

AEMAC

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MATERIALES COMPUESTOS

**ACTAS DEL X CONGRESO NACIONAL DE
MATERIALES COMPUESTOS**

Algeciras, 2, 3, 4 y 5 de julio de 2013

Editores: A. Corz
A. Güemes

Universidad de Cádiz
Universidad Politécnica de Madrid

Nacomposites de SiC/nanofibra de carbono obtenidos mediante sinterización no convencional M.A. Mazo, C. Palencia, C. Merino, D. Soriano, A. Tamayo, F. Rubio, J. Rubio	285
Desarrollo in situ de nanocomposites de vidrio/nanofibra de carbono J. Sanguino, M.A. Mazo, M.A. Rodríguez, A. Tamayo, J. Rubio, J.L. Oteo	291
Dispersion and alignment of carbon nanotubes in nanodoped epoxy resins and in glass fiber composites using electric fields S.G. Prolongo, B. Gil, A. Jiménez-Suárez, A. Ureña	297
Development of a Low FST Hybrid Nanocomposite Javier Sacristan Bermejo, Carlos Sáenz, Gemma Ibartz	303
V BIOCOSMOS	
Influencia de las condiciones de curado y contenido en humo de sílice en las propiedades de matrices cementíceas reforzadas con fibras vegetales J. Claramunt, L. Fernández-Carrasco, M. Ardanuy	311
Estructuras no tejidas de fibras naturales como refuerzo para compuestos de cemento de elevada ductilidad J. Claramunt, H. Ventura, F. Parés, M. Ardanuy	317
Tolerancia al daño generado por impacto de biocomposites sumergidos en agua de mar F. Ramón, A. Lopez-Ariza, I. Sotes, J. Aurrekoetxea, M. Sarrionandia	323
Obtención de microfibrillas de celulosa a partir de fibras de yute y pasta blanqueada por procesos químico y físicos. R. Llano-Ponte, O. Gordobil, E. Robles, I. Urruzola, J. Labidi	329
Desarrollo de compuestos ecológicos basados en resina epoxi y cargas de carbonato cálcico derivado de conchas marinas D. García-García, L. Bernardi, V. Fombuena, T. Boronat, D. García-Sanoguera	335
Propiedades mecánicas del laminado furánico/basalto curado por microondas U. López de Vergara, K. Gondra, M. Sarrionandia, J. Aurrekoetxea	341
Composites basados en fibras de sisal y matriz de poli(ácido láctico) A. Arbelaiz, A. Orue, A. Jauregi, G. Mondragon, C. Peña, A. Eceiza	347
Composites de matriz inorgánica activada alcalinamente: uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar. J. L. Akasaki, J. L. P. Melges, J. Monzó, A. M. Pereira, M. V. Borrachero, M. M. Tashima, J. Payá	353

COMITÉ LOCAL

Gabriel Gonzáles Siles

Director de la Escuela Politécnica Superior de Algeciras

Francisco J. Trujillo Espinosa

Director Gerente de Fundación Campus Tecnológico de Algeciras

Alfonso Corz Rodríguez

Director del Grupo de Investigación TEP-157

Antonia Navarro Gutiérrez

Calpe Institute of Technology

Andrés Peña

Calpe Institute of Technology

Luis Alberto Palomares Michán

Fundación Campus Tecnológico de Algeciras

José María Gutiérrez Cabeza¹

Juan A. Martín García¹

Francisco Javier de los Santos Ramos¹

Jorge Oswaldo Veintimilla Alcas¹

Jesús Franco Oliva¹

Fidel Jorge Ruiz Torres¹

Miguel A. Caparrós Espinosa¹

Francisca Pérez García¹

Antonio Fernández Abasolo¹

Jorge F. Velasco López¹

¹ *Grupo de Investigación TEP-157*

Depósito Legal: CA-266-2013

I.S.B.N.: 978-84-616-4681-4

Imprime: Siagraf, S.L.L.

Año 2013

Esta publicación se encuentra bajo licencia *Creative Commons Attribution 3.0 Unported License*.

