

COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

M.E. Sosa¹, A. Lamnek^{1,2}, Y.A. Villagrán^{1,3}, D.E. Benito¹, C.J. Zega^{1,3}, A.A. Di Maio^{1,3}

(1) Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT), CICPBA. Calle 52 e/121 y 122. (1900) La Plata. Buenos Aires. Argentina.

E-mail: ingmesosa@gmail.com; hormigones@lemit.gov.ar

(2) Dep. Construcciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

(3) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

Palabras clave: Agregado fino reciclado, contenido de pasta, residuo insoluble, absorción, densidad

RESUMEN

El agregado fino reciclado (AFR) presenta en su composición mortero adherido a las partículas del agregado natural. Este mortero es el responsable de la menor densidad y mayor absorción respecto de un agregado fino natural. Por lo tanto, el contenido de mortero resulta la propiedad del AFR más significativa que definirá en gran medida su influencia en las propiedades del hormigón. Por otra parte, en la literatura no se han encontrado resultados de estudios que evalúen efectivamente la variación del contenido de pasta del AFR con el tamaño de sus partículas y que permitan verificar la influencia relativa del mismo. En este trabajo, se analizaron las propiedades y composición de las diferentes fracciones de un AFR. Los resultados obtenidos muestran que, a pesar de determinarse una cierta variación en el contenido de pasta con el tamaño de partículas, ello no se ve reflejado consistentemente en los resultados de absorción y densidad.

INTRODUCCIÓN

Los agregados reciclados (AR) obtenidos a partir de residuos de hormigón presentan, como principal diferencia respecto a los agregados naturales (AN), mortero adherido en proporciones variables. Este mortero, debido a su porosidad, ha sido señalado por distintos autores (1-4) como el responsable de la mayor absorción y menor densidad que poseen estos agregados respecto de los naturales. Por lo tanto, el contenido de mortero resultaría la propiedad del AR más significativa para definir su influencia en las propiedades del hormigón en el que se emplee. Sin embargo, son escasos los estudios que vinculan el contenido de mortero y las propiedades físicas de los AR (4). En el caso del agregado fino reciclado (AFR), el contenido de mortero no puede determinarse directamente, ya que en el residuo insoluble obtenido una vez eliminada la pasta no es posible la separación del agregado fino que constituía el mortero del agregado grueso triturado correspondiente al hormigón de origen. Este hecho motiva que en el caso del AFR sea más conveniente basarse en el análisis del contenido de pasta o la determinación del contenido de cemento.

Al respecto, entre los parámetros que determinan el contenido de pasta en el AFR, se han señalado la cantidad y tipos de procesos de trituración, calidad del hormigón de

origen y características del agregado constituyente de dicho hormigón (1,4-7). En el caso del agregado grueso reciclado, distintos autores (8-9) han encontrado una relación inversa entre el contenido de mortero y el tamaño de partícula. No obstante, esta relación no ha sido definida para el caso del AFR. Entre los pocos estudios existentes (10-11) parece haber consenso respecto a que las partículas con tamaño menor a 63 μm poseen un mayor contenido de pasta en comparación con las comprendidas entre 63 μm y 4 mm. Sin embargo, en ellos no se vinculan las propiedades de cada fracción del AFR con el contenido de pasta, lo cual reviste interés práctico. Al respecto, las diferencias en el contenido de pasta, siempre que se reflejasen en las propiedades del AFR, pueden originar que no deba considerarse al AFR como homogéneo, incluso debiendo descartarse alguna de sus fracciones para el empleo en hormigones tal como sugieren algunos autores(1,10).

En este trabajo se analizaron las propiedades y composición de las diferentes fracciones de un AFR. Se consideraron parámetros tales como absorción de agua, densidad, residuo insoluble en ácido, pérdida por calcinación y contenido de óxido de calcio. Los resultados obtenidos en las propiedades físicas y químicas son contrastados con vistas a evaluar su variabilidad con el tamaño de partícula.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

Se utilizó un AFR proveniente de la trituración de un hormigón de nivel resistente de resistencia media de 35 MPa. Las propiedades determinadas al AFR utilizado se presentan en la Tabla 1 y su granulometría en la Figura 1. Se tomó una muestra de 50 kg del AFR y se separó por fracciones de tamaño según el material retenido en tamices de abertura de malla 2,36, 1,18, 0,6, 0,3, 0,15 mm y remanente, denominándose a cada fracción 8, 16, 30, 50, 100 y fondo, respectivamente. A cada fracción indicada se le realizaron ensayos físicos (densidad y absorción de agua de acuerdo a lo indicado en la norma IRAM 1520) y químicos, para lo cual se molieron 50 g de cada fracción y se tomaron muestras representativas de 2 g, determinándose el residuo insoluble mediante ataque con ácido clorhídrico y carbonato de sodio, el contenido de calcio y la pérdida por calcinación.

