

50. Estudio del polvo fino de mortero de distintas fuentes de residuos para la producción de hormigón reciclado

Aguirre Maldonado, Eduardo ^(1,*), Hernández Olivares, Francisco ⁽²⁾

(1) (*) Departamento de Arquitectura, Universidad Técnica Particular de Loja, calle Marcelino Champagnat, 1101608, Loja-Ecuador, ebaguirre@utpl.edu.ec, 593 073701444

(2) Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Madrid, Av. Juan de herraera 4, 28040, Madrid-España, f.hernandez@upm.es, 913364245

Resumen La búsqueda de nuevas opciones para aprovechar los residuos finos procedentes de la trituración de hormigón en desuso o polvo fino de mortero reciclado (FMR), ha desarrollado procesos basados en tratamiento térmico que permiten incorporar este material a la fabricación de hormigón nuevo. Aplicando estos procesos térmicos, la presente investigación determina la composición química del polvo fino de diferentes muestras de polvo fino de mortero reciclado calcinado (FMRC), recogido de varias fuentes, y estudia experimentalmente cómo en combinación a cemento nuevo, influye en la resistencia a la compresión del material compuesto. Utilizando un radio de 30% de FMRC en reemplazo de cemento portland ordinario (CPO) para la fabricación de probetas, el estudio determina que la utilización directa de este material, afecta negativamente a la resistencia a compresión del material compuesto, alcanzando en la mayoría de las probetas del 21% al 54% de la resistencia a la compresión normal. En base al estudio teórico del radio Ca/Si (T-Ca/Si), se observa cómo la resistencia a compresión se relaciona con el balance Ca/Si de la mezcla, en donde las probetas con radio Ca/Si más alto, alcanzan una resistencia a compresión de 72%, en comparación a las mezclas que utilizan únicamente cemento. Finalmente, el estudio experimental indica que el principal criterio para valorar el reciclaje de FMR es la concentración de CaO, no existen diferencias significativas entre residuos de hormigón o mortero preparado y puesto en obra, a diferencia de residuos de morteros especiales o premezclados.

Palabras clave Residuos concreto, Reciclado, Sostenibilidad, Cemento, Resistencia compresión

1 Introducción

En los últimos años, se ha evidenciado diferentes adelantos que apoyan el desarrollo sostenible de la industria del concreto u hormigón. Estos adelantos basados en iniciativas que se aplican en cada una de las fases del ciclo de vida de este material, buscan construir un sistema sostenible que pueda atenderse desde diferentes industrias, permitiendo reducir impactos ambientales y mejorar las prestaciones del hormigón. Una de las iniciativas más importantes es la búsqueda de materiales nuevos o alternativos que reemplacen componentes del hormigón, sin descuidar la ecología o la calidad del hormigón, sin embargo, aun siendo una iniciativa con proyección y en continuo desarrollo, se trata de un camino gradual. Mientras se generan, adoptan y popularizan opciones más sostenibles para reemplazar totalmente la tecnología y materiales que fabrican el hormigón, existen hoy en día enormes volúmenes de material desechado e incluso se estima de que las edificaciones actuales al término de su vida, determinarán cantidades significativas de residuos en el futuro. En este sentido es importante buscar el desarrollo de materiales alternativos sin descuidar los residuos de hormigón existentes o en futura producción.

En el contexto de residuos de construcción y demolición (RC&D) relacionados al hormigón, los estudios han dirigido sus esfuerzos a conocer cómo utilizar todos los componentes de este material en desuso, y en este campo solo se ha conseguido normalizar, hasta cierto límite, la recuperación de árido grueso para reingresar al ciclo de vida del hormigón, un ejemplo de esto son las recomendaciones para el uso de hormigones reciclados (uso de áridos reciclados) que muestra el anejo 15 de la Instrucción Española del hormigón estructural (EHE). Por otra parte, al reciclar áridos gruesos, los materiales restantes como la pasta fina de mortero o FMR, constituyen un condicionante a la resistencia que aportan los agregados reciclados en la fabricación de nuevos hormigones (Pedro et al. 2014), y dadas sus características, no presentaban las mejores opciones para ser aprovechados.

