

# APROVECHAMIENTO DE FIBRAS DE NEUMÁTICO FUERA DE USO EN COMPOSITOS CON BASE CEMENTO PÓRTLAND APLICADOS EN EDIFICACIÓN

EDWIN GUDIEL<sup>1,2</sup>, JORDI PAYÀ<sup>1</sup>, VICTORIA BORRACHERO<sup>1</sup>, JOSÉ MARÍA MONZÓ<sup>1</sup>

---

## RESUMEN.

Los neumáticos fuera de uso (NFU) y su gestión es un problema en muchos de los países del mundo, y más aun de países en vías de desarrollo como Perú, por la falta de una recogida selectiva y un adecuado sistema de gestión.

El catalizador gastado de craqueo catalítico (FCC) es un residuo producto de la industria del petróleo y se puede obtener de las refinerías de PetroPerú.

Se experimentaron morteros de cemento portland con incorporación de fibras de neumático (FN) como sustituto de árido (silíceo y calizo) en un porcentaje de 25% en volumen y morteros con 100% FN. Los resultados obtenidos manifiestan una pérdida de trabajabilidad y los ensayos realizados muestran que este material puede usarse en aplicaciones constructivas, mejorando sus propiedades térmicas y alcanzando valores de resistencia a compresión que varían desde 25.68 a 9.30 MPa. valores aceptables para poder fabricar unidades de albañilería.

El uso de fibras de neumático (FN) dentro de morteros de cemento portland (CP) y CP-FCC como materia prima, puede ser una buena alternativa ecológica y así obtener elementos prefabricados no convencionales de bajo coste económico y medio ambiental.

**PALABRAS CLAVE:** Fibra de neumático, FCC, Conductividad Térmica, SEM.

## ABSTRACT.

Tires out of use (NFU) and its management is a problem in many countries of the world, and even developing countries like Perú, for lack of separate collection and proper management system.

fluid catalytic cracking catalyst (FCC) a waste product of the oil industry and can be obtained from refineries PetroPerú.

Portland cement mortars were experienced with tire incorporating fibers (FN) as a substitute for aggregate (siliceous limestone) in a proportion of 25% by volume and 100% mortars FN.

The results show a loss of workability and trials show that this material can be used in construction applications improving their thermal properties and reaching compressive strength values ranging from 25.68 to 9.30 MPa. Acceptable values to produce masonry units.

The use of tire fibers (FN) in Portland cement mortars (CP) and CP-FCC feedstock can be a good ecological alternative and obtain unconventional precast low economic and environmental cost.

**KEYWORDS:** Fiber tire, FCC, Thermal Conductivity, SEM.

---

1 Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH). Universitat Politècnica de València. Camino de Vera S/N. 46022, Valencia, España.

2 Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Av. de La Cultura 733, PB 921, Cusco, Perú.

## INTRODUCCIÓN

En la cumbre para el Desarrollo Sostenible, que se llevó a cabo en septiembre de 2015, los estados miembros de la ONU aprobaron la agenda 2030 para el desarrollo sostenible, que incluye un conjunto de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para poner fin a la pobreza, luchar contra la desigualdad y la injusticia, y hacer frente al cambio climático.

(<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> fecha de consulta 22 septiembre 2016). La construcción como actividad transversal tiene vinculación con una buena parte de los ODS, si bien más directamente con el ODS 1 fin de la pobreza, y más concretamente la “pobreza de vivienda”, que es una de las formas más significativas de pobreza. Esta “pobreza de vivienda” estaría directamente relacionada con el ODS 11 ciudades y comunidades sostenibles. No es posible un desarrollo sostenible sin transformar radicalmente la forma en la que construimos. La investigación que se presenta pone de manifiesto el interés de la utilización de materiales de construcción más sostenibles, como son los composites con fibra de neumático fuera de uso. El ODS 12 producción y consumo responsable, busca la reducción de la huella ecológica mediante un cambio de los métodos de producción, la reducción y reciclado de los desechos, así como apoyar a los países en desarrollo a avanzar hacia patrones sostenibles de consumo. La investigación realizada incide directamente en estos puntos, ya que la puzolana empleada, el FCC, son materiales residuales y la fibra de neumático fuera de uso obtenida en el proceso de recauchutado también lo es. Finalmente, el ODS 13 acción por el clima pone de manifiesto que las que las emisiones de gases de efecto invernadero continúan aumentando y hoy son un 50% superior al nivel de 1990. Debemos tener en cuenta, que uno de los principales gases de efecto invernadero es el dióxido de carbono, y que la industria del cemento portland genera entre el 5 y 7% del total de dióxido de carbono emitido a la atmósfera, por lo que se trata de una actividad muy contaminante. La sustitución parcial del cemento portland por puzolanas como el FCC, supone una reducción de la huella de carbono.

