

AGREGADOS RECICLADOS DE HORMIGÓN. Comportamiento mecánico del hormigón reciclado

RECYCLED CONCRETE AGGREGATES. Mechanical behaviour of recycled concrete

C.J. Zega¹, M.E. Sosa², A.A. Di Maio¹

¹ LEMIT, CONICET. e-mail: hormigones@lemit.gov.ar

² Departamento de Ingeniería Civil. UTN-FRLP.

RESUMEN

La historia muestra que la sociedad ha considerado como una práctica habitual la recuperación y uso de muchos elementos desechados. Por un lado, la construcción siempre ha tenido una cierta tendencia al ahorro, aprovechando todo resto o residuo que quedaba de construcciones anteriores que tuviera interés. Sin embargo, diferentes motivos han llevado a que estas costumbres cambien. Por otro lado, la propia industria de la construcción siempre ha sido considerada como generadora de una gran cantidad de residuos, al mismo tiempo que posee una larga tradición en cuanto a la capacidad de reutilizarlos, no solamente sus propios residuos sino también los residuos de otras industrias. Diversos factores han llevado a estudiar los residuos de construcción y demolición, fundamentalmente los residuos de hormigón, con miras a su aprovechamiento en la elaboración de nuevos hormigones. En este trabajo se presentan resultados de diferentes propiedades de agregados gruesos y finos reciclados, obtenidos de la trituración de hormigones de diferentes características tecnológicas, como también de la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad de los hormigones con ellos elaborados, empleándolos como reemplazo parcial de los respectivos agregados naturales.

Palabras clave: sustentabilidad; residuos de hormigón; reciclaje; agregados.

ABSTRACT

History shows that society has considered the recovery and use of many discarded items as a habitual practice. On the one hand, construction has always had a certain tendency to save, taking advantage of everything that remained of previous constructions that had interest. However, different reasons have led to these habits change. On the other hand, the construction industry itself has always been considered as a generator of a large amount of waste, at the same time it has a long tradition in terms of

the ability to reuse it, not only its own waste but also the waste of other industries. Several factors have led to the study of construction and demolition waste, mainly concrete waste, with a view to its use in the development of new concrete. This paper presents results of different properties of coarse and fine recycled aggregates, obtained from the crushing of concretes of different technological characteristics, as well as the compressive strength and modulus of elasticity of concretes made with them, using them as a partial replacement of the respective natural aggregates.

Keywords: *sustainability; concrete wastes; recycling; aggregates.*

INTRODUCCIÓN

Durante miles de años las mejoras en la calidad de vida han sido el indicador de cualquier sociedad desarrollada. Este indicador ha estado siempre asociado a la presencia de infraestructuras que facilitan el desarrollo de las actividades diarias, pero casi nunca se ha tenido en cuenta el impacto que las mismas pueden provocar.

La historia muestra que la sociedad ha considerado como una práctica habitual la recuperación y uso de muchos elementos desechados. Numerosas civilizaciones han utilizado y reutilizado diversos materiales de construcción de civilizaciones anteriores o de sus propias construcciones destruidas, para construir nuevas construcciones. Los restos de las construcciones romanas fueron aprovechados sistemáticamente por los propios romanos y por los árabes. Los restos de las iglesias románicas en mal estado fueron las suministradoras de materiales de construcción de numerosas masías. Recordemos que la pedrera de fuero romano fue utilizada para la construcción de la basílica renacentista del Vaticano. La Alemania de la postguerra muchas veces aprovechó los materiales de demolición que habían quedado, para utilizarlos en las nuevas construcciones.

La construcción siempre ha tenido una cierta tendencia al ahorro, aprovechando todo aquello que quedaba de construcciones anteriores que tuviera interés. La evolución de los medios de transporte, el gran desarrollo de los medios de elevación y sobre todo la tendencia consumidora de nuestra sociedad reciente han conseguido que

este componente importante de la construcción haya cambiado. Todo debe ser nuevo y lo viejo debe ser tirado. Pero la consecuencia más directa de esta forma de “evolución” ha sido que el incremento de los residuos se fuera constituyendo en un gran problema, fundamentalmente de tipo ambiental. Este hecho ha llevado a la necesidad de realizar un replanteo sobre dicha situación y hacer un marcha atrás.

Por otro lado, la propia industria de la construcción siempre ha sido considerada como generadora de una gran cantidad de residuos, al mismo tiempo que posee una larga tradición en cuanto a la capacidad de reutilizar no solamente sus propios residuos sino también los residuos de otras industrias. Esta capacidad de recuperación es precisamente lo que es necesario promover en nuestra sociedad.

