciones especificadas en la Norma IRAM 1700 ($T: 38^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) (Fotografía 4). Además, a la edad de 28 días se evaluó la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad estático.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3 se presentan los resultados de resistencia a compresión y módulo de elasticidad estático obtenidos en los hormigones reciclados a la edad de 28 días y 156 semanas. Se informan también los correspondientes desvíos estándar.

A la edad de 28 días, la resistencia a compresión del hormigón HR50-N fue 11% menor que la del hormigón HR20-N, con un incremento del desvío estándar. En el caso del hormigón HR50-F, la resistencia fue igual a la del HR20-F. Asimismo, la resistencia de los hormigones elaborados con el cemento CPF resultó 19 y 33% superior a las de los hormigones HR20-N y HR50-N respectivamente, mientras que los desvíos estándar fueron similares al del HR20-N. Lo que habitualmente sucede con un agregado natural reactivo se produjo también en este caso para un agregado reciclado reactivo, donde la mayor disponibilidad de álcalis de los hormigones con CPN ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 5,25\%$) resultó determinante en el desarrollo de la reacción álcali-sílice, hecho que se evidenció en mayor medida cuando se empleó 50% de AGR reactivo.

Tabla 2. Proporciones (kg/m^3) y propiedades en estado fresco de las mezclas.

Materiales	Hormigones			
	HR20-N	HR50-N	HR20-F	HR50-F
Agua	176	176	176	176
Cemento CPN 40	420	420	420	420
Agregado fino	697	697	697	697
AGN (Granito No reactivo)	875	545	875	545
AGR	201	503	201	503
Álcalis $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$	5,25	5,25	3,07	3,07
Propiedades en estado fresco				
Asentamiento (mm)	150	130	150	170
PUV (kg/m^3)	2399	2357	2392	2343
Aire incorporado (%)	2,5	3,6	2,6	3,5

Tabla 3. Propiedades de los hormigones en estado endurecido.

Hormigón	Edad de evaluación	Resistencia a compresión (MPa)	Módulo de elasticidad estático (GPa)
HR20-N	28 días	32,9 (1,7)	32,0 (1,6)
HR50-N		29,2 (5,2)	30,8 (0,2)
HR20-N	156 semanas	41,0 (4,6)	28,6 (13,6)
HR50-N		35,1 (7,1)	22,5 (7,3)
HR20-F	28 días	39,2 (2,3)	35,7 (1,1)
HR50-F		38,9 (2,2)	34,3 (0,4)
HR20-F	156 semanas	49,9 (1,3)	40,7 (2,2)
HR50-F		48,1 (3,6)	34,4 (5,8)

**Fotografía 1:** Medición del cambio de longitud debido a la RAS en probetas almacenadas según IRAM 1700.**Fotografía 2:** Medición del cambio de longitud debido a la RAS en probetas almacenadas en cámara húmeda.



Fotografía 3: Cámara húmeda (T: 23±2° C; HR >95%).

30



Fotografía 4: Cámara para curado a 38° C (IRAM 1700).

A la edad de 156 semanas todos los hormigones mostraron un incremento de la resistencia a compresión con respecto a la determinada a los 28 días. En aquellos elaborados con CPN el incremento fue del 25 y 20% para el HR20-N y HR50-N respectivamente, acompañado de un incremento del desvío estándar. En el caso de los

hormigones con CPF los incrementos de resistencia fueron del 27 y 24% para el HR20-F y HR50-F respectivamente, siendo el desvío estándar algo superior para el HR50-F. Al comparar los distintos cementos utilizados, se mantiene la tendencia observada a los 28 días, con un incremento de la resistencia en los hormigones con CPF, respecto a los de CPN, del 22 y 37% para 20 y 50% de AGR. La menor resistencia a compresión que presentaron los hormigones con CPN, sumado a sus mayores desvíos estándar, debe asociarse a con una mayor evolución de la RAS en dichos hormigones.

Con relación al módulo de elasticidad estático a la edad de 28 días, se observó una leve disminución (~4%) del mismo en los hormigones con 50% de AGR, respecto a los elaborados con 20%, para ambos tipos de cementos utilizados. Este hecho debe ser atribuido en parte a un mayor desarrollo de la RAS, pero fundamentalmente al mortero adherido que poseen las partículas del agregado reciclado, el cual le otorga una menor rigidez que el agregado grueso natural empleado, tal como ha sido verificado en estudios previos [17-20].