Para ver una copia de la licencia visitar: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/> o enviar una carta a Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California, 94041, USA.

Ilustración de la portada: fotografía cedida por J. Bonhomme y V. Mollón

Influencia de las condiciones de curado y contenido en humo de sílice en las propiedades de matrices cementíceas reforzadas con fibras vegetales

J. Claramunt,

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya–
Barcelona TECH, España

L. Fernández-Carrasco,

Departament de Construccions Arquitectòniques I. Universitat Politècnica de
Catalunya– Barcelona TECH, España.

M. Ardanuy

Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera. ETSEIAT. Universitat Politècnica de
Catalunya– Barcelona TECH, España.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es desarrollar compuestos de cemento reforzados con fibras vegetales que presenten una mayor durabilidad y que puedan curarse con tiempos cortos. Para ello se analizan la influencia de las condiciones de curado – en autoclave o en cámara estándar– y la adición de humo de sílice y fibras de sisal en la hidratación y resistencia de matrices de cemento portland.

PALABRAS CLAVE: curado en autoclave, compuestos de cemento, fibras vegetales, durabilidad, adiciones puzolánicas.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de las fibras vegetales para reforzar matrices frágiles como las de morteros de cemento constituye una interesante posibilidad que ofrece algunas ventajas frente al uso de otras fibras o refuerzos. Así, debido a sus propiedades mecánicas, las fibras vegetales pueden mejorar la ductilidad, flexibilidad y resistencia a la fractura del material compuesto resultante [1-4]. Además, debido a su bajo coste y abundancia así como su origen renovable pueden suponer una buena opción –para el desarrollo de materiales de construcción más respetuosos con el medio ambiente [5-8].

La producción industrial de los compuestos a base de cementos reforzados con fibras vegetales está actualmente limitada por su falta de durabilidad debido a la pérdida de prestaciones del material tras someterse a procedimientos de envejecimiento acelerado como los ciclos húmedo-seco [9]. Existen diversas posibilidades para mejorar dicha durabilidad, como por ejemplo cornificar las fibras vegetales previamente a su mezclado con el cemento [2] o bien reducir o eliminar el contenido de hidróxido de calcio de la matriz –responsable principal de la degradación de las fibras vegetales– incorporando adiciones puzolánicas. En este sentido, Tolêdo Filho et al. [11], usaron, entre otras, una adición de humo de sílice para precipitar el hidróxido de calcio de la matriz como

silicato de calcio hidratado para mejorar la durabilidad de morteros de cemento reforzados con fibras vegetales. Aunque esta vía parece efectiva para garantizar la durabilidad del material es necesario profundizar en las dosificaciones utilizadas para conseguir propiedades mecánicas similares a las obtenidas con el cemento portland.

Por otra parte, uno de los problemas en la fabricación de los materiales de construcción basados en cementos, son los largos tiempos de curado (normalmente de 28 días) ya que reducen la capacidad de producción. Es por ello que las empresas que trabajan con productos prefabricados, como los fibrocementos, generalmente someten a sus productos a condiciones especiales de curado en vapor a presiones elevadas –en autoclave– para reducir el tiempo de curado. Algunos ejemplos de productos industriales fabricados con esta técnica de curado en autoclave son planchas planas u onduladas para tejados y revestimientos, paneles de aislamiento o pequeñas piezas prefabricadas de hormigón entre otros. El curado en autoclave disminuye considerablemente el tiempo de curado de los materiales cementantes desde 28 días hasta unos pocos días u horas. Sin embargo las propiedades del material y su microestructura pueden verse afectados considerablemente por lo que se hace necesario estudiar en profundidad como afectan las condiciones de curado a dicho material.

Así pues, en el presente artículo, con el objetivo de desarrollar compuestos de cemento reforzados con fibras vegetales que presenten una mayor durabilidad y que puedan curarse con tiempos cortos, se analizan la influencia de las condiciones de curado – en autoclave o en cámara estándar– y la adición de sílice y fibras de vegetales del tipo sisal en la hidratación y resistencia de matrices de cemento portland.