Factores como la escasez de recursos naturales, las necesidades crecientes de materia prima y fundamentalmente la preservación del medio ambiente, con la consecuente necesidad de disposición de los residuos, han llevado a la búsqueda de nuevas opciones para el reciclado de materiales de desecho en el campo de la Ingeniería Civil. Así es que desde hace más de 50 años se comenzara con los estudios sobre el reciclaje de materiales de desecho de la construcción a fin de determinar su comportamiento resistente y durable, ya que el empleo de los mismos se había limitado generalmente a elementos carentes de solicitaciones resistentes importantes.

En el mercado actual de consumo, se observa por un lado la presión de los ecologistas y una creciente concientización de la población respecto a la necesidad de reciclar los materiales que han cumplido su vida útil. Esta política presenta grandes atractivos frente a la utilización de materias primas naturales, siendo la ventaja más destacada que se soluciona al mismo tiempo la problemática originada en la eliminación de subproductos de desecho y que mediante el uso de estos residuos se obtiene una nueva materia prima, que en el caso de los hormigones son los agregados, reduciendo de esta forma una cantidad considerable de recursos naturales primarios a extraer.

El uso de hormigón triturado como agregado, conocidos habitualmente como agregados reciclados, para la elaboración de nuevos hormigones aparece como una alternativa importante, particularmente en regiones densamente pobladas o con escasos recursos naturales. El reciclado de materiales de construcción, impensable hasta hace algunos años, es hoy en día una de las actividades con mayores perspectivas de crecimiento.

Aunque diversos estudios han demostrado la factibilidad del empleo de agregados reciclados, en la mayoría de los casos su aplicación fue orientada, como ya ha sido mencionado, a la elaboración de hormigones de baja calidad. Tal es así que la mayoría de los investigadores coinciden en que los agregados reciclados pueden utilizarse sin mayores precauciones en aquellos casos que no existan demandas de grandes niveles de resistencia (fundaciones, estructuras con cargas menores, etc.).

Sin embargo el mayor conocimiento de sus propiedades ha conducido a que su uso se generalice, dando lugar a hormigones reciclados con niveles de resistencia, durabilidad, etc. similares a los exigidos para los hormigones elaborados con agregados naturales de densidad normal.

Los hormigones elaborados con agregados reciclados serán preferidos cuando existan normativas que permitan su evaluación y control, cuando haya escasez de agregados naturales o bien cuando surjan leyes que prohíban la disposición de materiales de desecho en cualquier sitio. Con relación a lo primero, se debe mencionar que desde el año 2016, la norma IRAM 1531 contempla la evaluación de un agregado grueso mixto conformado por un mínimo de 80% de agregado grueso natural y hasta un máximo de 20% de agregado grueso reciclado, este último proveniente de residuos de hormigón. El agregado grueso mixto debe cumplir con los mismos requisitos exigidos a los agregados gruesos naturales para poder ser empleados en la elaboración de hormigones con fines estructurales. Además, en dicha normativa se especifica que los hormigones reciclados a elaborar deberán ser de un nivel resistente máximo de 40 MPa.

En muchos casos, como en nuestro país, la utilización de materiales de desecho en la construcción es prohibitiva debido al poco conocimiento que se tiene sobre ellos y a la inexistencia de normativas y/o especificaciones sobre calidad, para hacer que los productos que se comercialicen tengan propiedades acordes a sus necesidades, hecho que puede lograrse mediante un adecuado tratamiento y una correcta gestión, reduciendo así las cantidades de materiales de desecho y poder aprovechar el potencial que estos tienen como material secundario.

La utilización de los materiales de desecho de la construcción puede ser muy diversa, aunque va a depender de la demanda del mercado y de los métodos de obtención. En una demolición masiva, sin ninguna clasificación previa (salvo los materiales metálicos y los orgánicos) se pueden obtener materiales adecuados para obras como caminos, terraplenes, bases, etc., mientras que en una demolición selectiva, en donde se trituran y clasifican los hormigones de desecho, se pueden obtener agregados idóneos para la ejecución de

nuevos hormigones que pueden ser empleados en elementos estructurales.

El proceso ideal en la construcción de una estructura de hormigón, concebida desde el proyecto hasta la demolición, debería seguir el siguiente procedimiento: Construir para demoler, demoler para reciclar, reciclar para construir, un proceso que si se cumpliera con rigor prácticamente no se producirían residuos.