Los valores del módulo de elasticidad a la edad de 156 semanas en los hormigones con CPN resultaron menores que los determinados a los 28 días, siendo dicha disminución del 11 y 27% para el HR20-N y HR50-N respectivamente. Además, los desvíos estándar se incrementaron con respecto a los de 28 días. Ambos hechos se encuentran asociados a un mayor desarrollo de la reacción álcali-sílice a medida que se incrementa el contenido de AGR, y por lo tanto el contenido de sílice reactiva. En el caso de los hormigones con CPF, el módulo de elasticidad resultó 14% mayor para el HR20-F y de igual valor para el HR50-F, en comparación con los obtenidos a 28 días, aunque los desvíos estándar resultaron en ambos casos superiores. Si bien la disponibilidad de álcalis en este caso es menor que en los hormigones con CPN, el contenido de álcalis del CPF no es despreciable y ante una mayor disponibilidad de sílice reactiva aumenta la posibilidad de que la reacción prospere. De este modo, el cambio experimentado en el módulo de

elasticidad será función de la preponderancia que adquieran dos efectos contrapuestos, dados por un lado por el incremento de resistencia con la edad del hormigón, y por otro por la mayor deformabilidad debido a un desarrollo de la RAS más avanzado como consecuencia del mayor contenido de AGR reactivo.

En la Figura 1 se presentan las expansiones registradas hasta las 156 semanas en los hormigones HR20-N y HR20-F expuestos a 38°C. En la Figura 2 se hace lo propio con las expansiones de los hormigones HR50-N y HR50-F

La evaluación de las expansiones según IRAM 1700 nos permite determinar la potencial reactividad de un agregado. En experiencias anteriores se utilizó un agregado grueso natural compuesto por un 10% de arenisca cementada con ópalo y calcedonia y un 90% de roca granítica. El hormigón elaborado con este conjunto de agregados presentó una expansión a las 52 semanas de 0,208% [21], pudiéndoselo calificar como altamente reactivo (expansión $>0,120\%$ - IRAM 1531, Anexo B), con lo cual se deberían tomar medidas preventivas frente a la reacción álcali-sílice.

En el caso de los hormigones reciclados HR20-N y HR50-N motivo de este estudio, las expansiones registradas a las 52 semanas fueron de 0,048 y 0,117% respectivamente (Figuras 1 y 2). Estos resultados indican que el agregado conformado por 20% AGR – 80% granito debe ser considerado como moderadamente reactivo ($0,040\% < \text{expansión} < 0,120\%$ - IRAM 1531, Anexo B), mientras que el conformado por 50% AGR – 50% granito se lo debe considerar como altamente reactivo (expansión $\approx 0,120\%$). De este modo, las medidas preventivas de carácter prescriptivo serán de distinta exigencia según el contenido de AGR a emplear.

Se analizan a continuación dos casos referidos a la adopción de medidas preventivas desde el punto de vista prescriptivo, según lo establecido en la norma IRAM 1531/2016, a partir de considerar

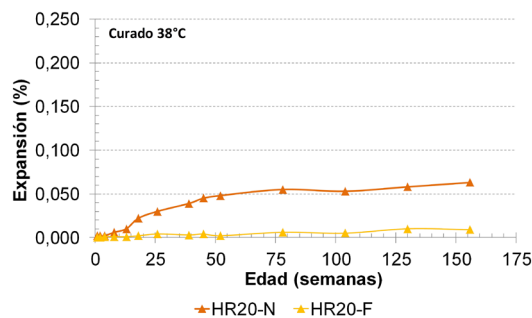


Figura 1: Expansiones de hormigones con 20% de AGR evaluados según IRAM 1700.

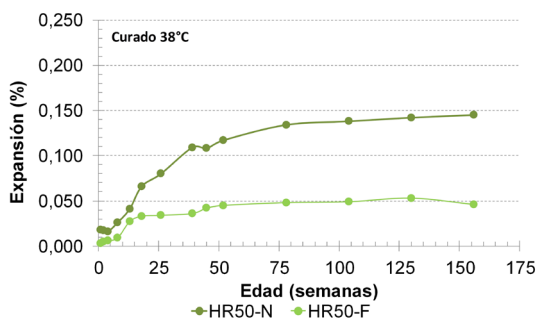


Figura 2: Expansiones de hormigones con 50% de AGR evaluados según IRAM 1700.

distintos porcentajes de uso del AGR.

