



Received: 19-02-2017  
Accepted: 04-03-2017

Anales de Edificación Vol. 3,  
Nº1, 24-31 (2017)  
ISSN: 2444-1309  
Doi: 10.20868/ade.2017.3532

## Caracterización físico-mecánica del hormigón estructural fabricado con áridos reciclados: comparativa experimental con sustitución de áridos finos y gruesos. Physical-mechanical characterization of the structural concrete made with recycled aggregates: experimental comparative with substitution of fine and coarse aggregates.

Sara Valverde Fernández

Universidad de Castilla - La Mancha (sara.valverdef@alumnos.upm.es)

---

**Resumen**— Este trabajo estudia las propiedades mecánicas y físicas de hormigones estructurales fabricados con áridos reciclados obtenidos de residuos de construcción y demolición. Se han seleccionado mezclas con una relación específica agua / cemento y una sustitución de agregados gruesos y finos similares. Se han comparado los resultados de la deformación, la resistencia a la compresión, la resistencia a la rotura por fraccionamiento, el módulo estático de elasticidad, la deformación por contracción, la densidad aparente y los ensayos de absorción de agua. Los datos muestran que las propiedades más afectadas debido a la sustitución de agregados naturales por agregados reciclados son la trabajabilidad, el módulo de elasticidad, la deformación por contracción y la absorción de agua.

**Palabras clave**— Hormigón estructural reciclado, resistencia mecánica, deformación por contracción, absorción de agua.

---

**Abstract**- This work studies the mechanical and physical properties of structural concretes made by recycled aggregates obtained from construction and demolition waste. Mixes with a specific water/cement ratio and a similar coarse and fine aggregate substitution have been selected. Results from slump, compressive strength, splitting tensile strength, static modulus of elasticity, shrinkage strain, bulk density and water absorption tests have been compared. The data show that the most affected properties because of natural aggregate substitution for recycled aggregates are workability, modulus of elasticity, shrinkage strain and water absorption.

**Index Terms**— Structural recycled concrete, mechanical strength, shrinkage strain, water absorption.

---

### I. INTRODUCCIÓN

Actualmente se están investigando distintas alternativas al uso de materiales convencionales para la creación de nuevos sistemas y productos de construcción. Un claro

---

S. Valverde está en la Escuela Politécnica de Cuenca (Universidad de Castilla - La Mancha). Campus Universitario, s/n, 16002 Cuenca, España.

ejemplo de ello es la reutilización de residuos de construcción y demolición que se mezclan con componentes comunes dando lugar a nuevos materiales con un reducido impacto ambiental. En el sector de la construcción resulta interesante el estudio de áridos reciclados obtenidos de obras de demolición para fabricar nuevos hormigones con carácter estructural (Letelier et al., 2014).

En España, según la instrucción de hormigón estructural EHE-08, el hormigón reciclado ha de estar fabricado con árido grueso reciclado de residuos de hormigón limitando su contenido al 20% en peso sobre el total del árido grueso, y su resistencia característica a  $40 \text{ N/mm}^2$  (Comisión, 2008). Sin embargo, existen estudios sobre hormigón estructural de hasta  $50 \text{ N/mm}^2$  hecho con áridos reciclados que verifican la posibilidad de sustituir hasta un 20% del árido grueso por árido reciclado consiguiendo un nuevo material admisible (Sánchez, 2004).

En los últimos años se han investigado los efectos producidos por áridos reciclados, tanto finos como gruesos, en las propiedades físico-mecánicas del hormigón estructural, ajustando el contenido y tamaño del árido reciclado (Manzi et al., 2013) de manera que se consigan resistencias y durabilidades apropiadas que cumplan a su vez con distintas normativas internacionales referidas a hormigón estructural (Zega and Di Maio, 2011).

En el presente estudio se han comparado los resultados de distintos trabajos experimentales en los que se sustituyen tanto áridos gruesos como finos por áridos reciclados en distinta granulometría y dosificación con el objeto de comprobar qué factores son los que más influyen en las propiedades del hormigón estructural con áridos reciclados, tomando como referencia ensayos en hormigones convencionales con áridos naturales.