El progresivo aumento de la cantidad de residuos de caucho producto a partir de neumáticos fuera de uso se ha traducido en un problema ambiental. Según los informes de las mayores asociaciones de fabricantes de neumáticos y productos de caucho, la producción anual mundial de neumáticos es alrededor de 1,4 billones de unidades, lo que corresponde a un estimado de 17 millones de toneladas de neumáticos usados cada año[3]. Los países de la región de América Latina y el Caribe no son ajenos a esta problemática. La implementación de programas de manejo adecuado de llantas usadas es un aspecto de prioritaria atención

en especial por la necesidad de proteger la salud de la población ante el riesgo del continuo rebrote de enfermedades como el dengue, la fiebre amarilla o la encefalitis. Como es sabido, las llantas usadas son uno de los sitios preferidos para que los zancudos depositen sus larvas, convirtiéndose en una importante vía para su proliferación, lo cual da como resultado el rebrote de la epidemia del dengue, tal como se registra en la mayoría de países de la región.

En este estudio, se analiza la valorización material de FN como agregado ligero en composites de cemento pórtland y composites con un 15% de sustitución de CP por FCC, se evaluaron las propiedades físicas, mecánicas y de conductividad térmica. Estudios previos realizados en hormigones de cemento portland y con caucho demostraron una disminución de la densidad aparente en seco a medida que aumentan los contenidos de partículas de neumático. Además, han identificado una pérdida de resistencia mecánica, en resistencia de flexión y compresión, Este efecto se puede atribuir a la poca o nula adherencia entre la matriz de cemento y el caucho. Propiedades de tipo térmico también fueron analizadas en esta investigación al igual que en otros trabajos se reveló que la FN reduce los valores de conductividad térmica de los morteros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se fabricaron morteros de cemento pórtland con una relación agua / cemento (a/c) de 0,5 y árido/cemento (ar/c) de 3, ambos en peso. El material usado como sustitución del cemento en un 15% es el catalizador gastado de craqueo catalítico FCC, aluminosilicato con una alta reactividad puzolánica, con una densidad de 2,44 g/cm<sup>3</sup> y un diámetro de partícula de 17,1 micras.

El cemento utilizado en pastas y morteros es cemento portland tipo CEM I-52,5 R de la empresa Lafarge, que cumple con requisitos de la norma EN 197-1:2011 y su composición química y pérdida al fuego se muestran en la Tabla 1.

Las fibras de neumático (FN) fueron producidas en el proceso de raspado previo al recauchutado del neumático. Podemos distinguir dos fibras diferentes en función del tipo de neumático utilizado, fibras de camión (FC) y fibras de turismo (FT). Se usa fibras retenida por la malla # 0,63 mm siguiendo la normativa UNE - EN 196-1. Se muestra en la Fig.1

**Tabla 1.**  
Composición química del CP y FCC en porcentaje % en peso

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	PF
CP	20,3	4,51	4,71	64,32	1,18	1,67	0,97	0,07	0,15		2,02
FCC	47,76	49,26	0,6	0,11	0,17	0,02	0,02	0,31	0,01	1,22	0,51



**Figura 1.**

Fibra de neumático (a) FC, (b) FT.