1.1 Reciclaje de polvo fino de residuos de hormigón

A partir de investigaciones sobre la influencia de altas temperaturas sobre pastas de cemento (Zhang & Ye 2011) (Castellote et al. 2004), se consiguió también determinar lo que sucede con el material calcinado cuando es sometido nuevamente a hidratación, esto ha permitido evidenciar la presencia de características de fraguado similares a las que posee el cemento nuevo, y en cierta forma, recuperar la capacidad de mostrar productos de hidratación (Farage et al. 2003) (HaGa et al. 2002) (Xinwei et al. 2010).

Continuando con estudios recientes, se confirma que el FMRC, tiene capacidad cementante y que ésta depende de la temperatura de calcinación, además posee un

alto valor pH y reactividad al agua (Shui et al. 2009). En base a estos resultados, se ha evaluado la aplicación de FMRC, como aditivo de cemento (Rui et al. 2013), activador alcalino (Shui et al. 2011) o incluso en reemplazo parcial de cemento nuevo (Xinwei et al. 2010) con buenos resultados. Estos avances han permitido también valorar la reducción de emisiones de carbón en el proceso de manufactura de cementos alternativos, obteniendo CaO mediante la disolución de portlandita y no a través de la decarboxilación (Kwon et al. 2015). Pese a esto, las virtudes las FMRC han presentado limitaciones y resultados desfavorables al utilizarse como aglutinante directamente, debido al porcentaje de material cementante útil en las pastas recicladas, un excesivo requerimiento de agua para alcanzar su consistencia, baja densidad, alta superficie específica y porosidad (Shui Z. et al. 2009) (Shui Z. et al. 2008). Además, se reconoce la dificultad y la necesidad de generar estudios que mejoren la separación de agregados finos de los componentes de cemento (Kwon et al. 2015).

Teniendo en cuenta estos avances, los estudios de aprovechamiento de residuos de hormigón ofrecen grandes oportunidades, debido a que la valoración de este material permite la recuperación de residuos de construcción, así como la reducción de depósitos de este material y la obtención de materia prima para fabricar nuevo hormigón. Esto tiene mayor importancia cuando se considera que la actualidad es difícil encontrar un material de mayor difusión y uso que el hormigón, y en consecuencia a esto, las cantidades de residuo de este material, son abundantes y se pueden localizar en todo el mundo moderno, de hecho se estima que de todos los residuos de construcción y demolición, del 20% al 75% corresponden a residuos de hormigón (García 2012) (Tam & Tam 2008). Además, dependiendo del medio este porcentaje puede aumentar si se considera que existen países donde el uso de hormigón constituye la mayoría de los elementos constructivos de la edificación y no existen procesos eficientes para el manejo de residuos de hormigón, por ejemplo, en Ecuador cerca del 76% de las viviendas utilizan el hormigón en estructuras y mortero en sistemas de mampostería (INEC 2010).

Uno de los diferentes puntos que ayudará a mejorar el conocimiento para valorar los FMR, es la situación de los residuos comunes, encontrados en lugares de depósito normal, diferente a los obtenidos en laboratorio. Se tiene presente las dificultades de manejo, naturaleza, y carencia de certificación técnica del producto, dado que en la mayoría de los casos, el material es depositado conjuntamente con otros residuos, sin embargo, es importante obtener conclusiones sobre qué tipo de residuos de hormigón tienen mejores condiciones para reciclar y si existen diferencias significativas entre varias fuentes y orígenes de los FMR en los resultados de resistencia a compresión, que es una de las principales características del hormigón. La presente investigación está enfocada en la comparación de los resultados experimentales de resistencia a compresión en probetas de mortero fabricados en combinación de FMRC y CPO, esto proporcionará añadir un punto de experiencia para la selección de residuos utilizados en el reciclaje de materia prima de cemento que permita impulsar la fabricación de hormigones reciclados.