2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

2.1 Materiales

Para preparar los compuestos se usó un cemento del tipo I según la normativa española UNE-EN 197-1:2000 que fue suministrado por Cemex España. Se usó humo de sílice para substituir un 10% en peso del cemento. Se utilizó además un fluidificante (Sika Viscocrete-3425 suministrado por Sika S.A.U.) para ayudar al mezclado con las fibras con una dosificación máxima de 40 g de fluidificante /1000 g de cemento (4% del peso de cemento).

Las fibras de Sisal (*Agave sisalana*), en forma de pasta química a la sosa-antraquinona, fueron amablemente suministradas por CELESA.

2.2 Preparación de las pastas y condiciones de curado

Con el objeto de analizar los efectos del humo de sílice y de las fibras en el proceso de curado, se prepararon varias series de pastas con cemento Portland (P) con y sin adición de humo de sílice (HS) y con y sin fibras vegetales (F). Las proporciones de mezclado se muestran en la Tabla 1. En la Tabla 2 se presenta un resumen de las condiciones de curado estudiadas para los diferentes grupos de pastas preparadas. Cada probeta preparada para cada uno de los 4 grupos de muestras fue sometida a todas las condiciones de curado que se detallan. Para el curado en autoclave las muestras fueron sometidas a 120°C y 1,5 atm. El proceso en las cámaras de curado fue realizado a 20°C±0,1 con una humedad relativa mayor del 90%.

Grupo de muestras	Cemento (g)	Humo de sílice (g)	Fibras (g)	Ratio inicial agua/cemento	Ratio final agua/cemento
P-HS_F	270	30	12	0.80*	0.42
P-HS	270	30	0	0.42**	0.42
P_F	300	0	12	0.80*	0.53
P	300	0	0	0.53**	0.53

*Estas pastas fueron preparadas con mayor contenido inicial de agua para facilitar la mezcla con las fibras de sisal.

** Estas pastas se realizaron con la misma relación A/C final de sus homólogas con fibras.

Tabla 1. Composición de las pastas preparadas

Referencia	Autoclave (h)	Cámara de curado (h)
A1	1	0
A2	2	0
A2+C7	2	7
A3	3	0
A4	4	0
A4+C7	4	7
C7	0	7
C28	0	28

Tabla 2. Referencias de las condiciones de curado de las pastas

Para preparar las muestras con fibras se utilizó el siguiente procedimiento: en primer lugar se dispersaron 12 g de fibras secas en 2 L de agua para después filtrar el conjunto obteniéndose una mezcla final al 12% en peso. En segundo lugar esta mezcla se incorporó a la lechada de agua y cemento. Con esta pasta se prepararon 8 muestras de las que se eliminó el exceso de agua usando un Kitasato conectado a vacío. El ratio final de agua/cemento dependió del agua eliminada en cada muestra, obteniéndose una media de 0.42 para las muestras preparadas con humo de sílice y de 0.53 para las que no incorporaban la adición puzolánica. Las probetas se vertieron en un molde de silicona y fueron curadas siguiendo las condiciones de la Tabla 2.

2.3 Caracterización de las pastas

Para determinar el grado de hidratación de las muestras una vez sometidas a los diferentes procesos de curado, en primer lugar se procedió a detener las reacciones de hidratación siguiendo la siguiente metodología: molido de las muestras mediante molino de jarros durante 5 minutos seguido de desecado en acetona durante 40 segundos para posteriormente secar las muestras con alcohol isopropílico. Una vez detenida la reacción de hidratación, las muestras se almacenaron en un armario seco hasta su análisis. La determinación del grado de hidratación se llevo a cabo mediante Espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier (FTIR).