RECICLADO DE HORMIGONES

Existen diferentes métodos y sistemas para la remoción del hormigón, incluyendo desde grandes equipos, en general autopropulsados, utilizados para las principales tareas de demolición hasta diferentes tipos de herramientas de mano (neumática, hidráulica, eléctrica, a combustible) empleadas para trabajos menores [1]. Cualquiera de estos métodos tiene por finalidad reducir el tamaño de los bloques de hormigón de manera de lograr un tamaño acorde con el medio de transporte disponible y/o con la abertura de boca y tipo de trituradora que se empleará para la obtención de los agregados reciclados.

Las plantas de producción de agregados reciclados son similares a las de producción de agregados primarios, y pueden operar mediante sistemas abiertos o cerrados [1]. Estos sistemas están compuestos por un conjunto de trituradoras y tamices dispuestos en serie, permitiendo ejercer un mayor control sobre las características del material producido como así también la separación del mismo en distintas fracciones. El nivel de complejidad de la planta lo define el grado de contaminación que presente el residuo y la aplicación final que tendrá el nuevo material obtenido.

El proceso de reciclaje de hormigones consiste básicamente en las operaciones de preclasificación del residuo, trituración y clasificación final del material, tendiendo de esta forma a la obtención de productos similares a los agregados naturales que

se comercializan. De este modo es posible obtener agregados grueso y fino reciclados (AGR y AFR).

Los agregados reciclados obtenidos de la trituración de hormigones presentan a simple vista características diferentes a las de los agregados naturales (Figura 1). Mientras que en los agregados naturales dichas características dependen en primera instancia de las características de la roca madre, en los agregados reciclados dependerán de las características de la roca pero también del mortero del hormigón original, siendo importante las cantidades relativas en que se presentan cada uno de ellos.

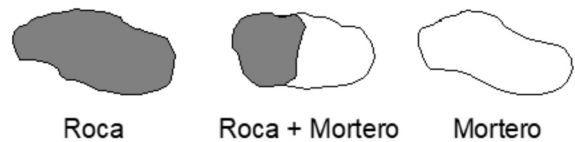


Figura 1. Características de los agregados reciclados [2].

Estas características del agregado reciclado hacen que sea un material heterogéneo, constituido por dos fases: mortero y roca, las que poseen propiedades diferentes, siendo la porosidad del mortero la más importante, ya que modifica otras propiedades como la densidad, absorción de agua, resistencia, dureza, durabilidad, etc.

El mortero presente en las partículas de los agregados reciclados produce en los mismos una textura superficial más rugosa y porosa que la del agregado natural. Esta característica distintiva hace que el empleo de agregados reciclados en la elaboración de hormigones produzca modificaciones en las propiedades de las mezclas, como por ejemplo que absorban parte del agua de mezclado en aquellos casos en que se los utilice en estado seco, hecho que está en función directa con el porcentaje en que se los emplee.

Por tal motivo, para obtener una determinada trabajabilidad prefijada del hormigón existen distintas alternativas a considerar:

- Cuantificar la cantidad de agua adicional que se debe agregar al hormigón durante el mezclado mediante ensayos previos.
- Utilizar el agregado reciclado en estado saturado.
- Utilizar un aditivo superfluidificante.

Propiedades de los agregados reciclados

En general, se indica que la granulometría del agregado grueso reciclado es independiente de factores tales como el nivel resistente del hormigón de origen [3-4] y de la edad del hormigón al momento de la trituración [5-6]. Además, las granulometrías obtenidas mediante el empleo de trituradoras de mandíbulas se encuentran en su mayor parte dentro de los límites especificados en las normativas [7-8]. En la Figura 2 se presenta el intervalo de distintas granulometrías de AGR de diferentes características en relación a los límites granulométricos especificados en la normativa nacional.

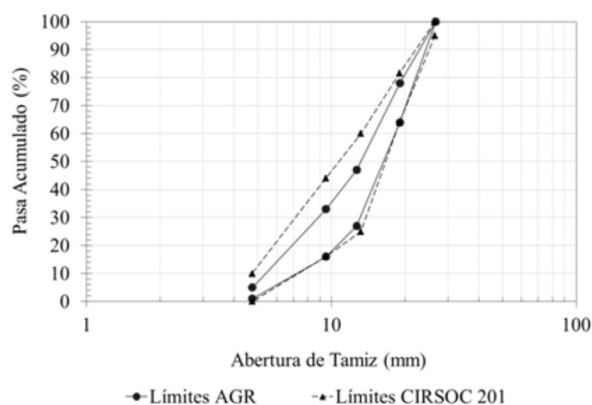


Figura 2. Intervalo de granulometrías de AGR en relación a los límites de la normativa nacional. (Adaptado de [9])

En el caso del agregado fino reciclado (AFR), su granulometría y por tanto su módulo de finura resulta superior al de un agregado fino natural, motivo por el cual en la mayoría de los casos las curvas granulométricas no se encuentran dentro de los límites establecidos por las normas para las

arenas naturales, o bien haciéndolo sólo en parte [8]. En la Figura 3 se presentan las granulometrías de diferentes tipos de AFR y sus correspondientes agregados finos de trituración.