2 Investigación Experimental

2.1 Materiales

El experimento fue realizado usando Cemento Portland ordinario (CPO), GU tipo I (31Mpa), cemento de uso general para la construcción creado bajo la norma NTE INEN 2380:2011 (equivalente a ASTM C 1157), las propiedades químicas se enlistan en la Tabla 1. Se utilizan adiciones de FMR tomando tres muestras por cada tipo de las nueve familias obtenidas en diferentes sitios (ver Tabla 2) y agregado fino natural (arena de río) además de agua destilada. No se utilizaron aditivos.

Tabla 1 Composición química del cemento GU tipo I y diferentes muestras de FMR deshidratado a 800°C

% por masa	OPC	FMR deshidratado a 800°C								
		M011	M012	M013	M021	M022	M023	M031	M032	M033
CaO	52.30	15.10	15.90	16.70	16.50	19.20	13.50	23.60	26.80	22.30
SiO ₂	17.60	62.30	62.00	62.00	60.90	59.60	64.70	52.00	49.70	53.20
Al ₂ O ₃	5.84	11.20	11.50	11.70	12.70	11.40	11.50	10.80	8.94	11.8
Fe ₂ O ₃	4.15	3.10	3.32	4.09	4.47	3.97	4.07	3.89	3.94	4.13
K ₂ O	1.26	1.94	2.11	2.34	2.19	2.30	2.15	2.16	1.27	2.19
SO ₃	1.75	0.65	0.65	0.68	0.79	0.70	0.53	0.85	1.49	0.80
MgO	5.69	3.86	2.28	0.22	>0.10	0.33	>0.10	3.95	>0.10	2.30
TiO ₂	0.36	0.37	0.40	0.42	0.61	0.46	0.61	0.44	0.41	0.62
P ₂ O ₅	1.78	0.90	0.92	1.04	1.03	1.12	0.89	1.26	1.85	1.24
LOI	2.70	7.30	6.60	9.50	11.70	9.00	8.60	27.70	24.50	22.00

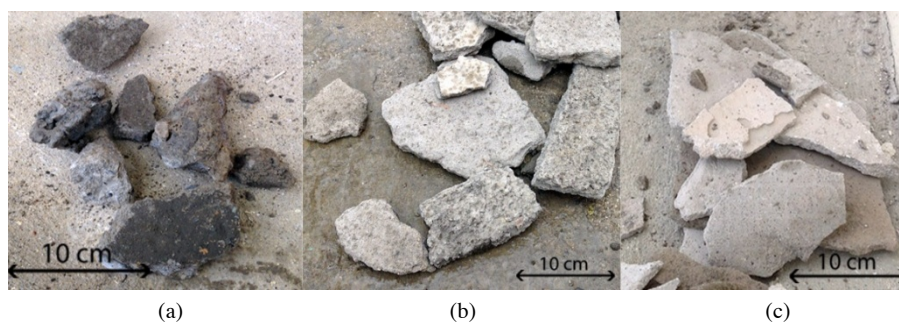


Fig. 1 Muestras de residuos de construcción: (a) residuos de hormigón, (b) residuos de mortero, (c) residuos de mortero adhesivo

Tabla 2 Tipos y edad de familias de FMR recogidos en el estudio experimental

Familias FMR	Origen de residuo de hormigón	Edad aproximada.	Fuente	Constitución General
M011	Hormigón armado	20 años	Durante la demolición	Agregado grueso, agregado fino, CPO
M012	Hormigón en masa	15 años	En sitios de relleno para residuos de construcción	Agregado grueso, agregado fino, CPO
M013	Hormigón ordinario	7 años	En tanque de depósito de residuos	Agregado grueso, agregado fino, CPO
M021	Mortero de cemento para enfoscado de muros exteriores	25 años	En la edificación por deterioro del muro	Agregado fino, CPO
M022	Mortero de cemento para enfoscado de muros interior	15 años	Durante la demolición	Agregado fino, CPO
M023	Mortero para pegar ladrillos	22 años	En sitios de relleno para residuos de construcción	Agregado fino, cemento portland, aditivos.
M031	Mortero adhesivo usado para alicatados	7 años	En tanques de depósito de residuos	Agregado fino, cemento portland, aditivos*.
M032	Mortero adhesivo usado para alicatados	7 años	Durante la demolición	Agregado fino, cemento portland, aditivos.*
M033	Mortero adhesivo usado para alicatados	10 años	En sitios de relleno para de residuos construcción	Agregado fino, cemento portland, aditivos.*