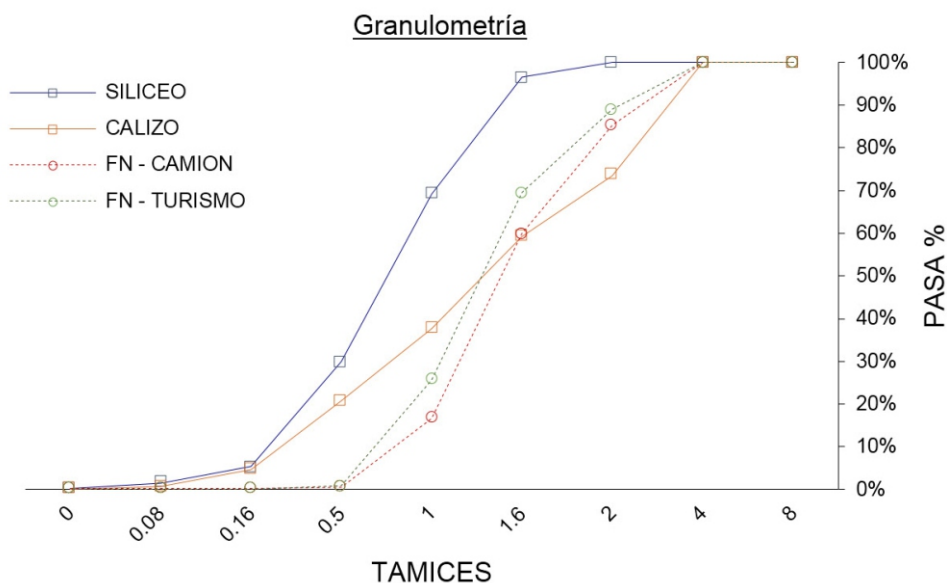
Los áridos empleados para la realización de los morteros fueron árido silíceo y árido calizo y la granulometría ha sido analizada por tamizado según la serie de luces de malla de la normativa UNE - EN 196-1.[10] Para determinar la densidad de los áridos se usó el método del picnómetro para las partículas comprendidas entre 0,063 mm y 4 mm - UNE -EN 1097-6, [11]obteniendo una densidad para el árido silíceo igual a = 2,54 g/cm<sup>3</sup> y árido calizo = 2,60 g/cm<sup>3</sup>

En el caso de las fibras de neumático, se determina la densidad por diferencia de volumen desplazado usando acetona como fluido. La densidad obtenida para la FN fue de 1,25 g/cm<sup>3</sup>

Las distribuciones de tamaño de partícula de los agregados utilizados en este trabajo se muestran en la Fig. 2.

Se realiza una amasadas por cada tipo de mortero de acuerdo con la norma EN-196-1 [10], con cantidad suficiente para confeccionar 3 probetas de 40x40x160 mm<sup>3</sup>. Las probetas se conservaron en una cámara húmeda, a 20 °C y 100% de humedad relativa durante 7 y 28 días elaborados en función del contenido en porcentaje de FN (FN25) que corresponden a una sustitución de árido silíceo y árido calizo por FN del 25% en volumen, respectivamente. Para resaltar aún más las propiedades de los morteros con FN, se hizo un mortero control con árido silíceo (CTRLSIL) y otro mortero control con árido calizo (CTRLCAL) de acuerdo con la norma EN-196-1 [10]. Además, se elaboró otro mortero con 100% de FN, sin áridos donde las relaciones en volumen CP/FN y CP- FCC /FN fue 2/1. Análogamente se preparó otra serie de morteros sustituyendo un 15% del CP por FCC.

En la tabla 2 se muestra un resumen de las dosificaciones de los morteros fabricados.



**Figura 2.**

Distribuciones de tamaño de partículas para FN (FC-FT) y árido silíceo y calizo, según norma (EN 196-1).

## 2.2. Procedimiento experimental

Luego del curado se determina el peso saturado y seco de cada muestra, tras la inmersión en agua durante 24 horas y su posterior secado en estufa a 60<sup>o</sup> hasta alcanzar una masa constante. Se obtuvo la resistencia mecánica, en el entorno de control de desplazamiento a una velocidad de 1 mm / min, con una máquina de ensayo universal (Instron modelo 3382). Se realizaron los test de conductividad térmica usando el equipo C-THERM TCI. Este método permite estimar la conductividad térmica del material en un intervalo

comprendido entre de 0.2 y 29 W/mK. Finalmente se seleccionaron fragmentos producto de las pruebas mecánicas y se examinaron por microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (SEM) modelo ULTRA 55 de la marca ZEISS, permite trabajar a muy bajos potenciales, (0.02-5 kV). La preparación de muestras para la visualización en este equipo, necesita ser recubierto mediante un equipo de alto vacío, modelo EM MED020 de la marca LEICA.

Tabla 2.  
Dosificaciones de los morteros.