- Caso 1:

Categoría de la estructura: Elementos de fácil reemplazo, riesgo asociado bajo (S1)

Composición del agregado: 20% AGR – 80% granito

Grado de reactividad: Moderadamente reactivo

Nivel de riesgo: grado 3

Nivel de prevención: A

Se acepta el agregado sin necesidad de adoptar medidas de acción preventivas. Es necesario, sin embargo, asegurar mediante controles periódicos que la reactividad del agregado

extraído no haya cambiado. En este caso, la medida adoptada fue verificada por los valores de expansión determinados, más allá que dicha medida prestacional no está indicada en la norma IRAM 1531/2016.

- Caso 2:

Categoría de la estructura: Elementos de fácil reemplazo, riesgo asociado bajo (S1)

Composición del agregado: 50% AGR – 50% granito

Grado de reactividad: Altamente reactivo

Nivel de riesgo: grado 4

Nivel de prevención: B

Se acepta el agregado adoptando medidas de acción preventivas. Si se adopta limitar el contenido de álcalis en el hormigón, el mismo debería ser menor que $3,0 \text{ Kg/m}^3$ y se debería evaluar el agregado según lo establecido en la norma IRAM 1531. Para verificar el contenido de álcalis del hormigón, se procede como se indica en el ejemplo siguiente:

- Contenido de cemento del hormigón= 420 kg/m^3
- Contenido total de álcalis del cemento, expresado en Na_2O equivalente = $0,73\%$
- Desviación estándar del contenido de álcalis del cemento = se adopta $0,05\%$, por no tener información.
- Contenido máximo de álcalis en el hormigón aportados por el cemento= $3,0 \text{ kg Na}_2\text{Oeq./m}^3$

Con estos datos es posible calcular el contenido máximo de álcalis del cemento:

$$\left(\frac{3,0 \text{ kg Na}_2\text{Oeq./m}^3}{420 \text{ kg/m}^3} \cdot 100 \right) - 0,05\% = 0,66\%$$

Dado que el contenido de álcalis del cemento de uso general empleado ($0,73\%$) es mayor que el máximo admitido ($0,66\%$), el contenido de álcalis del hormigón no cumple con el valor límite requerido, siendo del orden del 10% mayor. Si se analizan las expansiones obtenidas con dicha combinación de agregados y el cemento CPF,

se observa que las mismas superan el límite especificado a las 52 semanas, en el orden del 12% , habiendo coincidencia entre ambas maneras de evaluar la medida preventiva.

Si el destino del agregado AGR es utilizarlo en estructuras catalogadas como de riesgo normal (S2 - La mayor parte de las construcciones y estructuras de ingeniería civil con vida útil en servicio prevista entre 5 y 75 años), la medida preventiva a adoptar debería ser más exigente.

A la edad de 156 semanas los hormigones con CPN alcanzaron valores de expansión de $0,063$ y $0,145\%$ para el HR20-N y HR50-N respectivamente, hecho que evidencia una continuidad en el proceso de reacción, aunque mucho más paulatino que a edades tempranas. En las Fotografías 5 y 6 se observan geles y fisuración características de las RAS. En el caso de los hormigones en los cuales se utilizó un cemento comercial de uso general (CPF 40), sin la adición extra de álcalis, las expansiones de las probetas expuestas a 38°C a la edad de 156 semanas fueron de $0,009\%$ y $0,046\%$ para el HR20-F y HR50-F respectivamente.

En la Figura 3 se presentan las expansiones correspondientes a los hormigones con 20% de AGR, elaborados con CPN y CPF, mantenidos en cámara húmeda. En la Figura 4 se hace lo propio para los hormigones con 50% de AGR.