*Según descripción general de las únicas marcas que se comercian en el contexto de estudio, sin embargo los fabricantes no especifican los tipos de aditivo.

2.1.1 Recolección y preparación de FMR

Se han elegido residuos de hormigón y mortero proveniente de construcciones arquitectónicas: morteros de revestimiento, morteros adhesivos y muestras de hormigón (Fig. 1). La descripción de cada grupo y la edad aproximada se detalla en la Tabla 2. El material ha sido extraído durante el proceso de demolición, de edificaciones con deterioros y en lugares de depósito de RC&D, además mediante una

indagación sobre las edificaciones de origen, se pudo conocer la edad aproximada de cada tipo de residuo. Se ha verificado que la materia no esté contaminada con agentes químicos o radioactivos. En base al análisis de la línea de desarrollo del hormigón para el medio de estudio, se puede mencionar que el cemento utilizado en todos los casos es el cemento Portland normal, ya que es el único que se ha comercializado en la ciudad de estudio, además que en los dos primeros grupos, se trata de hormigón y mortero realizado en el sitio de la obra, para el caso del mortero adhesivo es un material premezclado en fábrica.

Cada muestra de FMR se ha secado para proceder con dos etapas de trituración y una de pulverización. La primera etapa de trituración se la realizó manualmente, liberando el agregado grueso de las muestras de hormigón, posteriormente se realizó la trituración mecánica en un molinillo, para finalmente utilizar un pulverizador de discos. De esta manera se ha obtenido un polvo fino menor a $70\mu\text{m}$. Un paso posterior llevó a obtener una materia más fina mediante el deslamado de las muestras, separando alrededor de un 20% de compuesto arenoso de las muestras. Finalmente el polvo obtiene una finura menor a $40\mu\text{m}$.

Los procesos de deshidratación se siguieron de manera similar a la metodología aplicada en estudios previos (Shui et al. 2011) (Zonghui et al. 2012), aplicando una temperatura de 800°C bajo dos horas en un rango de $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Se ha considerado esta temperatura debido a que después de los 800°C existe una tendencia a disminuir la resistencia a compresión de la FMRC en cada fase de curado (Shui Z. et al. 2009), que se atribuye a la posible transformación de fases de hidratación parcialmente deshidratadas sobre los 800°C (Okada et al. 1994). Posteriormente al tiempo de calcinación (ver Fig. 2), las muestras de FMRC se enfrían rápidamente y se colocan en envases herméticos para conservarse en un ambiente seco. La composición química obtenida por fluorescencia de rayos X (XRF) de cada muestra se enlista en la Tabla 1.

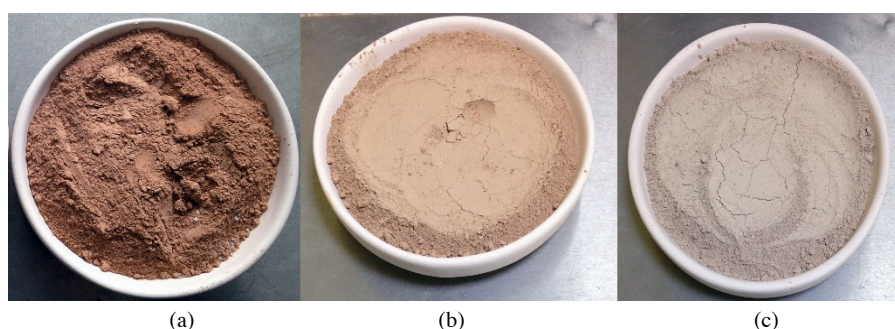


Fig. 2 Muestras de FMR deshidratadas a 800°C : (a) familia residuos de hormigón, (b) familia residuos de mortero, (c) familia residuos mortero adhesivo