Tabla 1: Propiedades del AFR.

	Absorción (%)	Densidad	Material menor a 75 μm (%)	PUV (kg/m^3)
AFR	4,5	2,49	2,7	1294

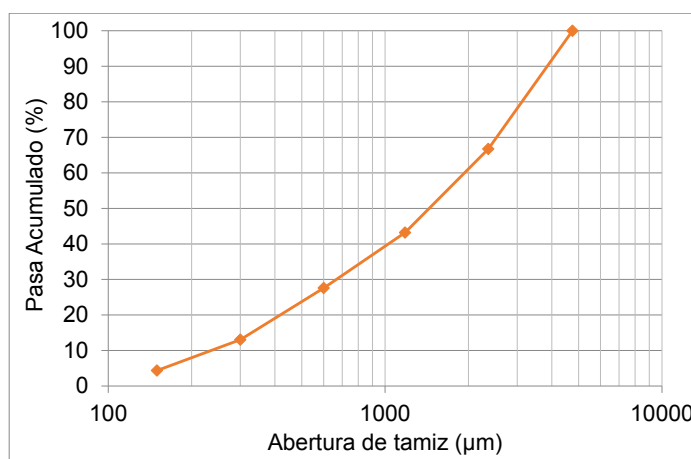


Figura 1: Granulometría del AFR.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

El residuo insoluble (RI), la pérdida por calcinación (PxC) a 550 y 950°C, el contenido de calcio y el contenido de cemento, determinado según ASTM C 1084 Están seguros del número de norma, porque no la encuentro en ASTM? (en función del CaO y en función del RI conjuntamente con PxC a 550°C) para cada fracción de material, se presentan en la Tabla 2. Puede observarse que la diferencia entre la pérdida por calcinación a 550°C y a 950°C es significativa, con valores que se duplican de la primera temperatura a la segunda, lo cual indica un alto grado de carbonatación de la pasta contenida en los agregados. Ello implica que gran parte de la portlandita, que debería descomponerse a temperaturas de alrededor de 450°C, se ha transformado en calcita, que se descompone alrededor de 650°C. De este modo, gran parte del agua combinada (la contenida en la portlandita que se carbonató) fue liberada al momento de la carbonatación, y por lo tanto pasa a ser agua evaporable a 105°C y no se ve reflejada en la pérdida por calcinación. Este hecho puede explicar las diferencias sustanciales en el contenido de cemento estimado a partir de la pérdida por calcinación respecto del calculado a partir del contenido de calcio. En este último caso, la carbonatación no afecta sensiblemente el contenido relativo de calcio, y por lo tanto las estimaciones del contenido de cemento a partir del mismo son más confiables.

Tabla 2: Ensayos químicos y contenido de cemento estimado para cada fracción.

Fracción	RI (%)	CaO (%)	PxC (%)		Contenido de cemento estimado (%)	
			550°C	950°C	a)	b)
8	68,5	10,0	4,3	8,1	15,7	27,1
16	69,5	9,9	5,3	8,7	15,6	25,1
30	70,6	11,0	5,4	9,1	17,3	24,0
50	72,0	10,3	4,7	8,3	16,2	23,3
100	62,8	13,3	5,5	11,3	20,9	31,7
Fondo	60,3	14,6	8,1	11,8	23,0	31,6
AFR ponderado	68,8	10,7	5,1	8,9	16,9	25,9

a) Calculado a partir de: $\text{CaO}/0,635$

b) Calculado a partir de: $100 - \text{RI} - \text{PxC} (550^\circ\text{C})$

La comparación entre el contenido de calcio y el contenido de pasta, determinado a partir del residuo insoluble, para cada fracción de material se muestran en la Figura 2 a). En la Figura 2 b) se presentan los contenidos de cemento estimados a partir del contenido de calcio y del residuo insoluble conjuntamente con la PxC, en función del tamaño de partícula. Tanto el contenido de pasta como el contenido de calcio muestran contenidos de cemento que varían poco con el tamaño de partícula, a excepción de las fracciones de menor tamaño (100 y fondo) en las cuales se incrementó. Este resultado se condice con lo indicado en la literatura (11).