TIPO	CP (g)	AGUA (0,5) (g)	FN(g)	ARIDO (g)	TIPO	CP (g)	FCC (g)	AGUA (0,5) (g)	FN(g)	ARIDO (g)
CTRLSIL CP			0	1350	CTRLSIL CPFCC				0	1350
CTRLCAL CP					CTRLCAL CPFCC					
FCSIL25 CP			166,16		FCSIL25 CPFCC				166,16	
FCCAL25 CP	450	225	162,55		FCCAL25 CPFCC	382,5	67,5	225	162,55	
FTSIL25 CP			166,16	1012,5	FTSIL25 CPFCC				166,16	1012,5
FTCAL25 CP			162,55		FTCAL25 CPCC				162,55	
FC 2/1 CP	675,00	337,50	281,25	0	FC 2/1 CPFCC	573,75	101,25	337,50	281,25	0

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización en estado fresco. Trabajabilidad

La determinación de la trabajabilidad se realiza según el procedimiento descrito en la norma EN 1015-3[12]. Según los ensayos de trabajabilidad realizados en todas las series podemos observar en la figura 3 que la incorporación de FN disminuye la trabajabilidad del mortero durante el amasado. Adicionalmente se constata que la sustitución de un 15% de CP por FCC, también reduce la trabajabilidad. En todos los casos se observa que la trabajabilidad de los morteros con árido silíceo es superior a la trabajabilidad de los morteros con árido calizo.

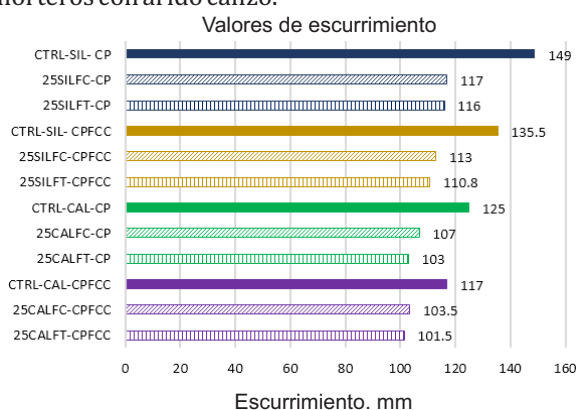


Figura. 3.

Valores de escurrimiento en la mesa  
de sacudidas EN 1015-6.

### Densidad aparente en seco y absorción de agua.

En la Fig. 4 están representados los valores de densidad aparente en seco (Dap) y absorción de agua en % (Abs) respectivamente de los morteros CTRL (sin FN) y con sustitución parcial de los áridos silíceo y calizo por FN. Se puede extraer que la Dap disminuye con el aumento de la sustitución de áridos por FN, ya que la densidad del agregado silíceo y calizo es dos veces mayor que la densidad de FN [13]. En todos los casos, los valores de absorción son más altos, que los obtenidos para los morteros control. El efecto causado por el FCC solo se aprecia en los morteros de árido silíceo, teniendo morteros con mayor densidad que los morteros de CP, producto también que la granulometría del árido calizo contiene mayor cantidad finos. De la misma forma se observa el efecto causado por el FCC en los valores de absorción, reduciendo los valores de absorción de todos los morteros.