2.2 Preparación de probetas y determinación de resistencia a la compresión

La determinación de la resistencia a la compresión de las probetas de mortero se realizarán de acuerdo a la norma Ecuatoriana NTE INEN 488:2009 (equivalente a ASTM C109 / C109M – 16), donde se establece un valor mínimo de 28MPa a los 28 días. La elaboración de las probetas de mortero se fabrican combinando CPO y FMRC, utilizado este último en un 30% de la masa mezclada para el aglutinante (ver Tabla 3). Este porcentaje se establece tomando en cuenta las investigaciones previas (Oksri-Nelfia et al. 2016), dado que las muestras recogidas no están separadas totalmente del agregado fino original lo que dificulta que puedan endurecerse al utilizarse en un porcentaje mayor al 30% (Kwon et al. 2015). El radio agua/cemento + FMRC es 0.35.

Las pastas fueron colocadas en moldes de 50 x 50 x 50mm, compactadas mediante vibración. Luego de retirar su molde, los cubos de ensayo fueron curados a temperatura ambiente (21°C) durante 7 días, para finalmente evaluar su resistencia a la compresión a los 28 días, los resultados se indican en la Fig.3.

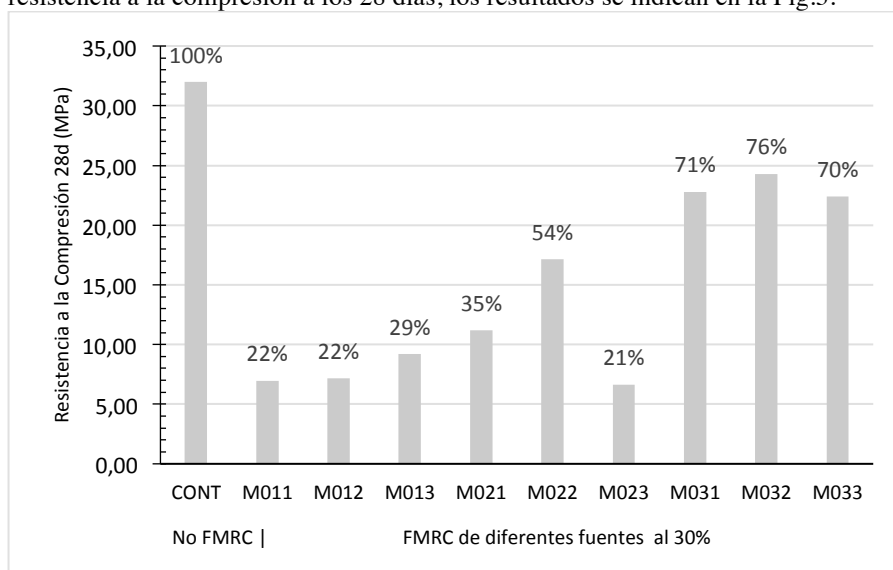


Fig. 3 Resistencia a la compresión de probetas de mortero con adición de FMRC

2.3 Discusión de los resultados experimentales

Los resultados ensayados a los 28 días, muestran que en todos los casos la combinación de cemento y FMRC no mejora, ni conserva las cualidades de resistencia a la compresión de las probetas, siendo ésta menor a las realizadas

únicamente con CPO y se encuentran por debajo del mínimo exigido en la norma utilizada. Aunque estos datos eran pronosticados debido a que las FMRC se utilizaron directamente con cemento y tampoco se logró separar en totalidad el agregado fino contenido en las FMRC, se pueden rescatar ciertos comportamientos particulares en los resultados experimentales.