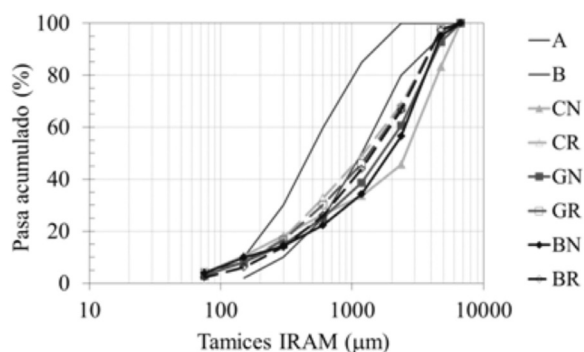


Figura 3. Granulometrías de agregados finos de trituración y de los AFR [10].

Considerando las características antes mencionadas de los agregados reciclados de hormigón, debe indicarse que los mismos presentan una elevada absorción de agua y una menor densidad en comparación con el propio agregado natural que contienen. A modo de ejemplo puede mencionarse que en el caso de agregados gruesos reciclados provenientes de hormigones que habían sido elaborados con piedra partida granítica, los mismos presentaron una absorción de agua comprendida entre un 4% y 5,5%, y la densidad alcanzó valores entre 2,43 y 2,48 (Figuras 4 y 5). En la Figura 6 se comparan los valores promedio de ambos parámetros en los AGR con los correspondientes al agregado grueso natural (AGN), el cual presentaba una absorción de 0,4% y una densidad de 2,65. Esta mayor absorción de agua y menor densidad que poseen los agregados reciclados están directamente relacionadas con el contenido de mortero presente en sus partículas. Estas dos características de los agregados gruesos reciclados son las que tienen mayor incidencia al momento de elaborar los hormigones reciclados.

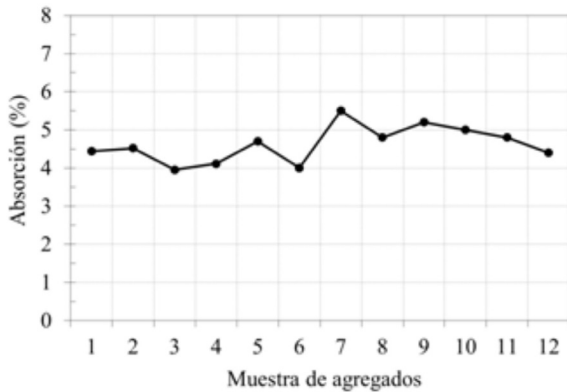


Figura 4. Absorción en distintas muestras de AGR (Adaptado de [9])

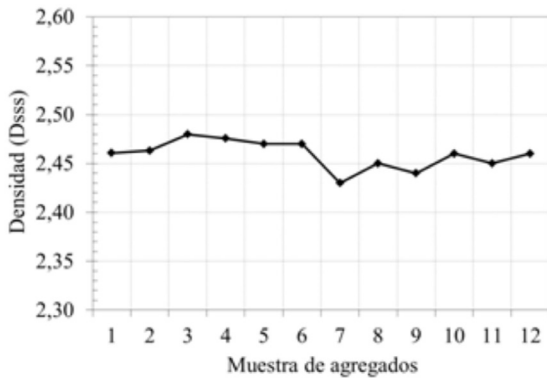


Figura 5. Densidad en distintas muestras de AGR (Adaptado de [9])

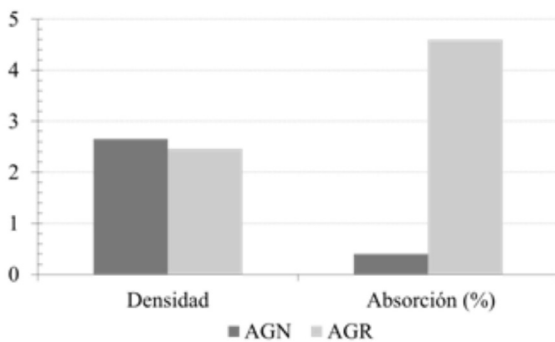


Figura 6. Absorción y densidad del AGR y del AGN (Adaptado de [9])