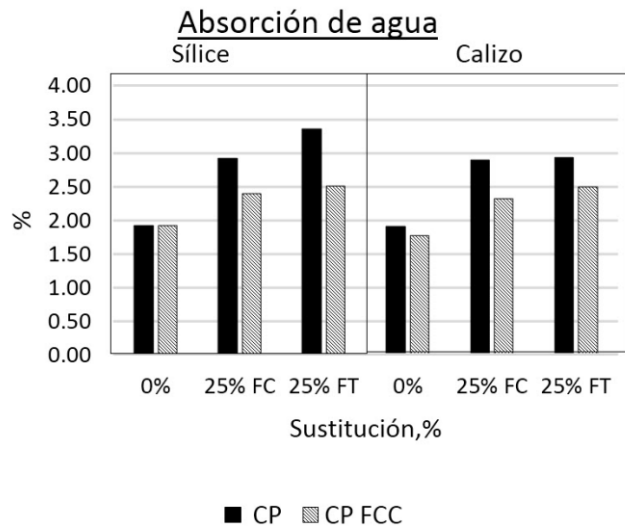


Figura 3. Absorción del agua

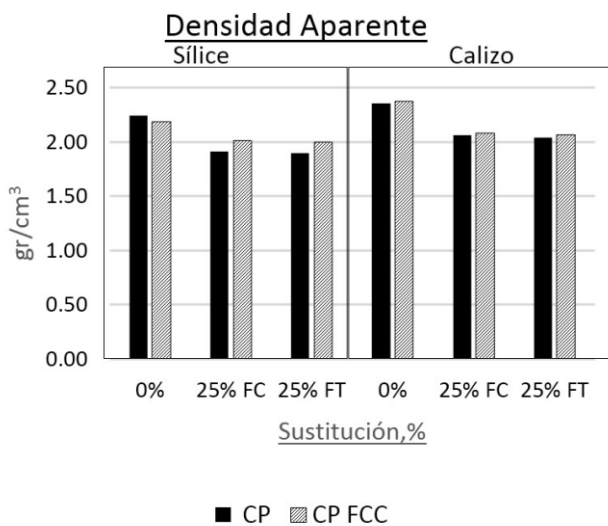


Figura 4. Densidad aparente en seco. Absorción en porcentaje.

### Propiedades mecánicas

En la Fig. 5. se incluyen los valores de resistencia a flexión y compresión de los morteros con árido silíceo y calizo, así como el mortero con 100 % de FN. Los resultados muestran que la incorporación de FN causa pérdida significativa sobre la resistencia mecánica. En los morteros sin árido la resistencia a flexión y compresión disminuye lógicamente respecto de los que, si lo contienen, presentando mejores valores de resistencias el mortero con relación pasta FN de 2/1. En la mayoría de los casos, tanto en los morteros que contienen árido como en los que son 100% FN, la presencia de FCC muestra que se produce un incremento en los valores de resistencia (Rf -Rc) a los 28 días de curado.

### Conductividad térmica

En este ensayo se realizaron muestras usando sólo FC en los morteros. Los resultados de conductividad térmica se registran en la Tabla 3. Se muestra que el aumento de la cantidad de FC disminuye la conductividad térmica de los morteros. Para los morteros con sustitución parcial de árido silíceo y calizo por FC alcanzan una conductividad térmica menor que la de los morteros control (CTRLCAL - CTRLSIL) y similares a los que muestra el catálogo de elementos constructivos del CTE ( $\lambda = 1,9$  a  $0,97$  W / (m K)). Los morteros con árido calizo registran menores valores de conductividad térmica que los morteros con árido silíceo, esto por la razón que el árido calizo tiene menor conductividad térmica que el árido calizo[13]. Por otra parte, los morteros que contienen solamente FC, los valores se encuentran muy cerca de la franja intermedia habitual para el hormigón con arcilla expandida ( $\lambda = 0,76$ - $0,27$  W / (m K)). El uso de FCC en estos morteros muestra un descenso con respecto a los valores alcanzados en los morteros con CP. Estos resultados pondrían de manifiesto el interés del uso de la FN en la preparación de composites con una baja conductividad térmica.