## II. METODOLOGÍA

Existen diversos trabajos experimentales en los que se definen las características de los áridos reciclados y el comportamiento del hormigón reciclado a corto y largo plazo, siendo ensayados distintos tipos de hormigones con distintas dosificaciones y distintos tipos de áridos. En todos ellos, se ha sustituido un porcentaje de áridos naturales por áridos reciclados, en distintos volúmenes, para analizar cómo afecta el contenido de residuos a las propiedades mecánicas del hormigón estructural en comparación con hormigones que solo llevan áridos naturales.

Se ha elaborado un análisis comparativo de variables para el hormigón en estado fresco y endurecido, seleccionando mezclas con cementos, relaciones agua/cemento y dosificación de áridos reciclados similares. Se han escogido mezclas con una relación media agua/cemento de 0.45, una sustitución de

áridos gruesos del 100% y de áridos finos de entre un 50% y un 30%.

Se han comparado resultados de ensayos de asiento, resistencia a compresión y tracción, módulo de elasticidad, retracción, densidad aparente y absorción de agua, entre distintas mezclas y a su vez con hormigones convencionales.

### A. Estado del arte

En la tesis doctoral de Sánchez de Juan (Sánchez, 2004) se ensayaron hormigones fabricados con un cemento CEM-I 42,5R y una dosificación de áridos gruesos reciclados tal que fueron sustituidos el 0%, 20%, 50% y 100% de los áridos gruesos naturales. La fracción de árido grueso empleada fue de 4/16 mm obtenida del procesado de escombros reciclados, y la fracción de árido fino consistía en árido natural silíceo. Se realizaron ensayos de consistencia, contenido de aire ocluido, resistencia a compresión, resistencia a tracción, módulo de elasticidad y retracción.

En el trabajo de Manzi (Manzi et al., 2013) se estudia el comportamiento de los áridos finos y gruesos de hormigón reciclado a corto y largo plazo. Los hormigones ensayados se fabricaron con cemento CEM II-A/LL 42,5R y distintas dosificaciones de áridos. Los áridos naturales empleados fueron: arena (0-6 mm), grava fina (6-16 mm) y grava gruesa (16-25 mm). Los áridos reciclados provenientes de residuos de hormigón, fueron machacados y tamizados para sustituir por un lado la arena y el grano fino y por otro la grava. Se emplearon cuatro dosificaciones distintas. En la primera se sustituyó el 100% de la grava natural por árido grueso reciclado. En la segunda se reemplazó, a parte de la grava al completo, el 50% del árido fino natural por árido fino reciclado. En la tercera, el 50% del árido fino era reciclado y el árido grueso era natural. Por último, en la cuarta dosificación se sustituyó la mitad del volumen de arena y grava fina con áridos reciclados. Se estudió la trabajabilidad de las amasadas, y en hormigón endurecido la densidad aparente, la absorción de agua, la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad, la resistencia a flexión y tracción, la retracción, la fluencia y la porosidad.

Por su parte, Zega y Di Maio (Zega and Di Maio, 2011) estudiaron el comportamiento de hormigones estructurales fabricados con áridos finos reciclados, sustituyendo el 0%, 20% y 30% del volumen de la arena. El cemento que se usó fue CEM II-M, y los áridos naturales eran arena de río silíceo y piedra de machaqueo granítica. El árido fino reciclado se obtuvo del machaqueo de residuos de hormigón de distintas calidades. En estos hormigones se estudió la consistencia de las amasadas, la resistencia a compresión del hormigón endurecido, la resistencia a tracción, el módulo de elasticidad, la absorción de agua y la retracción.

TABLA I  
COMPONENTES DE LOS HORMIGONES RECICLADOS

Referencia	Sánchez, 2004	Manzi et al., 2013		Zega and Di Maio, 2011
Tipo de cemento	CEM-I 42.5R	CEM II-A/LL 42,5R		CEM-II M
Relación agua/cemento	0.45	0.48		0.45
Tipo de árido reciclado	Grueso	Grueso	Fino	Fino
Granulometría	4/16 mm	16/25 mm	0/16 mm	-
Sustitución de árido natural por árido reciclado	100%	100%	50%	30%
Densidad real en seco	2.10 – 2.40 kg/dm <sup>3</sup>	2.10 kg/dm <sup>3</sup>	2.10 – 2.26 kg/dm <sup>3</sup>	-
Densidad real saturada con superficie seca	2.30 -2.45 kg/dm <sup>3</sup>	2.25 kg/dm <sup>3</sup>	2.32 -2.43 kg/dm <sup>3</sup>	2.56 kg/dm <sup>3</sup>
Absorción	4.8 -9.6%	7%	9%	8.5%