Las diferencias mencionadas para la fracción gruesa se observan también en el agregado fino reciclado (AFR). En la Figura 7 se presentan las densidades de tres agregados finos naturales de trituración y la correspondiente a los AFR de cada tipo. En todos los casos, la densidad de los AFR resulta menor que la del respectivo agregado natural, evidenciándose una mayor disminución de la misma cuanto mayor es la densidad del agregado natural. En la Figura 8 se presentan las absorciones de los mismos tres AFR en comparación con la del correspondiente agregado fino natural de trituración. Al igual que en la fracción gruesa, las diferencias observadas en la fracción fina son consecuencia del mortero presente en sus partículas.

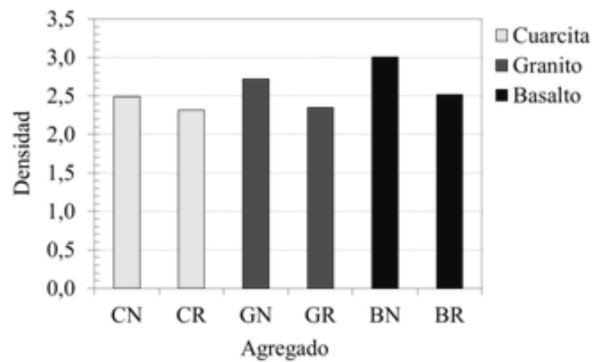


Figura 7. Densidad de AFR con distintos tipos de agregado natural [10].

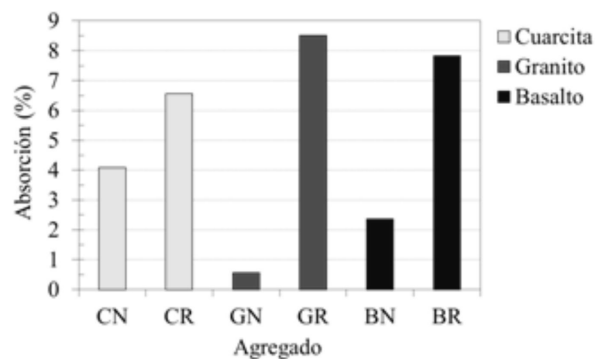


Figura 8. Absorción de AFR con distintos tipos de agregado natural [10].

Resistencia a compresión y Módulo de Elasticidad Estático

Considerando que la resistencia a compresión del hormigón es una de las características que mejor lo representa, la cual asimismo se encuentra relacionada con otras propiedades del hormigón en estado endurecido, puede indicarse que los hormigones reciclados presentan un comportamiento similar al de los hormigones convencionales elaborados con el mismo tipo de agregado grueso natural. En la Figura 9 se presenta la relación entre la resistencia a compresión (f^c) y la razón agua-cemento obtenida para hormigones reciclados y convencionales de tres niveles resistentes diferentes, en la cual puede observarse el comportamiento antes mencionado.

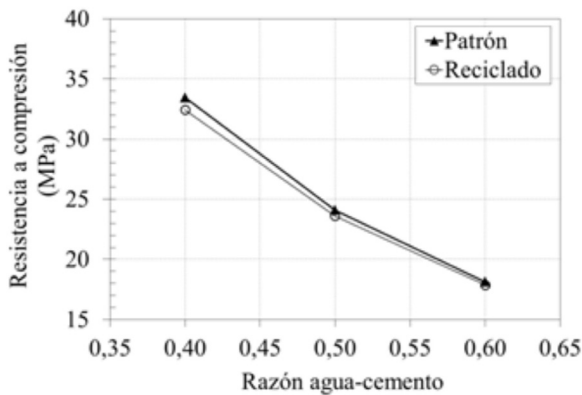


Figura 9. Relación entre la resistencia a compresión de hormigones con AGR y la razón agua-cemento [11]

En la Figura 10 se presentan los valores de resistencia a compresión obtenidos en hormigones convencionales y reciclados, en los cuales se utilizaron diferentes porcentajes de agregados gruesos reciclados en reemplazo del agregado grueso natural.

Puede observarse que por ejemplo para la razón agua-cemento 0,50, la resistencia a compresión de los hormigones reciclados con un 25% de agregado grueso reciclado fue superior a la del hormigón convencional. Para porcentajes de reemplazo de

hasta un 75% las resistencias fueron prácticamente similares, produciéndose una caída del 20% cuando se reemplazó el 100% del agregado grueso natural (AGN) por el reciclado. Estos resultados corresponden en todos los casos a hormigones en los cuales el AGN empleado fue un agregado granítico de trituración.