La resistencia de las pastas curadas fue determinada con ensayos de microidentación. Para ello, una vez desmoldadas se sumergieron en alcohol isopropílico durante 7 días y

después fueron pulidas para obtener probetas con caras paralelas. Los ensayos de fueron llevados a cabo usando un indentador Vickers (Duramin Microhardness Tester), aplicando un peso de 4g durante 5 segundos. Para cada muestra se realizaron 20 indentaciones en una retícula de 5x4 con separaciones de 0,5 mm entre cada una.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Grado de hidratación

La Figura 1 muestra los espectros FTIR de las pastas de cemento portland con y sin humo de sílice analizadas tras diferentes condiciones de curado. El primer aspecto a detallar de los resultados obtenidos mediante el análisis por espectroscopia FTIR se refiere al curado de las muestras. Mientras que en el curado en autoclave no se observan grandes diferencias en cuanto al desarrollo de fases, es decir, se detectan las mismas fases y en proporción similar, principalmente gel CSH y portlandita, el curado en cámara durante 7 y 28 días da lugar a mayor formación de los hidratos mencionados. Por otra parte, la carbonatación de las muestras en cámara de curado a presión ambiental se ve favorecida.

En las muestras que contienen humo de sílice se comprueba la reacción puzolánica entre la portlandita y el humo de sílice, no detectándose la presencia de aquella fase en las muestras curadas en autoclave. Sin embargo, para las muestras curadas en cámara, se observa una señal poco intensa de portlandita, lo que indicaría un proceso de hidratación posterior. Así pues, se comprueba la ausencia o casi ausencia de portlandita en las muestras con humo de sílice, lo que favorecería la durabilidad del material.

Por último cabe decir que la presencia de sisal no parece alterar el proceso de hidratación de las matrices cementantes.

3.2. Resistencia

En la Fig. 2 se presenta la evolución de la dureza Vickers para los diferentes compuestos preparados en función de las condiciones de curado. Tal como se desprende de dicha Figura, los mayores valores de dureza se obtienen para los materiales curados en cámara convencional, siendo la dureza mayor para los curados durante 28 días. Respecto a los materiales curados en autoclave y combinaciones de autoclave-cámara de curado convencional, a partir de las 2 horas en autoclave no se aprecia un incremento significativo de la dureza, manteniéndose en valores similares independientemente de si el curado se hace durante 3 o 4 horas en autoclave o si se añaden 7 días en cámara convencional. Por otra parte, y de forma general, se observa que los valores de dureza del grupo de muestras con humo de sílice son superiores a los que no tienen la adición puzolánica. En cuanto al efecto de las fibras, para los compuestos que las contienen se observa una reducción de la dureza respecto al material sin fibra. Esto último podría ser atribuido a que en algunas de las medidas el microindentador este penetrando sobre una fibra en vez de sobre la matriz, lo cual hace que disminuya el valor medio obtenido, a la vez que aumenta notablemente la dispersión de los resultados.

Así pues, aunque habría que realizar más medidas complementarias para determinar el efecto del humo de sílice y de las fibras en la resistencia del material, de los resultados de dureza se desprende que el humo de sílice incrementa la rigidez del material y que el curado en cámara convencional da lugar a un material más resistente.