Para discutir los resultados, se utilizará el concepto de radio teórico de la relación calcio-sílice (T-Ca/Si), expresado en un estudio previo (Shui et al. 2011). En este concepto se relaciona los valores de CaO y SiO en el diseño de la mezcla, en este caso se ajusta a las variables tomadas en el presente estudio y se expresa a través de la Ec. 1

$$T = \frac{(md \times dCaO + mp \times pCaO) / M_{CaO}}{(md \times dSiO_2 + mp \times pSiO_2) / M_{SiO_2}} \quad (1)$$

Donde T es el valor de T-Ca/Si; md es el contenido de FMRC; mp es el contenido de CPO; dCaO es el porcentaje de masa de CaO contenido en la FMRC; pCaO es el porcentaje de masa de CaO contenido en el CPO; dSiO₂ es el porcentaje de masa de SiO₂ contenido en la FMRC; pSiO₂ es el porcentaje de SiO₂ contenido en el CPO por masa; M_{CaO} y M_{SiO₂} es la masa molar de CaO y SiO₂ respectivamente. Los valores de dCaO, pCaO; dSiO₂ y pSiO₂, se obtienen de la Tabla 1, mientras que se utiliza 56.0774 g/mol para el valor de M_{CaO} y 60.08 g/mol para el valor de M_{SiO₂}. En este caso el valor de T-Ca/Si se calcula para un ajuste uso de FMRC al 30% para todos los casos.

Tabla 3 Proporciones de materia prima utilizada en las probetas y relación teórica del radio de Ca/Si

Familia de muestra	%, FMRC	%, CPO	a/c	T-Ca/Si
M011	30	70	0.35	1.42
M012	30	70	0.35	1.43
M013	30	70	0.35	1.44
M021	30	70	0.35	1.46
M022	30	70	0.35	1.50
M023	30	70	0.35	1.37
M031	30	70	0.35	1.68
M032	30	70	0.35	1.76
M033	30	70	0.35	1.64

Los valores de T-Ca/Si de las mezclas obtenidas se indica en la Tabla 3. Las probetas del tercer grupo de muestras realizados en base a FMRC obtenido de residuos de mortero adhesivo presentan resultados de resistencias a la compresión que alcanzan el 72% de las probetas que no usan FMRC, en los demás casos, solo logran un rango entre el 21% al 54% de la resistencia normal. Los resultados

muestran una tendencia creciente en la relación T-Ca/Si y la resistencia a la compresión (ver Fig. 4).