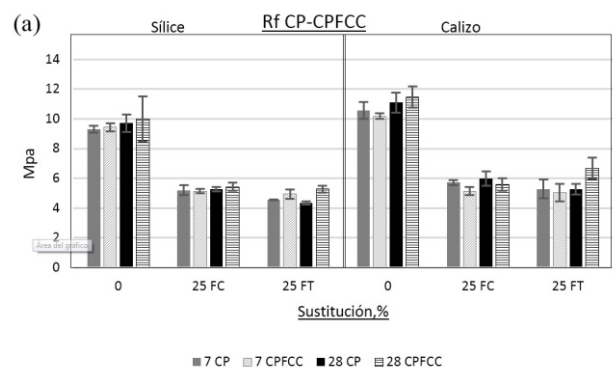
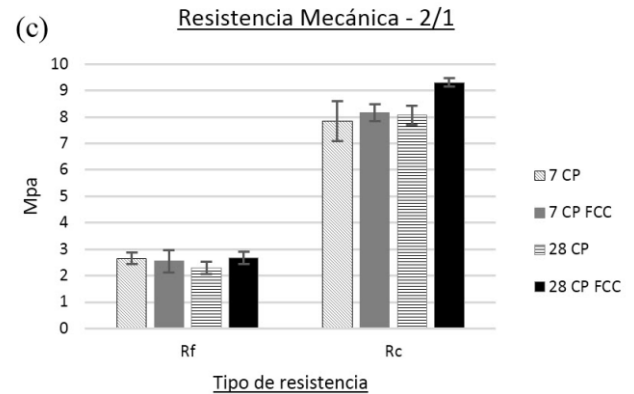
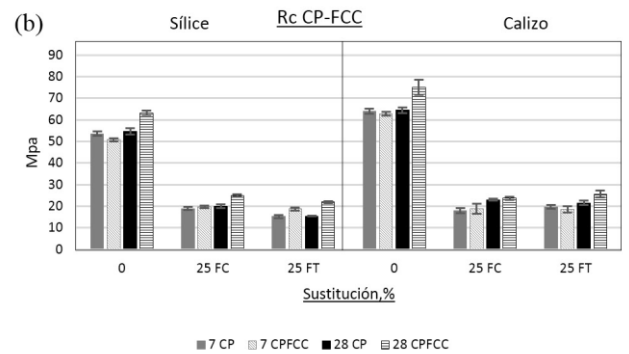


Figura 5.

Propiedades mecánicas de los morteros con árido silíceo y calizo con incorporación de FN: (a) flexión (b) compresión. (c) flexión y compresión del mortero con 100% FN.

### Aplicación constructiva

Los edificios para mejorar sus prestaciones de consumo energético, necesitan ser construidos con elementos que tengan cada vez menores valores de conductividad térmica. Es así que, diseñar elementos de albañilería y elementos no estructurales con estos morteros que contienen FN reduce los valores de conductividad térmica. En la Tabla 4. Se muestra el cálculo de Transmitancia térmica (U) de un muro de fachada de bloque de hormigón usando valores de conductividad térmica registrados en el catálogo de elementos constructivos del CTE. Se observa que los valores obtenidos en los morteros FC2/1 CP y FC2/1 CPFCC usados en un bloque de hormigón y aplicados en un muro de las mismas características, obtiene menores valores de conductividad térmica y por ende menores valores de Transmitancia térmica (U).

**Tabla 3.**  
Conductividad térmica de las pruebas

CONDUCTIVIDAD TERMICA $\lambda$		
	CP	CP FCC
Muestra	$\lambda$ (W / mK)	$\lambda$ (W / mK)
CTRL SIL	2,173 ± 0,138	1,600 ± 0,112
25% SIL	1,503 ± 0,081	1,355 ± 0,151
CTRL CAL	1,601 ± 0,115	1,487 ± 0,054
25% CAL	1,194 ± 0,013	1,165 ± 0,130
2/1 C FN	0,967 ± 0,072	0,939 ± 0,084

		CP + Árido		CP + Árido + FN		CP FCC + Árido + FN	
Capa	Espesor (m)	Conductividad térmica $\lambda$ (W /mK)	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K /W)	Conductividad térmica $\lambda$ (W /mK)	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K /W)	Conductividad térmica $\lambda$ (W /mK)	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K /W)
EN	Enlucido de cemento	0,020	1,800	0,01	1,800	0,01	1,800
BC	Bloque de concreto	0,120	<b>1,180</b>	0,10	<b>0,967</b>	0,12	<b>0,939</b>
TC	Tarrajeo de cemento	0,015	1,800	0,01	1,800	0,01	1,800
AIS	Aislamiento térmico	0,050	0,039	1,28	0,039	1,28	0,039
PY	Placa de yeso	0,015	0,250	0,06	0,250	0,06	0,250
		U=	<b>0,683</b>	U=	<b>0,673</b>	U=	<b>0,671</b>

Tabla 4.

Cálculo de Transmitancia térmica (U) en muro de bloque de hormigón. Valores de conductividad térmica ( $\lambda$ ) usados del catálogo de elementos constructivos del CTE [13].