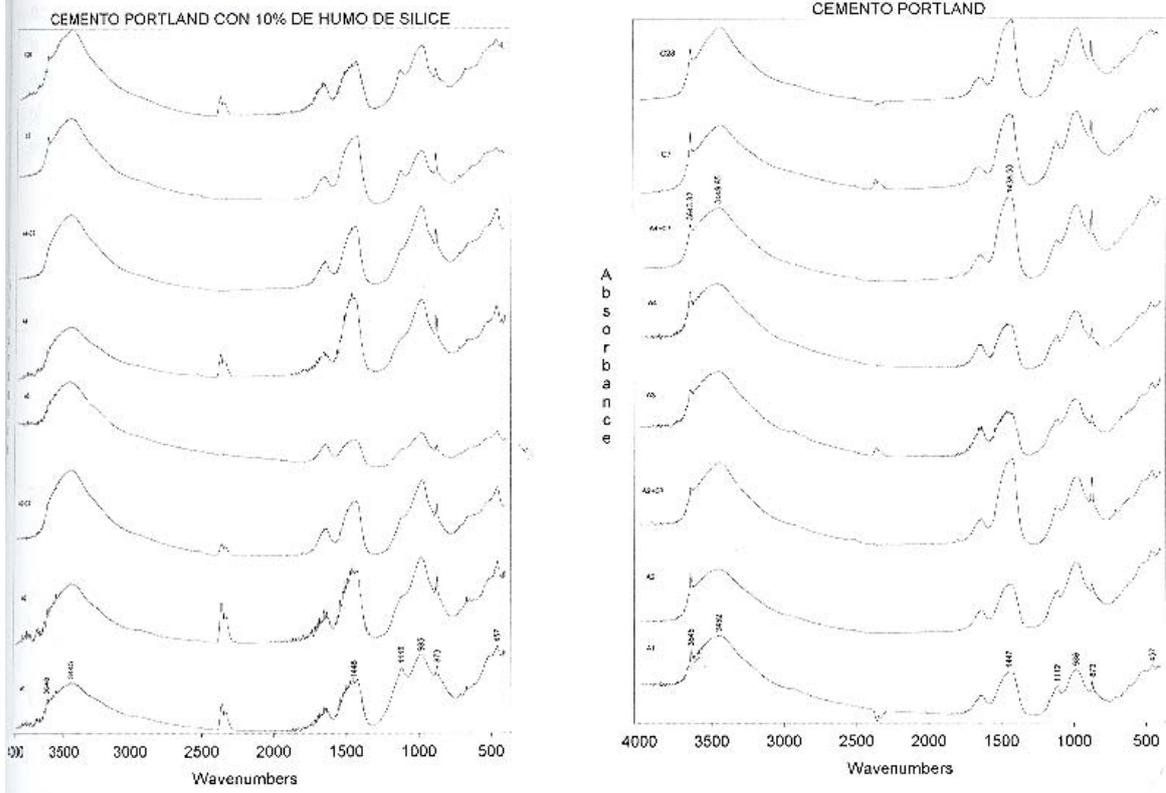


Fig. 1. Espectros FTIR de las pastas de cemento con y sin humo de sílice para las diferentes condiciones de curado estudiadas.

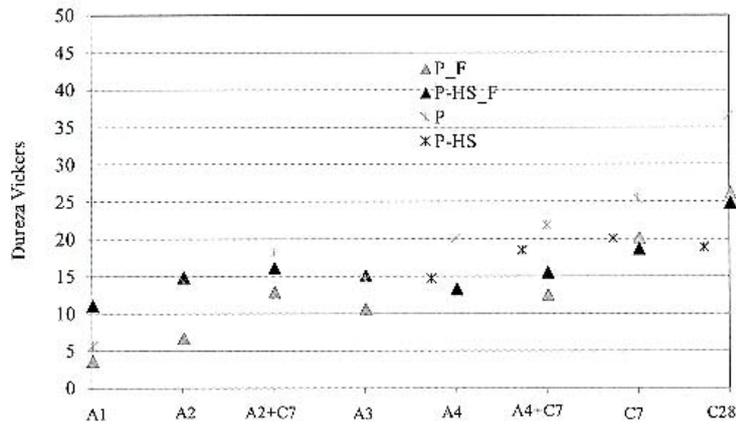


Fig. 2. Evolución de la dureza Vickers de los compuestos en función de las condiciones de curado.

4. CONCLUSIONES

Los resultados preliminares indican que el curado en autoclave genera en muy pocas horas un grado inicial de hidratación similar al que se produce tras un curado

convencional de los compuestos durante 2 o 3 días. Sin embargo, tras dicho curado en autoclave no es posible incrementar el grado de hidratación posterior, no llegándose a conseguir los resultados que se obtienen para un curado convencional de 28 días. Estos resultados sugieren un posible proceso de encapsulación rápida de las partículas de cemento curadas en autoclave que impiden el acceso del agua y reducen los productos de hidratación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al MINECO (Gobierno de España) la financiación del proyecto BIA2011-26288.