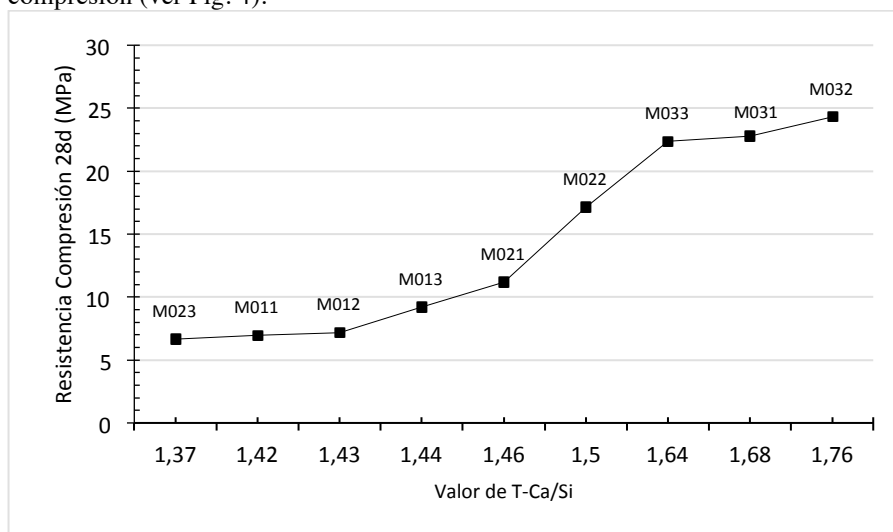


Fig. 4 Resistencia a la compresión en relación al valor de T-Ca/Si

Por otra parte, en relación a la valoración de residuos de diferentes fuentes para la fabricación de hormigones reciclados, los resultados de la tercera familia de muestras presentan los valores más altos de T-Ca/Si en relación a otros grupos, esto se puede atribuir al tipo del residuo, en este caso residuos de mortero adhesivo usado en alicatados. Los productos prefabricados indudablemente poseen mejores procesos para verificar la calidad del material además de dosificar y mezclar los componentes de acuerdo a valores probados en laboratorio, también tienen ventaja de poseer un mayor contenido de materia prima rica en CaO por los requerimientos propios del material. Para el resto de muestras obtenidas en este estudio (residuos de mortero y hormigón), los resultados ensayados en la mayoría presentan pocas variaciones, esto puede atribuirse en parte a la preparación manual del c hormigón y mortero, debido a que la dosificación para mezclas de materiales no es tan precisa. Esta condición no es necesariamente negativa para el reciclaje de estos residuos, ya que debido a tener ratios de Ca/Si muy similares, podrían considerarse dentro del mismo grupo y atenderse como una sola variedad de residuos de hormigón, en cambio, para el caso de los morteros especiales como los adhesivos, es necesario tenerlos en cuenta en procesos de demolición selectiva, debido a que tienen mayor facilidad de responder positivamente a procesos de calcinación, aunque su uso directo no es recomendable y al igual que otros tipos de residuos de hormigón, debe ajustarse a un diseño de mezcla en combinación a otros componentes de características cementicias.

3 Conclusiones

En esta investigación se ha estudiado como el FMRC proveniente de diferentes fuentes es combinado con cemento Portland normal para observar su influencia en la resistencia a compresión de probetas de mortero. El trabajo denota las siguientes conclusiones:

1. El uso de directo de FMRC en combinación con cemento portland normal, en todos los casos de estudio reduce la resistencia a la compresión de los probetas, incluso en un radio de 30%, por lo cual no es recomendable usarlo directamente en la mezcla para fabricar mortero o hormigón reciclado. La investigación continúa analizando las muestras M031, M032 y M033, cuyos resultados a esfuerzos de compresión fueron significativos, cambiando el radio de FMRC de 30% a 20%, los resultados de esta experimentación se mostrarán en una nueva investigación.
2. Las probetas fabricados con FMRC proveniente de residuos de hormigón y mortero, alcanzan resistencias a la compresión en un rango de 21% a 54%, aunque la mayoría se mantiene en un promedio del 23%, se evidencia que las diferencias de resistencia tienen relación directa con el contenido de CaO presente en los residuos.
3. En el estudio se evidencia que los procesos térmicos aplicados a residuos de mortero y hormigón tienen relación con el radio T-Ca/Si, ya que entre mayor sea esta relación, se afecta menos a la resistencia a la compresión de los probetas.
4. Los residuos de morteros adhesivos, por su mayor contenido de CaO, tienen mejores cualidades para ser reciclados en torno a la fabricación de morteros u hormigón reciclados.
5. Los FMRC provenientes de residuos de hormigón y mortero fabricados manualmente muestran condiciones similares, por lo tanto pueden ser clasificados dentro de un mismo grupo y ser sujetos a procesos de reciclaje.
6. Los procesos de tratamiento térmico de FMR deben ser ajustados teniendo en cuenta la relación T-Ca/Si original de las muestras, ya que valores reducidos de esta relación podrían dificultar significativamente el reciclaje de este material para la fabricación de nuevos morteros o hormigones.
7. El proceso descrito en esta comunicación muestra experimentación con muestras pequeñas en laboratorio. Confirmados los resultados y valoradas otras alternativas en curso de experimentación, se procederá a realizar un completo análisis de costes a fin de hacer una estimación comparativa con otras alternativas de reciclaje de cemento.