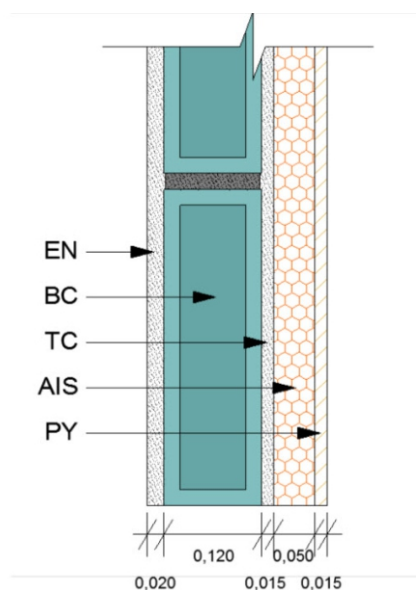


Figura 6.

Fachada de bloque de hormigón con aislamiento en el interior

### Caracterización SEM

La caracterización microestructural observada por microscopía electrónica de barrido expone unas micrografías SEM mostrando la zona de transición de la interface para los morteros Fig.7. 25SILFC-CP (a-b) de 28 días de curado donde se puede observar la huella de los poros en la matriz alrededor de las partículas de la FC, los cuales afectan directamente a la perdida de resistencia del mortero. En las Fig.7. 25CALFC –CPFCC (c-d) la presencia de FCC reduce la presencia de poros en la matriz.

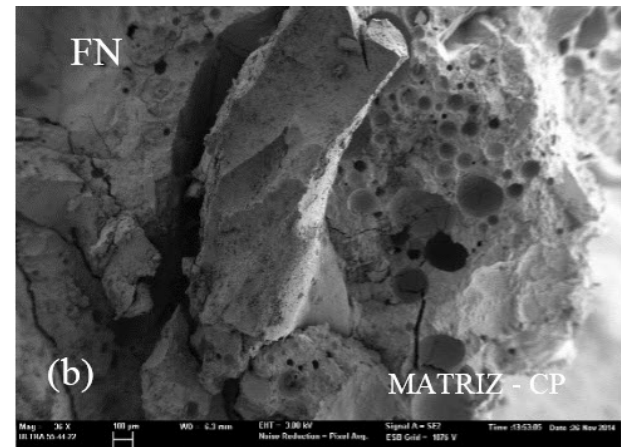
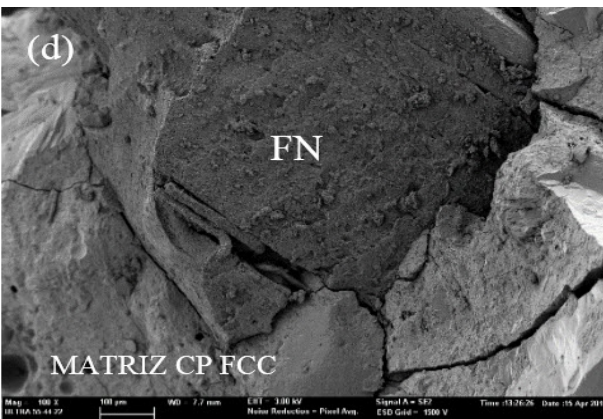
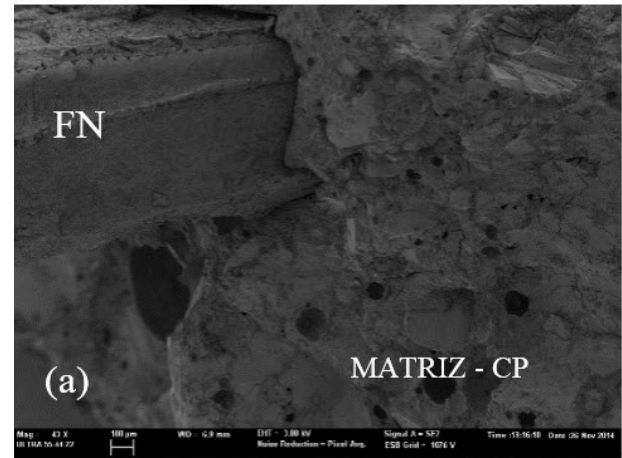
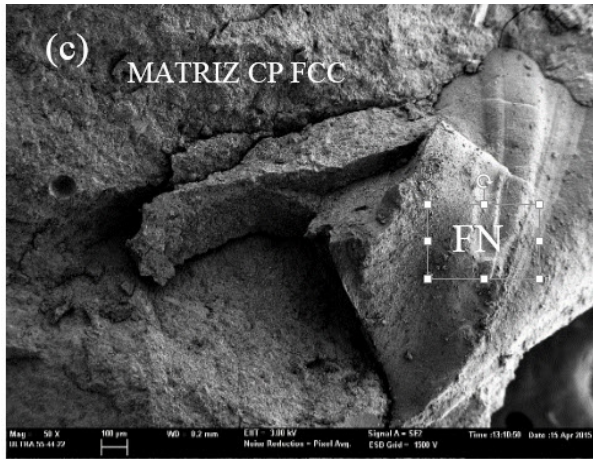


Figura 7.