### B. Componentes y propiedades de los áridos de los hormigones reciclados estudiados

Las propiedades de los áridos reciclados dependen directamente tanto de su granulometría como de su forma, origen y cantidad de mortero adherido. A su vez, la composición de los áridos reciclados dependen del tipo de residuo original, el proceso de producción en la planta de reciclado y el tamaño de la fracción de árido obtenida del proceso de machaqueo (González et al., 2016).

El hormigón fabricado con áridos reciclados tiene una estructura compleja en cuanto que presenta dos zonas interfaciales: la que se crea entre el árido reciclado y el mortero antiguo adherido a la superficie, y la que se crea entre el árido reciclado y la nueva capa de cemento. La cantidad de mortero adherido a la superficie de los áridos reciclados, es decir, en la nueva zona interfacial, determinará el comportamiento mecánico del nuevo hormigón, afectando a propiedades como el módulo de elasticidad, la retracción, la absorción de agua o las resistencias mecánicas (Letelier et al., 2014; González et al., 2016).

En la superficie de los áridos reciclados es muy común encontrar partículas finas de cemento adheridas procedentes de la pasta de cemento del hormigón de origen y esto puede causar problemas de adherencia entre el árido y la pasta del nuevo hormigón (Sánchez, 2004). Pueden incorporar incluso impurezas y elementos contaminantes, como plásticos, madera, yeso, ladrillos, cerámicos, materiales orgánicos, asfalto, aluminio, etc. (González et al., 2016). Esto influye negativamente en la densidad, absorción y coeficiente de Los Ángeles de los áridos, siendo este efecto más grave en los áridos finos que, por lo general, son de peor calidad (Sánchez, 2004). Los áridos reciclados son similares a los naturales pero su textura es más rugosa por el mortero adherido, por lo que

tienen mayor absorción de agua y coeficiente de Los Ángeles y menor densidad que los naturales (Manzi et al., 2013; González et al., 2016).

Como ya se dijo con anterioridad, de todos los hormigones reciclados estudiados en los tres trabajos, se escogieron los más representativos para realizar una comparativa. En la Tabla 1 se muestran los componentes de los hormigones reciclados seleccionados así como las características principales de los áridos reciclados que fueron empleados en los trabajos estudiados.

### Densidad

La densidad de los áridos reciclados es muy similar si se comparan los datos obtenidos entre áridos gruesos reciclados y finos reciclados. Cuanto más grueso es el árido mayor es la densidad que presenta, ya que las fracciones finas suelen tener más impurezas de poca densidad, como restos de ladrillo o asfalto, o mortero adherido (Sánchez, 2004). Como regla general, cuanto mayor es el contenido de mortero adherido e impurezas menor es la densidad de los áridos reciclados (González et al., 2016), y cuanto mayor es la resistencia del hormigón de origen mayor es la densidad de los áridos reciclados (Sánchez, 2004).

### Absorción

Como puede verse en la Tabla 1, la absorción de los áridos es siempre superior al límite máximo del 5% que marca la EHE, la cual limita el uso de áridos reciclados con una densidad real superior a 2,40 kg/dm<sup>3</sup> o una densidad saturada con superficie seca superior a 2,49 kg/dm<sup>3</sup>, lo cual hace necesario el uso de áridos reciclados mezclados con naturales (Sánchez, 2004). Se sabe que los áridos reciclados tienen una absorción de agua mayor que los áridos naturales, ya que el mortero de cemento adherido en ellos es poroso y absorbe agua (González et al., 2016).