Referencias

- Castellote, M., Alonso, C., Andrade, C., Turrillas, X., & Campo, J. (2004). Composition and microstructural changes of cement pastes upon heating, as studied by neutron diffraction. *Cement and Concrete Research*, 34 (9), 1633-1644
- EHE-08 (2008). Instrucción para el proyecto y la ejecución del hormigón estructural. Anejo 15: hormigón reciclado. Ministerio de Fomento. España
- Farage, M. R., Sercombe, J., & Gallé, C. (2003). Rehydration and microstructure of cement paste after heating at temperatures up to 300°C. *Cement and Concrete Research* 33, 1047–1056
- García, C. T. (2012). Hormigón reciclado de aplicación estructural, durabilidad en ambiente marino y comportamiento a fatiga. Dissertation, Universidad de Cantabria
- HaGa, K., Shibata, M., Hironag, M., Tanaka, S., & Nagasaki, S. (2002). Silicate anion structural change in calcium silicate hydrate gel on dissolution of hydrated cement. *Journal of Nuclear Science and Technology*, Volume 39, 5, 540-547
- INEC (2010). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Censo de población y vivienda. Quito. Ecuador
- Kwon, E., Ahn, J., Cho, B., & Park, D. (2015). A study on development of recycled cement made from waste cementitious powder. *Construction and Building Materials* 83, 174-180
- NTE INEN 488 (2009) Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito, Ecuador
- NTE INEN 2380 (2011) Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito, Ecuador
- Okada, Y., Sasaki, K., Zhong, B., Ishida, H., & Mitsuda, T. (1994). Formation processes of b-C2 S by the decomposition of hydrothermally prepared C–S–H with Ca (OH) 2. *J Am Ceram Soc* 77(5), 1319–1323
- Oksri-Nelfia, L., Mahieux, P., Amiri, O., Turcry, P., & Lux, J. (2016). Reuse of recycled crushed concrete fines as mineral addition in cementitious materials. *Mater Struct* 49, 3239–3251
- Pedro, D., de Brito, J., & Evangelista, L. (2014). Influence of the use of recycled concrete aggregates from different sources on structural concrete. *Construction and Building Materials* 71, 141-151
- Rui, Y., Zhonghe, S., & Jun, D. (2013). Using dehydrated cement paste as new type of cement additive. *Materials Journal* 110, 4, 395-402.
- Shui, Z., Yu, R., & Dong, J. (2011). Activation of fly ash with dehydrated cement paste. *ACI Materials Journal*, 108, 2, 204-208.
- Shui, Z., Xuan, D., Wan, H., & Cao, B. (2008). Rehydration reactivity of recycled mortar from concrete waste experienced to thermal treatment. *Construction & Building Materials*, V. 22, No. 8, 1723-1729

- Shui, Z., Xuan, D., Chen, W., Yu, R., & Zhang, R. (2009). Cementitious characteristics of hydrated cement paste subjected to various dehydration temperatures. *Constr.Build.Mater.* 23, 1, 531-537
- Tam, V. W., & Tam, C. (2008). Diversifying two-stage mixing approach (TSMA) for recycled aggregate concrete: TSMA and TSMA^{sc}. *Construction and Building Materials* 22 , 2068–2077
- Xinwei, M., Zhaoxiang, H., & Xueying, L. (2010). Reactivity of dehydrated cement paste from waste concrete subject to heat treatment. *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies* (June 2010). Ancona-Italia: Coventry University and the University of Wisconsin Milwaukee
- Zhang, Q., & Ye, G. (2011). Microstructure analysis of heated Portland cement paste. *Procedia Engineering* 14, 830-836
- Zonghui, Z., Jinbang, W., Decheng, Z., Xuexu, Z., & Xiuzhi, Z. (2012). Study on preparing process for a recycled concrete. *Procedia Engineering* 27, 357 – 364.

Agradecimientos

Los autores reconocen el apoyo y gestión para la realización de este trabajo a la profesora PhD. Sofía Sanz González, que se desempeñó en el cargo de Directora del Departamento de Arquitectura y Arte en la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). También se agradece a la UTPL y a quienes la representan por el apoyo y disposición de los laboratorios y equipos necesarios para la realización de la fase experimental.