SEM micrografías, morteros 25SILFC CP (a-b) 25CALFC CP-FCC (c-d)

## CONCLUSIONES

El uso de FN como agregado en morteros de CP y CP FCC provocó una reducción de la densidad aparente en seco y un aumento de la absorción de agua, en comparación con los valores obtenidos para los morteros CTRL de referencia. Valores que se encuentran entre 2,04 y 2,07 g/cm<sup>3</sup>

La resistencia a la compresión de los morteros se redujo de forma considerable al sustituir árido por FN. La sustitución total de árido por FN en proporción FN/pasta 2/1, produjo morteros con una resistencia a compresión de 9.30 MPa.

La conductividad térmica se redujo al sustituir el árido por FN. En los morteros en los que se sustituyó la

totalidad del árido por FN en una proporción FN/pasta 2/1 la conductividad térmica se redujo hasta = 0,939 W/(mK).

El uso de FN procedente de NFU en composites con base CP, mejoran las propiedades térmicas de estos materiales con el consiguiente ahorro energético.

De forma general podemos concluir que el material estudiado es más sostenible que los materiales convencionales y permite la gestión de residuos producidos en grandes cantidades.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

J. Melorose, R. Perroy, and S. Careas, "Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe," *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, vol. 1, p.

<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivo>, 2015.

Organización de las Naciones Unidas, "Proyecto de documento final de la cumbre de las Naciones Unidas para la aprobación de la agenda para el desarrollo

después de 2015," *Africa (Lond)*, vol. 17852, no. 10, pp. 1–17, 2010.

M. Sienkiewicz, J. Kucinska-Lipka, H. Janik, and A. Balas, "Progress in used tyres management in the European Union: A review," *Waste Manag.*, vol. 32, no. 10, pp. 1742–1751, 2012.

A. Cantanhede and G. Monge, "Estado del arte del manejo de llantas usadas en las américas," *Div. Salud y Ambiente*, p. 41, 2002.

J. N. Eiras, F. Segovia, M. V. Borrachero, J. Monzó, M. Bonilla, and J. Payá, "Physical and mechanical properties of foamed Portland cement composite containing crumb rubber from worn tires," *Mater. Des.*, vol. 59, pp. 550–557, 2014.

A. R. Khaloo, M. Dehestani, and P. Rahmatabadi, "Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire-rubber particles," *Waste Manag.*, vol. 28, no. 12, pp. 2472–82, Dec. 2008.

R. Siddique and T. R. Naik, "Properties of concrete containing scrap-tire rubber--an overview," *Waste Manag.*, vol. 24, no. 6, pp. 563–9, Jan. 2004.

S. Herrero, P. Mayor, and F. Hernández-Olivares, "Influence of proportion and particle size gradation of rubber from end-of-life tires on mechanical, thermal and acoustic properties of plaster-rubber mortars," *Mater. Des.*, vol. 47, pp. 633–642, 2013.

AENOR, "EN 197-1. Parte 1: composición especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes," pp. 23–26, 2011

AENOR, "EN 196-1:2005. Methods of testing cement. Determination of strength."

AENOR, "EN 197-6:2014. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos." 2010.

AENOR, "UNE-EN 1015-3:2000. Métodos de ensayo para morteros de albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas)." pp. 3–5.

Ministerio de Fomento. Gobierno de España, "Catálogo de elementos constructivos del CTE," vol. 3, p. 141, 2010.

#### **CORRESPONDENCIA:**

NOMBRE: Edwin Roberto Gudiel

Jordi Paya

Victoria Borrachero

José María Monzó

DIRECCION: Universitat Politècnica de Valencia  
España

TELEFONO: 034-637314979

CORREO ELECTRONICO:grer39@hotmail.com