En el caso de las probetas que permanecieron en cámara húmeda (Figuras 3 y 4), las expansiones a 52 semanas en los hormigones con CPN fueron de $0,016$ y $0,043\%$, y en los hormigones con CPF de $0,007$ y $0,029\%$, para reemplazos del 20 y 50% de AGR respectivamente en cada caso. Hasta la edad de 156 semanas, los hormigones con CPN presentaron una expansión de $0,035\%$ (HR20-N) y $0,112\%$ (HR50-N), mientras que para los elaborados con el cemento CPF las expansiones fueron de $0,014\%$ (HR20-F) y $0,029\%$ (HR50-F). Las expansiones registradas a las 52 semanas en las probetas de los hormigones HR-N expuestas en cámara húmeda resultaron del orden de $1/3$ de

las registradas en las muestras expuestas a 38°C. Cuando se consideran las expansiones a la edad de 156 semanas, las diferencias señaladas resultan de menor magnitud, evidenciando que la temperatura es un factor que modifica la cinética de la reacción pero no así los daños generados en el tiempo.



Fotografía 5: Geles y fisuración características de las RAS observados en probetas de hormigón reciclado.

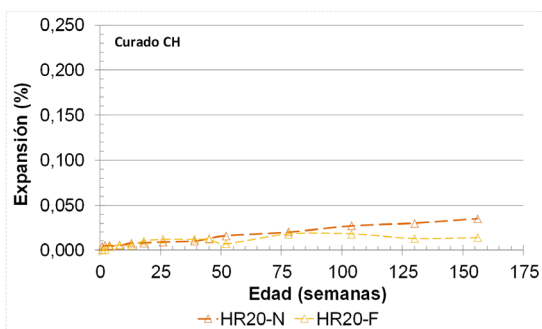


Figura 3: Expansiones de hormigones con 20% de AGR estacionados en cámara húmeda.

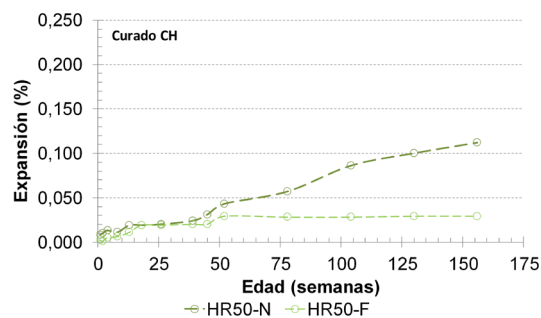


Figura 4: Expansiones de hormigones con 50% de AGR estacionados en cámara húmeda.

CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluó el desarrollo de la reacción álcali-sílice (RAS) durante 156 semanas en hormigones reciclados elaborados con dos tipos de cemento Portland (CPN: 5,25 kg/m³ de álcalis y CPF: 3,07 kg/m³ de álcalis). Los hormigones fueron elaborados con 20 y 50% de agregado grueso reciclado (AGR) proveniente de la trituración de un hormigón dañado por RAS, el cual contenía un 10% de arenisca del Chaco reactiva como agregado grueso. Los resultados obtenidos permiten indicar que:

- La resistencia a compresión y el módulo de elasticidad estático de los hormigones reciclados resultan más afectados por el desarrollo de la RAS conforme aumenta el contenido de AGR y/o el de álcalis totales. Dicho comportamiento fue observado a la edad de 28 días como también a las 156 semanas.
- Si bien los valores de expansión registrados a las 52 semanas en las probetas a 38°C permitirían caracterizar al AGR como potencialmente reactivo o altamente reactivo, según se emplee 20 o 50% de reemplazo, al emplear un cemento de uso general no se observó un mayor desarrollo de la reacción más allá de las 52 semanas.
- La medida preventiva adoptada es apta para ser

utilizada en estructuras de bajo nivel de riesgo (elementos temporarios con vida útil en servicio requerida menor o igual a 5 años y elementos de fácil reemplazo).

- Al exponer las probetas en un ambiente húmedo, pero con menor temperatura (23°C), solamente en el caso del hormigón con 50% de AGR y elaborado con el cemento CPN se evidenció un notable desarrollo de la reacción, alcanzando a las

156 semanas un valor de expansión de 0,120%.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Alejandro Pittori (Técnico Principal CICPBA-LEMIT) por su colaboración en la caracterización de los agregados utilizados y a la ANPCyT por el financiamiento a través del proyecto PICT2015-3339.