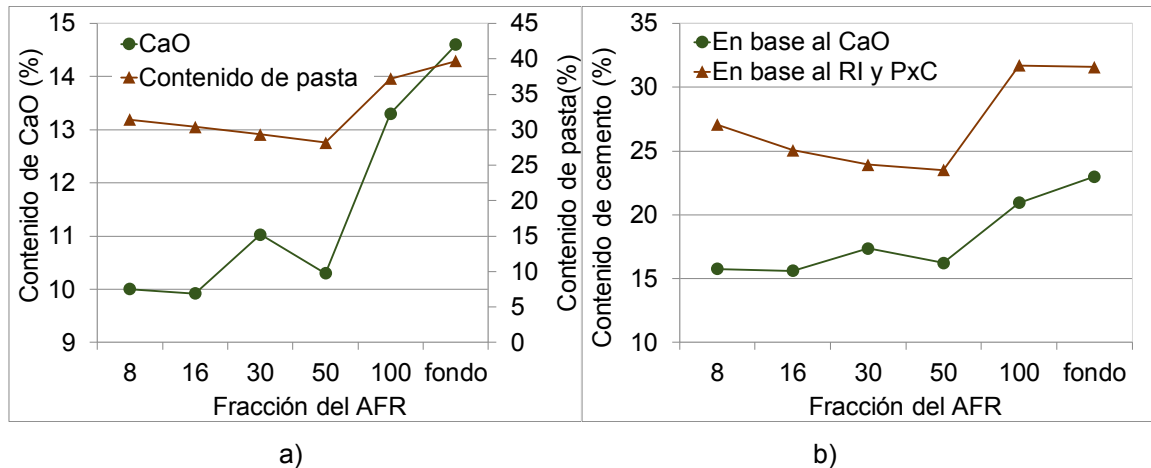


Figura 2: (a) Contenido de CaO y contenido de pasta en función del tamaño de partícula; (b) Contenido de cemento en función del tamaño de partícula.

En la bibliografía sobre la temática (5,6,10), es común encontrar al contenido de pasta (calculado como el complemento del residuo insoluble) como índice descriptivo de la calidad del AFR. Sin embargo, es sabido que parte de la sílice del agregado se disuelve durante el ataque (10). Otra opción es la determinación del contenido de cemento a partir del análisis del contenido de calcio siempre que no haya agregados carbonáticos involucrados. En este caso, la estimación no es afectada por la pérdida por calcinación (dependiente del grado de carbonatación) ni la sílice disuelta del agregado.

Dado que no es posible una comparación directa entre el contenido de cemento y el de pasta (a menos que se involucre la pérdida por calcinación y se verifique el grado de carbonatación de la muestra a la vez), en la Figura 3 se comparan el contenido de pasta (estimado a partir de $100 - RI$ (%)), el CaO y la PxC a $950^{\circ}C$, relativos al valor ponderado para cada parámetro en función de las proporciones de cada fracción del AFR. Cada una de estas variables está relacionada con el contenido de mortero y todas presentan similar tendencia cuando son referidas al valor ponderado para el AFR. Debido a ello, y a los fines de este estudio, el promedio de los valores relativos será considerado como índice del contenido de pasta, por cuanto el mismo reduce la influencia relativa de los factores que inciden en la determinación experimental de cada variable. Puede observarse en la figura que el contenido de pasta resulta similar para las distintas fracciones, a excepción de la 100 y fondo, las cuales exhiben un incremento significativo.

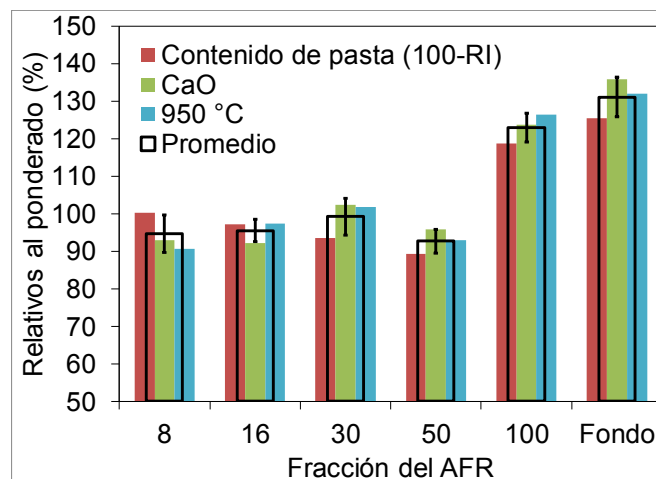


Figura 3: Contenido de pasta, de CaO y pérdida por calcinación a $950^{\circ}C$ relativos al AFR ponderado.