TABLA II  
RESULTADOS OBTENIDOS DE LA COMPARACIÓN DE HORMIGONES RECICLADOS

Referencia	Sánchez, 2004	Manzi et al., 2013		Zega and Di Maio, 2011
Agua/cemento	0,45	0,48		0,45
Tipo árido	Grueso	Grueso	Fino	Fino
Sustitución	100%	100%	50%	30%
Asiento	229%	-47%	11%	-59%
R. compresión	-18%	24%	8%	-5%
M. elasticidad	-42%	-4%	-14%	-7%
R. tracción	-11%	-16%	8%	-7%
Retracción	56%	40%	27%	-4%
Densidad	-4%	-3%	-5%	-
Absorción	-	2%	48%	15%

Por todo esto se determina que el hormigón de origen influye directamente en el árido reciclado que se produce posteriormente, por lo que se estima que solo deberían ser reciclados los hormigones de 25 N/mm<sup>2</sup> o más para conseguir áridos reciclados destinados a la fabricación de hormigones estructurales (Sánchez, 2004).

### III. RESULTADOS Y DISCURSIÓN

En la Tabla 2 se muestra una comparativa general de varias mezclas estudiadas de hormigón reciclado. Los valores que se muestran representan el aumento o reducción de cada variable respecto de un valor de referencia obtenido de ensayos realizados en un hormigón convencional. Como se puede observar, hay variables que muestran un comportamiento muy diferente para un mismo tipo de árido, como son el asiento, la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad o la absorción. Comparando los dos tipos de áridos, las variables de resistencia a compresión y tracción, módulo de elasticidad y retracción se ven menos afectadas sustituyendo los áridos finos.

#### A. Consistencia y asiento

Observando los asentamientos obtenidos con la sustitución del 100% de árido reciclado grueso, puede verse que el primer caso es muy superior al del hormigón de referencia, alcanzando un aumento en el asiento más de dos veces mayor, mientras que en el segundo caso se refleja una disminución de casi la mitad. La diferencia entre estos dos ejemplos radica en el estado de pre-saturación de los áridos gruesos del estudio de Sánchez de Juan, ya que estas condiciones favorecen la consistencia del hormigón (Sánchez, 2004).

En cuanto a los áridos finos, cuando se sustituye el 50% de la arena por áridos reciclados se consigue una trabajabilidad en la amasada algo mejor que los hormigones de referencia,

con un aumento del 11%. Sin embargo, en una sustitución del 30% de la arena el asiento es menor que en un hormigón de referencia en casi un 60%. Esto depende en gran medida de si los áridos finos han sido secados al aire, ya que de ser así parte del agua de la mezcla se absorbería en el amasado y por tanto la trabajabilidad empeoraría (Zega and Di Maio, 2011).

#### B. Resistencia a compresión

Como puede verse en la Tabla 2, la sustitución de áridos finos afecta en menor medida a la resistencia a compresión que la sustitución de áridos gruesos, habiendo diferencias entre los mismos tipos de áridos.

Entre los áridos gruesos afecta la calidad de los áridos, en cuanto a que la reacción tardía de deshidratación del cemento del mortero adherido en la superficie del árido reciclado o la absorción retardada de agua de los reciclados producen una relación agua/cemento menos efectiva. Es decir, la alta calidad de los áridos reciclados que se utilicen tiene un efecto positivo en la resistencia a compresión de las mezclas (Manzi et al., 2013).

En la tesis de Sánchez de Juan, la fracción de árido grueso utilizada se encontraba en estado de presaturación y, aunque esto afecta de manera positiva a la trabajabilidad de la amasada, perjudica al hormigón de cara a alcanzar una resistencia a compresión adecuada a 28 días. En la figura 1 se muestran las resistencias alcanzadas a los 28 días por los hormigones reciclados comparados con los hormigones que se emplearon de referencia. En general, distintos autores coinciden en que los áridos reciclados presaturados afectan de forma negativa a la resistencia a compresión de los hormigones (González et al., 2015).

También afecta a la resistencia la alta capacidad de absorción de los áridos reciclados finos, que es mayor que la arena natural (Zega and Di Maio, 2011). Se sabe que generalmente sustituyendo árido de menor tamaño por árido