REFERENCIAS

- 1.- Gonçalves, A., Esteves, A., Vieira, M., "Influence of recycled concrete aggregates on concrete durability", International RILEM Conference "The use of recycled materials in building and structures", Barcelona, Spain. Ed. E. Vázquez, Ch.F. Hendriks y G.M.T. Janssen, RILEM; (2004), 554-562.
- 2.- Otsuki, N., Miyazato, S., Yodsudjai, W., "Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 15, N° 5, (2003), 443-451.
- 3.- Levy, S.M., Helene, P. "Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development", Cement and Concrete Research, Vol. 34, N° 11, (2004), 1975-1980.
- 4.- Zega, C.J., Fornasier, G., Ponce, M., Di Maio, A.A., "Hormigones reciclados expuestos a ciclos rápidos de congelación y deshielo", Hormigón, N° 41, (2005), 53-61.
- 5.- Villagrán-Zaccardi, Y.A., Zega, C.J., Di Maio, A.A., "Chloride Penetration and Binding in Recycled Concrete", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 20, N° 6, (2008), 449-455.
- 6.- Zega CJ, Dos GSC, Villagrán-zaccardi YA, Maio AA Di. Performance of recycled concretes exposed to sulphate soil for 10 years. Constr Build Mater, Vol. 102, (2016), 14–21. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.11.025>.
- 7.- Zega, C.J., Di Maio, A.A. (2009) "Recycled concrete made with different natural coarse aggregates exposed to high temperature". Construction and Building Materials, Elsevier, Vol. 23, N° 5, pp. 2047-2052.
- 8.- EHE-08. Instrucción de Hormigón Estructural. Anejo 15, Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados; (2008). (www.fomento.es)
- 9.- BS EN 12620:2002. Aggregates for concrete. European Committee for Standardization.
- 10.- DIN 4226-100:2002-02. Aggregates for mortar and concrete, Part 100: recycled aggregates. Deutsche Norm, (2002), 18p.

- 11.- Sota, J., Falcone, D., Batic, O., "Hormigones con agregados de hormigón reciclado afectado por RAS", 16° Reunión Técnica de la AATH, Mendoza, Argentina, (2006), 7-13.
- 12.- Barreto Santos, M., de Brito, J., Santos Silva, A., "Métodos de evaluación de las reacciones álcali-sílice en hormigones con áridos reciclados", Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 24, N° 2, (2009), 141-152.
- 13.- Shehata, M.H., Christidis, C., Mikhaiel, W., Rogers, C., Lachemi, M., "Reactivity of reclaimed concrete aggregate produced from concrete affected by alkali-silica reaction", Cement and Concrete Research, Vol. 40, (2010), 575-582.
- 14.- Etxeberria, M., Vázquez, E., "Reacción álcali-sílice en el hormigón debido al mortero adherido del árido reciclado", Materiales de Construcción, Vol. 60, 297, (2010), 47-58.
- 15.- Shehata, M.H., Johnson, R., "The efficacy of accelerated test methods to evaluate Alkali Silica Reactivity of recycled concrete aggregates", Construction and Building Materials, Vol. 112, (2016), 518-528.
- 16.- Batic, O., Cortelezzi, C., Pavlicevic, R. y Traversa, L., "Caracterización tecnológica de las areniscas cementadas con calcedonia y opalo del noroeste de la provincia del Chaco, República Argentina", 12° Reunión Técnica de la AATH, La Plata, Argentina, (1995), 191-197.
- 17.- Zega, C.J., Taus, V.L., Villagrán Z., Y.A., Di Maio, A.A., "Comportamiento físico-mecánico de hormigones sometidos a reciclados sucesivos", Simposio fib El Hormigón Estructural y el Transcurso del Tiempo, La Plata, Argentina, (2005), 761-768.
- 18.- Zega, C.J., Taus, V.L., Di Maio, A.A., "Comportamiento físico-mecánico de hormigones reciclados elaborados con canto rodado", Boletín Técnico IMME, Vol. 44, N° 3, (2006), 17-26.
- 19.- Zega, C.J., Di Maio, A.A., "Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigón", Boletín Técnico IMME, Vol. 45, N° 2, (2007), 1-11.
- 20.- Zega, C.J., Falcone, D.D., Di Maio, A.A., "Elaboración de hormigones reciclados empleando restos de hormigones de corte", III Congreso Internacional y 17° Reunión Técnica de la AATH, Córdoba, (2008), 23-30.
- 21.- Zega, C.J., Falcone, D.D., Di Maio, A.A., "Desarrollo de la reacción álcali-sílice en hormigones con agregados reciclados", VII Congreso Internacional y 21° Reunión Técnica de la AATH, Salta, (2016), 365-372.