En la Tabla 3 se presentan los valores de densidad y absorción obtenidos en cada fracción y el correspondiente al AFR ponderado. La ausencia de la fracción denominada fondo se debe a la imposibilidad de determinar ambos parámetros fehacientemente mediante el método establecido en la Norma IRAM 1520. Dicho inconveniente radica en lo dificultoso de obtener la cantidad de material necesaria para constituir una muestra y también a la imposibilidad de llevar al material al estado saturado a superficie seca.

Tabla 3: Densidad y absorción de las fracciones y del AFR ponderado.

Fracción	Densidad	Absorción (%)
8	2,41	5,66
16	2,42	5,71
30	2,41	6,01
50	2,44	6,06
100	2,42	6,08
AFR ponderado	2,42	5,82

En la Figura 4 se presentan la densidad y la absorción relativas al valor ponderado del AFR en función del índice del contenido de pasta definido anteriormente. De dicha figura surge que la densidad y la absorción relativas presentan un rango relativo porcentual de 1,2% y 7,1%, respectivamente, mientras que el índice del contenido de pasta varía con un rango relativo porcentual de 29,4%, aunque no se evidencia una influencia definida y directa entre las propiedades físicas y el contenido de pasta.

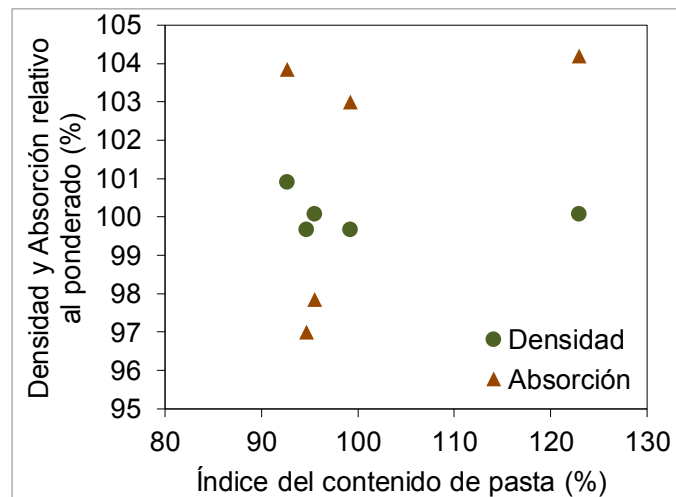


Figura 4: Densidad y absorción relativas al ponderado en función del índice del contenido de pasta.

En la Figura 5 se presenta la densidad y la absorción relativas al valor ponderado del AFR en función del tamaño de fracción. De los resultados presentados, ninguna tendencia clara emerge sobre la relación entre la densidad y la fracción de tamaños. Las pequeñas variaciones se condicen con la pequeña variación en el contenido de pasta (ver Figura 4), excluyendo a la única variación esperable para tamaños de partícula menores a 150 μm que no pudo ser analizada en cuanto a sus propiedades físicas. En el caso de la absorción, en la Figura 5 se muestra una tendencia incremental en el valor de la misma conforme disminuye el tamaño de partícula. Sin embargo, debido a la incertidumbre del método del cono para la determinación efectiva del estado saturado a superficie seca en las arenas de trituración (12), las diferencias pueden deberse a un secado excesivo de las fracciones más gruesas debido a la forma de sus partículas.

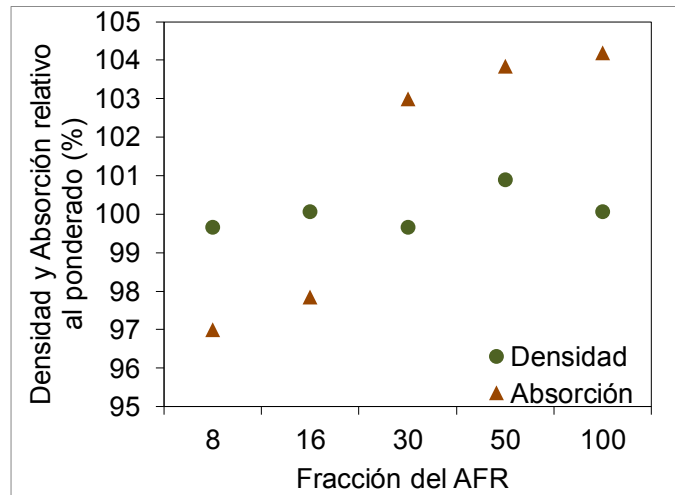


Figura 5: Densidad y absorción relativas al ponderado en función del tamaño de partícula.