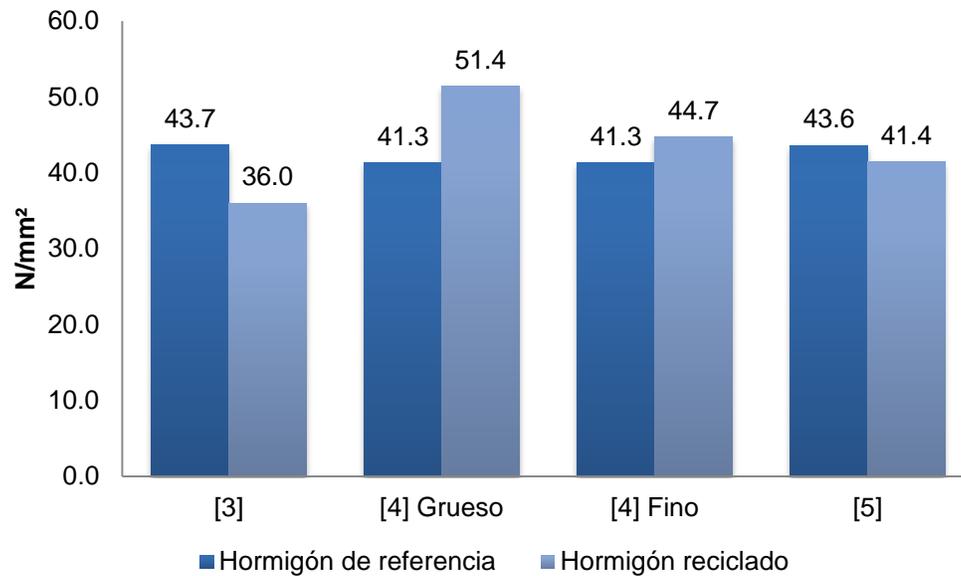


Fig. 1. Resistencia a compresión: [3]-Sánchez, 2004, [4]-Manzi et al., 2013 y [5]-Zega and Di Maio, 2011.

reciclado fino se reducen las propiedades mecánicas del hormigón (Manzi et al., 2013). Pero tal y como puede verse en la Tabla 2 y en la figura 1, lo que más influye es la proporción de árido fino que se use. Cuanto mayor sea la sustitución de arena por árido fino reciclado, menor será la resistencia a compresión del hormigón.

### C. Resistencia a compresión

En todos los casos, la sustitución de áridos naturales por áridos reciclados ha producido una disminución del módulo de elasticidad del hormigón en mayor o menor medida. Según Sánchez de Juan, cuanto mayor es el porcentaje de árido reciclado utilizado mayor es la reducción esperable en el módulo de elasticidad (Sánchez, 2004). Pero como puede

verse en la Tabla 2 la reducción en los áridos gruesos para una misma dosificación varía entre el 4% y el 42%. En la figura 2 se muestran los valores comparados del módulo de elasticidad.

Aunque hay grandes diferencias entre los resultados de los hormigones con áridos gruesos reciclados con respecto a sus hormigones de referencia, el módulo de elasticidad que se alcanza en estos casos varía entre 23 GPa y 30 GPa, lo cual indica que un mejor tratamiento de los áridos gruesos evita grandes reducciones en el módulo de elasticidad.

En cuanto a los hormigones con áridos finos reciclados, los resultados oscilan entre 27 GPa y 31 GPa para sustituciones del 50% y del 30% de áridos finos respectivamente. La diferencia es mínima, por lo que puede decirse que la