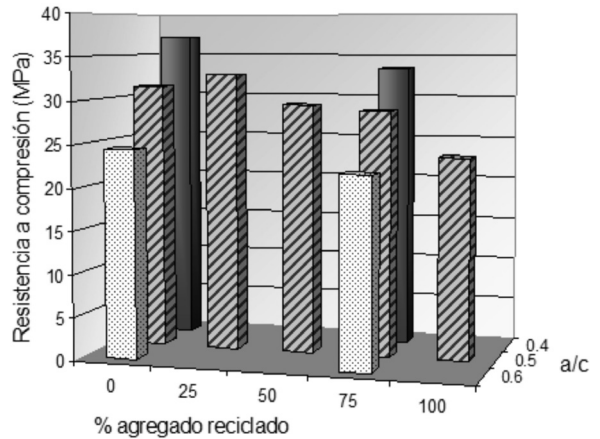


Figura 10. Resistencias a compresión determinadas en hormigones convencionales y reciclados [12]

En la Figura 11 se presentan resultados de resistencia correspondientes a hormigones convencionales y reciclados de dos niveles resistentes y elaborados con rodado silíceo, para diferentes porcentajes de reemplazo del mismo por AGR. Dicho agregado reciclado se obtuvo de la trituración de hormigones elaborados con el mismo rodado silíceo natural. Se observa un leve incremento de la resistencia conforme aumenta el contenido de AGR empleado, hecho que se encuentra relacionado con las diferencias que existen entre los agregados naturales y reciclados utilizados, principalmente en lo referido a la textura superficial y la forma de sus partículas, siendo en el natural lisas y redondeadas y en el reciclado rugosas y de forma irregular.

Con relación a la incidencia del AFR sobre la resistencia a compresión del hormigón, cabe señalar que los datos relevados de la bibliografía dan cuenta que hasta 30% de reemplazo los niveles

resistentes resultan similares al de hormigones elaborados con agregados naturales [14]. En tal sentido, en la Figura 12 se presentan resultados de estudios llevados a cabo en el LEMIT, en la cual se puede observar un leve incremento de la resistencia a compresión del hormigón conforme aumentó el reemplazo de agregado fino natural por AFR. En la Figura 13 se presenta la relación entre la resistencia a la compresión de hormigones convencionales y reciclados, elaborados con 20 y 40% de AFT o AFR respectivamente, y la razón agua-cemento, observándose similar comportamiento en ambos tipos de hormigones.

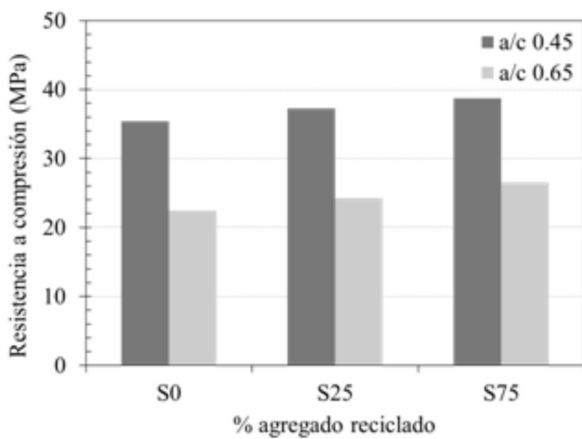


Figura 11. Variación de la resistencia a compresión con el contenido de AGR en hormigones con rodado silíceo. (Adaptado de [13])

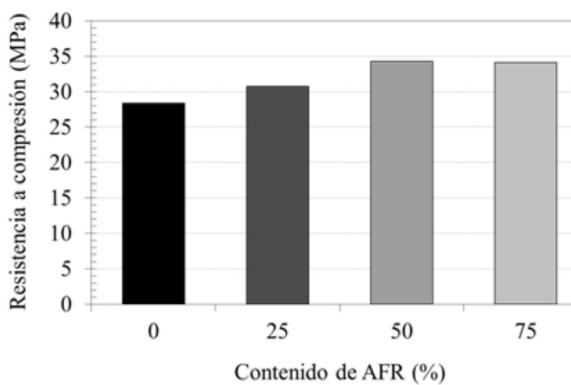


Figura 12. Resistencia a compresión de hormigones con contenidos variables de AFR [15].