CONCLUSIONES

La evaluación de distintas propiedades físicas y químicas de cada una de las fracciones que componen un agregado fino reciclado (AFR), dadas por la densidad y la absorción de agua para las primeras y por el residuo insoluble en ácido, la pérdida por calcinación y el contenido de óxido de calcio entre las químicas, permite indicar que:

- La densidad resultó similar para las distintas fracciones evaluadas, mientras que la absorción se incrementó de manera inversa respecto del tamaño de partículas. Dada la incertidumbre en la determinación del estado saturado a superficie seca de los agregados de trituración por el método del cono, estos resultados no pueden considerarse definitivos.
- La absorción de agua determinada a partir del método del cono para la definición del estado saturado a superficie seca parece estar en función de la angularidad de las partículas de AFR, antes que de su contenido de pasta. Por lo tanto, resulta necesario la adopción de técnicas alternativas que brinden resultados independientes de la forma de las partículas.
- El contenido de cemento estimado mediante el residuo insoluble y la pérdida por calcinación no resultan confiables ya que los AFR tienen gran probabilidad de encontrarse carbonatados. De este modo, se produce una pérdida relativa considerable entre 550 y 950°C, correspondiente al dióxido de carbono y no al agua combinada. En este sentido, el contenido de cemento determinado a partir del contenido de calcio resulta más confiable, más aún si se tiene el contenido de calcio del cemento constituyente del hormigón de origen.
- Las estimaciones del contenido de pasta mostraron diferencias significativas únicamente para la fracción de tamaño menor a 0,150 mm. Estas diferencias no se reflejaron al vincular la absorción y densidad.

REFERENCIAS

- (1) Hansen, T.C., "Recycled aggregate and recycled aggregate concrete. Second state-of-the-art. Report developments", Materials and Structures, Vol. 19, N° 3, (1986), 1845-1985.

- (2) Sri Ravindrarajah, R., Tam, T.C., "Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate", Magazine of Concrete Research, Vol. 37, N° 130, (1985), 29-38.
- (3) Zega, C.J., Di Maio, A.A., "Influencia de las Características de los Agregados Reciclados en la Elaboración de Hormigones". Memorias 15° Reunión Técnica de la AATH, Santa Fe, 21-24 de octubre de 2003 (2003). (Editado en CD).
- (4) Zega, C.J., Sosa, M.E., Di Maio, A.A., "Propiedades de los agregados finos reciclados procedentes de hormigones elaborados con diferentes tipos de agregados gruesos naturales", 16° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, (2010), 33-38.
- (5) Sanchez de Juan, M., Alaejos Gutiérrez, P., "Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate", Construction and Building Materials, Vol. 23, N° 2, (2009), 872-877.
- (6) Ulsen, C., Kahn, H., Hawlitschek, G., Masini, E.A., Angulo, S.C., "Separability studies of construction and demolition waste recycled sand", Waste Management, Vol. 33, N° 3, (2013), 656-662.
- (7) Pereira, P., Evangelista, L., de Brito, J., "The effect of superplasticisers on the workability and compressive strength of concrete made with fine recycled concrete aggregates", Construction and Building Materials, Vol. 28, (2012), 722-729.
- (8) Katz, A., "Properties of concretes made with recycled aggregates from partially hydrated old concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 33, (2003), 703-711.
- (9) Limbachiya, M.C., Leelawat, T., Dhir, R.K., "Use of recycled concrete aggregate in high strength concrete", Materials and Structures, Vol. 33, N° 233, (2000), 574-580.
- (10) Angulo, S.C., Ulsen, C., John, V.M., Kahn, H., Cincotto, M.A., "Chemical-mineralogical characterization of C&D waste recycled aggregates from São Paulo, Brazil", Waste Management, Vol. 29, (2009), 721-730.
- (11) Florea, M.V.A., Brouwers, H.J.H., "Properties of various size fractions of crushed concrete related to process conditions and re-use", Cement and Concrete Research, Vol. 52, (2013), 11-21.
- (12) ASTM C 128:2001, "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate", ASTM international, 83-89.