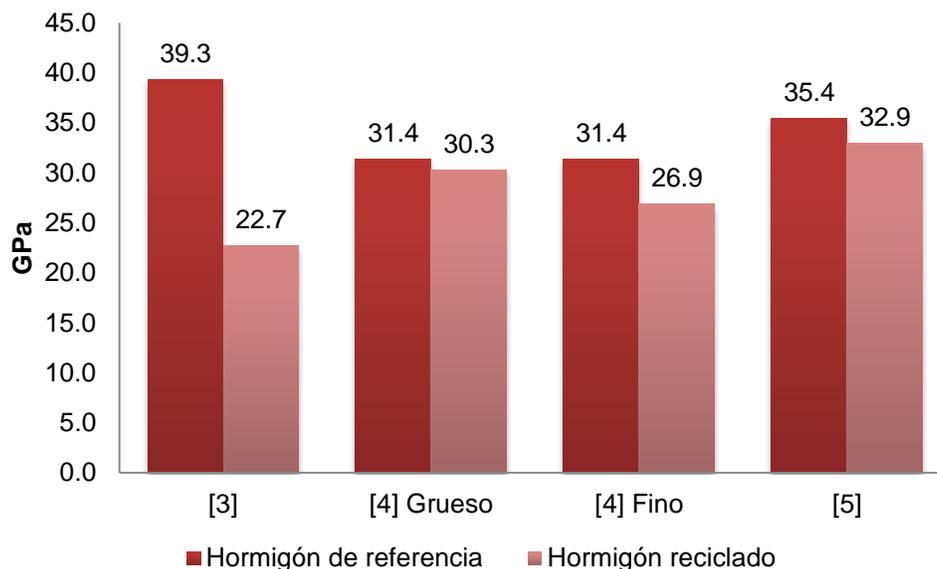


Fig. 2. Módulo de elasticidad: [3]-Sánchez, 2004, [4]-Manzi et al., 2013 y [5]-Zega and Di Maio, 2011.

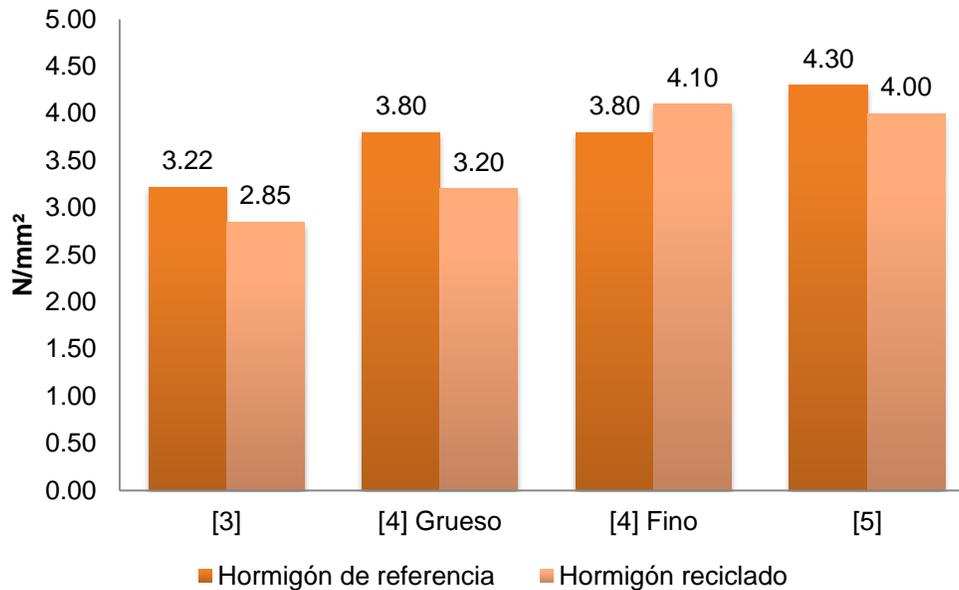


Fig. 3. Resistencia a tracción: [3]-Sánchez, 2004, [4]-Manzi et al., 2013 y [5]-Zega and Di Maio, 2011.

sustitución de áridos finos no afecta tan gravemente al módulo de elasticidad como la sustitución de áridos gruesos.

#### D. Resistencia a tracción

Tal y como se muestra en la Tabla 2, los mayores descensos se producen en los hormigones con áridos reciclados gruesos, con un descenso entre un 11% y un 16% respecto al hormigón de control. En el caso de los hormigones con áridos finos reciclados, la variación de resistencia a tracción respecto al hormigón de referencia es mínima, lo cual indica que el uso de áridos finos reciclados apenas influye en esta propiedad. En la figura 3 se expresan los valores de resistencia a tracción alcanzados por los distintos hormigones estudiados.

Según Sánchez de Juan, en los hormigones con un 100% de áridos gruesos reciclados, cuanto mayor es la resistencia del hormigón mayor es la diferencia de resistencia a tracción con respecto a un hormigón de referencia, siendo siempre menor en hormigones reciclados. Esta resistencia es baja en hormigones reciclados pero va aumentando al aumentar la resistencia del hormigón (Sánchez, 2004). En los áridos finos reciclados, el buen comportamiento en términos de resistencia a tracción indica que existe una buena adhesión entre los áridos y la matriz de cemento (Manzi et al., 2013).