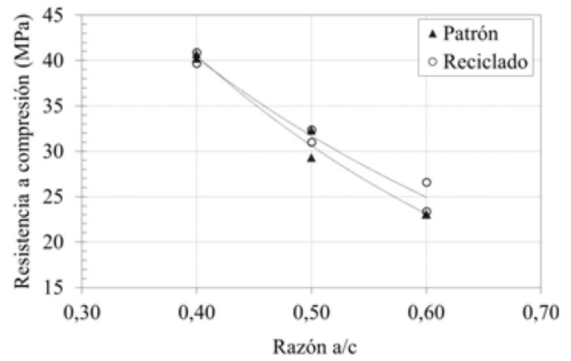


Figura 13. Relación entre la resistencia a compresión de hormigones con AFR y la razón agua-cemento. (Adaptado de [16])

En lo que respecta al módulo de elasticidad estático, parámetro de importancia para el cálculo estructural, debe indicarse que al evaluar hormigones de diferentes razones agua-cemento elaborados con agregados gruesos reciclados, y para distintos porcentajes de reemplazo, el módulo obtenido fue inferior al de los hormigones convencionales, hecho que debe ser atribuido a la existencia del mortero que poseen los agregados reciclados, el cual tiene un módulo de elasticidad menor que el de la roca (Figura 14). Este hecho se hace más notorio a medida que se utiliza mayor cantidad de agregado grueso reciclado (Figura 15). En el caso de hormigones con AFR, dicha apreciación no fue observada, presentando los hormigones con hasta 40% de AFR módulos de elasticidad similares al de los hormigones de referencia (Figura 16).

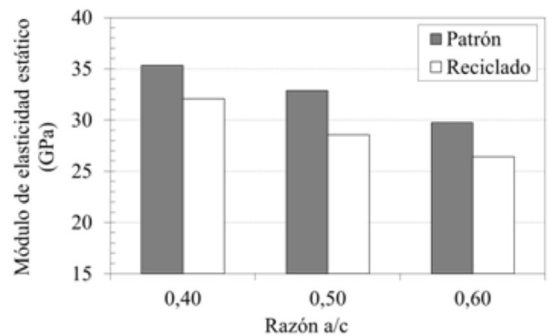


Figura 14. Relación entre el módulo de elasticidad estático de hormigones con AGR y la razón agua-cemento [17].

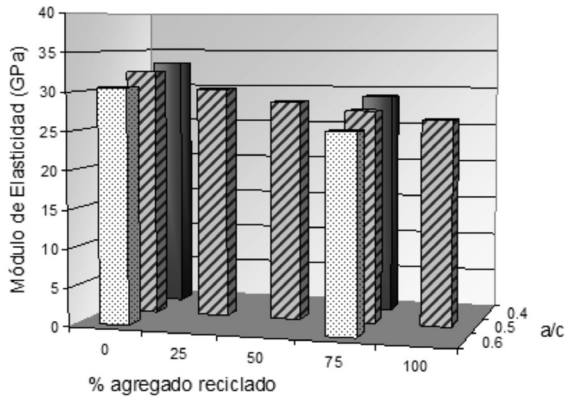


Figura 15. Módulos de elasticidad determinados en hormigones convencionales y reciclados [12].

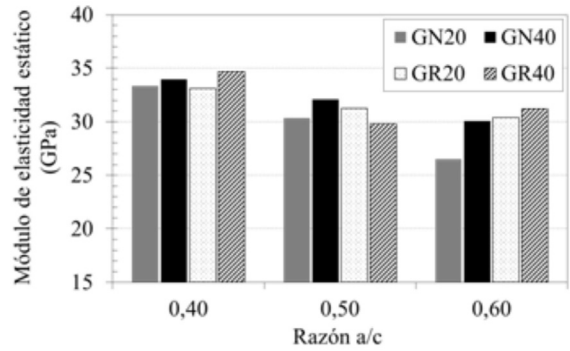


Figura 16. Variación del módulo de elasticidad con la razón a/c de hormigones con AFR (Adaptado de [16])

CONSIDERACIONES FINALES

De acuerdo a los resultados obtenidos en las investigaciones llevadas a cabo hasta el presente en el LEMIT, puede indicarse que para el caso de elementos estructurales podrán utilizarse hormigones reciclados elaborados con hasta un 30% de agregado reciclado, grueso o fino, para lo cual será necesario realizar un control riguroso de las propiedades de los materiales a utilizar. Este hecho conducirá a la obtención de hormigones reciclados con niveles de resistencia y deformabilidad similares a los exigidos para los hormigones elaborados con agregados naturales de densidad normal. En aquellos casos en que las exigencias estructurales sean mínimas y no existan problemas de durabilidad, podrán utilizarse mayores contenidos de agregados reciclados, pudiendo llegar hasta un 100% en el caso de agregado grueso reciclado.