#### E. Retracción

La retracción en los hormigones reciclados se ve más afectada cuando se sustituyen áridos gruesos, tal y como se expresa en la Tabla 2, donde se observa un incremento de la retracción a los 360 días entre el 40% y el 56%. En los hormigones con áridos reciclados finos la retracción es mucho menor, llegando a ser incluso menor que en el hormigón de referencia, alcanzando unos resultados entre el 27% de aumento y el -4% de decremento. En la figura 4 se refleja de

manera aproximada la tendencia que siguen los hormigones reciclados en su retracción para distintos tipos de sustitución de árido.

En esta figura también se compara la retracción de los hormigones reciclados con una serie de datos, denominada "Referencia", que es una media de los valores de retracción estudiados como hormigones de referencia, sin áridos reciclados. Como puede verse, aunque los valores de retracción en los hormigones reciclados son más altos que en los hormigones de referencia, todos siguen una línea parecida de crecimiento, en la que se ve cómo aumenta la retracción de forma muy rápida durante los primeros 100 días y después se mantiene un crecimiento moderado, casi lineal, hasta los 360 días.

Según Sánchez de Juan, en la retracción influyen parámetros como la naturaleza de los áridos o la relación árido/cemento del hormigón reciclado, además de la resistencia del hormigón de origen (Sánchez, 2004). Pero lo más importante es la compresibilidad del árido usado, ya que la retracción depende de la capilaridad que se genera dentro de la estructura porosa de la matriz del cemento (Manzi et al., 2013). El cemento del mortero viejo que queda adherido en los áridos, sobre todo en los gruesos, genera una zona interfacial más débil y por tanto aporta más deformabilidad a los hormigones reciclados (Seara et al., 2016).

#### F. Densidad aparente

Todos los hormigones reciclados comparados (ver Tabla 2) muestran un menor valor de densidad aparente respecto a los hormigones de referencia, aunque la diferencia es mínima. Esto se debe principalmente a que la densidad del hormigón reciclado depende de la densidad de los áridos reciclados que lo componen (Sánchez, 2004), y como puede verse en la Tabla

1, los valores de densidad, tanto real en seco como real saturada con superficie seca, de los áridos son muy similares entre distintos tipos de hormigón.

### G. Densidad aparente

Los datos obtenidos de los trabajos estudiados reflejan que esta propiedad es relevante de cara a la sustitución de áridos finos, ya que, por regla general, al sustituir árido fino natural por árido fino reciclado se aumenta la absorción de agua del hormigón. Tal y como se observa en la Tabla 2, solamente los hormigones con árido fino reciclado muestran valores importantes, siendo mucho mayor en el hormigón con árido fino estudiado por Manzi et al. en el cual al haber usado un 50% de árido fino reciclado la absorción de agua aumenta casi en un 50% con respecto a un hormigón de referencia. Por otro lado, el hecho de que en un hormigón con poca sustitución de árido fino o con solo sustitución de árido grueso tenga una absorción de agua baja indica que el hormigón tiene menor porosidad y por tanto mayor durabilidad (Manzi et al., 2013).

en el hormigón haciendo que para dosificaciones iguales en dos mezclas su comportamiento sea diferente.

- Las variables que más afectadas se ven por la sustitución de árido son la plasticidad, el módulo de elasticidad, la retracción y la absorción de agua.

- La trabajabilidad de las amasadas con áridos reciclados dependen directamente de la forma y textura de la superficie de los áridos, así como de la distribución de los granos, y no de la cantidad de árido natural que se sustituye.

- Sustituir las fracciones de arena y áridos finos por áridos finos reciclados afecta en menor medida a la resistencia a compresión de los hormigones reciclados.

- La sustitución de áridos finos no afecta tan gravemente al módulo de elasticidad. En el caso de los áridos gruesos, es crucial un adecuado tratamiento de los áridos para no afectar negativamente a esta propiedad del hormigón.

- La resistencia a tracción de los hormigones reciclados es menor que la de los hormigones convencionales pero aún así marcan valores admisibles.

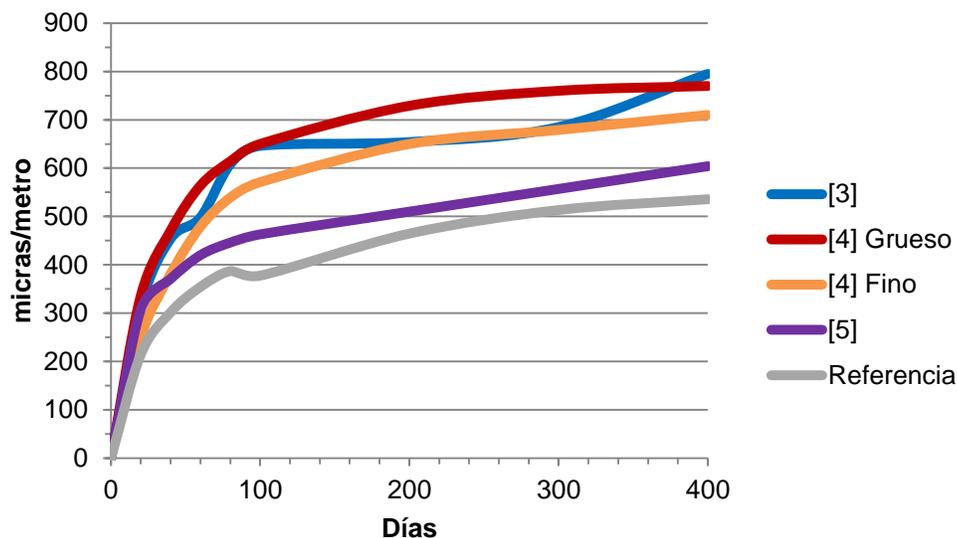


Fig. 4. Retracción de los hormigones reciclados: [3]-Sánchez, 2004, [4]-Manzi et al., 2013 y [5]-Zega and Di Maio, 2011.

## IV. CONCLUSIONES

A través del estudio de tres trabajos experimentales se ha podido realizar una comparativa de las propiedades de los áridos reciclados y los hormigones fabricados con áridos reciclados, tanto finos como gruesos. Los valores obtenidos demuestran que para una determinada dosificación los áridos reciclados pueden funcionar como sustituto de áridos naturales ya que no comprometen en gran medida la durabilidad del hormigón. A partir de este análisis se han alcanzado las siguientes conclusiones:

- El tipo de árido reciclado y su tratamiento previo influyen

- A pesar de que la evolución de la retracción en el tiempo en hormigones reciclados sigue la misma tendencia que en los hormigones convencionales, cuanto mayor es la sustitución del árido reciclado, tanto grueso como fino, mayor es la retracción alcanzada.

- La densidad aparente de los hormigones depende de la densidad de los áridos reciclados que se utilicen.

- La absorción de los hormigones reciclados se ve mucho más afectada cuando se sustituyen áridos finos, siendo mucho mayor cuanto mayor es el porcentaje de sustitución.

## REFERENCIAS

- Comisión (2008) permanente del hormigón. ANEJO 15 EHE 08.
- González, I., González, B., Martínez, F. and Pérez, J. L. (2015). Prediction of the mechanical properties of structural recycled concrete using multivariable regression and genetic programming. *Construction and Building Materials*. Vol. 106, p. 480–499. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.136.
- González, I., González, B., Martínez, F. and Carro, D. (2016). Study of recycled concrete aggregate quality and its relationship with recycled concrete compressive strength using database analysis. *Materiales de Construcción*. Vol. 66, no. 323. DOI 10.3989/mc.2016.06415.
- Letelier, V., Osses, R., Valdés, G. and Moricom, G. (2014). Utilización de metodologías para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural fabricado con áridos reciclados. *Ingeniería y Ciencia*. Vol. 10, no. 19, p. 179–195. DOI 10.17230/ingciencia.10.19.9.
- Manzi, S, Mazzotti, C and Bignozzi, M.C. (2013). Short and long-term behavior of structural concrete with recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 37, p. 312–318. DOI 10.1016/j.cemconcomp.2013.01.003.
- Sánchez, M. (2004). Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de Hormigón Estructural. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Seara, S., González, B., Martínez, F. and González, I. (2016). Time-dependent behaviour of structural concrete made with recycled coarse aggregates. *Creep and shrinkage. Construction and Buildings Materials*. Vol. 122, p. 95–109. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.050.
- Zega, C. J. and Di Maio, A.A. (2011). Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements. *Waste Management*. Vol. 31, p. 2336–2340. DOI 10.1016/j.wasman.2011.06.011.



**Reconocimiento – NoComercial (by-nc):** Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.