La tendencia de utilizar hormigones reciclados es la solución al problema de un exceso de hormigones de desecho. A este hecho debe adicionarse una reducción en los costos de elaboración, ya que en la mayoría de los casos la generación de estos residuos se produce en el mismo lugar donde serán reutilizados, además de conservar materia prima no renovable. Para que el empleo del agregado reciclado redunde en beneficios ambientales y económicos, es indispensable una cuantificación de ambos factores, ya que no siempre el empleo de materiales reciclados conllevará a reducir el impacto ambiental o a una reducción en los costos.

REFERENCIAS

- 1.- ACI Committee 555, 2002. Removal and reuse of hardened concrete. Materials Journal, ACI, N° 99-M31, pp. 300-323.
- 2.- Vázquez, E., Barra, M., 2002. Reciclaje y reutilización del hormigón. Monografía CIMNE: Desarrollo sostenible del cemento y del hormigón, N° 67, pp. 43-65.
- 3.- Hansen, T.C., Narud, H., 1983. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. Concrete International, Vol. 5, N° 1, pp. 79-83.

- 4.- Sri Ravindrarajah, R., Tam, C.T., 1985. Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate. Magazine of Concrete Research, Vol. 37, N° 130, pp. 29-38.
- 5.- Katz, A., 2003. Properties of Concrete made with Recycled Aggregate from Partially Hydrated Old Concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 33, N° 5, pp. 703-711.
- 6.- Buttler, A.M., 2003. Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. Tesis de Magíster, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 199p.
- 7.- Hansen, T.C., 1986. Recycled aggregates and recycled aggregate concrete. Second State-of-the-art. Report developments 1945-1985. RILEM Technical Committee-37-DRC, Demolition and Recycling of Concrete. Materials and Structures, Vol. 19, N° 111, pp. 201-246.
- 8.- Buyle-Bodin, F., Hadjieva-Zaharieva, R., 2002. Influence of industrially produced recycled aggregates on flow properties of concrete. Materials and Structures, Vol. 35, N° 252, pp. 504-509.
- 9.- Zega, C.J., 2008. Hormigones Reciclados: Caracterización de los Agregados Gruesos Reciclados. Tesis presentada para el grado de Magister en Tecnología y Construcciones de Hormigón, Facultad de Ingeniería, UNCPBA, 108p.
- 10.- Zega, C., Sosa, M.E., Di Maio, A., 2010. Propiedades de los agregados finos reciclados procedentes de hormigones elaborados con diferentes tipos de agregados gruesos naturales. En: Memorias IV Congreso Internacional y 18° Reunión Técnica de la AATH, Mar del Plata, 8-11 de octubre de 2010, pp. 33-38.
- 11.- Zega, C.J., Di Maio, A.A., 2003. Influencia de las Características de los Agregados Reciclados en la Elaboración de Hormigones. En: Memorias 15° Reunión Técnica de la AATH, Santa Fe, 21-24 de octubre de 2003. (Editado en CD)
- 12.- Di Maio, A., Giaccio, G., Zerbino, R., 2002. Hormigones con agregados reciclados. Ciencia y Tecnología del Hormigón, LEMIT, N° 9, pp. 5-10.
- 13.- Zega, C.J., Di Maio, A.A., 2012. Influencia del tipo de agregado grueso natural sobre algunas propiedades de los hormigones reciclados. En: Memorias V Congreso Internacional y 19° Reunión Técnica de la AATH, Bahía Blanca, 7-9 de noviembre de 2012, pp. 151-158.
- 14.- Sosa, M.E., 2018. Estudio de la contracción por secado en morteros y hormigones elaborados con agregados finos reciclados. Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería, UNLP, 240p.
- 15.- Zega, C.J., Di Maio, A.A., 2006. Comportamiento de Hormigones Elaborados con Agregado Fino Reciclado. En: Memorias 16° Reunión Técnica de la AATH, Mendoza, 8-10 de noviembre de 2006, pp. 47-54.
- 16.- Sosa, M.E., Zega, C.J., Di Maio, A.A., 2015. Influence of fine recycled aggregate on compressive strength, static modulus of elasticity and drying shrinkage of concretes”. En: Memorias Conferencia

Internacional sobre Hormigón Estructural Sostenible, La Plata, Argentina, 15-18 de septiembre de 2015, PP. 311-319.

17.- Zega, C.J., Di Maio, A.A. 2007. Efecto del Agregado Grueso Reciclado sobre las Propiedades del Hormigón. Boletín Técnico del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, IMME, Vol. 45, N° 2, pp. 1-11.