REFERENCIAS

1. ARDANUY, M., CLARAMUNT, J., ET AL. (2012). Nanofibrillated cellulose (NFC) as a potential reinforcement for high performance cement mortar composites. *BioResources*, 7(3), pp. 3883–3894.
2. CLARAMUNT, J., ARDANUY, M., GARCÍA-HORTAL, J.I. Y TOLÊDO-FILHO, R.D. (2011). The hornification of vegetable fibers to improve the durability of cement mortar composites. *Cem. Concr. Compos.*, 33, pp. 586–595.
3. SAVASTANO, H., WARDEN, P.G. Y COUTTS, R.S.P. (2003). Mechanically pulped sisal as reinforcement in cementitious matrices. *Cem. Concr. Compos.*, 25(3), pp. 311–319.
4. SILVA, F.A., TOLÊDO FILHO, R.D., MELO FILHO, J.A., REGO FAIRBAIRN, E.M. (2010). Physical and mechanical properties of durable sisal fiber–cement composites. *Constr. Build. Mater.*, 24, pp. 777–785.
5. AGOPYAN, V., SAVASTANO, H., JOHN, V.M. Y CINCOTTO, M.A. (2005). Developments on vegetable fibre-cement based materials in Sao Paulo, Brazil: an overview. *Cem. Concr. Compos.*, 27, pp. 527–536.
6. COUTTS, R.S.P. (2005). A review of Australian research into natural fibre cement composites. *Cem. Concr. Compos.*, 27, pp. 518–526.
7. ROMA, C.L., MARTELLO, L.S. Y SAVASTANO, H. (2008). Evaluation of mechanical, physical and thermal performance of cement-based tiles reinforced with vegetable fibers. *Constr. Build. Mater.*, 22, pp. 668–674.
8. SAVASTANO, H., WARDEN, P.G. Y COUTTS, R.S.P. (2005). Potential of alternative fibre cements as building materials for developing areas. *Cem. Concr. Compos.*, 25, pp. 585–592.
9. ARDANUY, M., CLARAMUNT, J., GARCÍA-HORTAL, J.A. Y BARRA, M. (2011). Fiber-matrix interactions in cement mortar composites reinforced with cellulosic fibers *Cellulose* 18, pp. 281–289.
10. CLARAMUNT, J., ARDANUY, M. Y GARCÍA-HORTAL, J.A. (2010): Effect of drying and rewetting cycles on the structure and physicochemical characteristics of softwood fibres for reinforcement of cementitious composites. *Carbohydrate Polymers*, 79, pp. 200–205.
11. TOLÊDO FILHO, R.D., GHAVAMI, K., ENGLAND, G.L. Y SCRIVENER, K. (2003). Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability. *Cem. Concr. Compos.*, 25, pp. 185–196.

Estructuras no tejidas de fibras naturales como refuerzo para compuestos de cemento de elevada ductilidad

J. Claramunt,

Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia. Universitat Politècnica de Catalunya– Barcelona TECH, España

H. Ventura

Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera. ETSEIAT. Universitat Politècnica de Catalunya– Barcelona TECH, España.

F. Parés

Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera. ETSEIAT. Universitat Politècnica de Catalunya– Barcelona TECH, España.

M. Ardanuy

Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera. ETSEIAT. Universitat Politècnica de Catalunya– Barcelona TECH, España.

RESUMEN

En este trabajo se evalúan las propiedades mecánicas de compuestos a base de morteros de cemento reforzados con fibras vegetales en forma de telas no tejidas. Para ello se han diseñado y preparado previamente estructuras no tejidas con fibras de cáñamo y lino y se ha analizado su potencial como refuerzo de cementos portland con ensayos de flexión por tres puntos comparándose los resultados con los de compuestos convencionales reforzados con pulpa de conífera.

PALABRAS CLAVE: telas no tejidas, compuestos de cemento, fibras vegetales.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de fibras para reforzar matrices frágiles como las de cemento permite mejorar la ductilidad, flexibilidad y la resistencia a la rotura de los compuestos resultantes. Más concretamente, y en el caso de materiales prefabricados como los fibrocementos, el uso de fibras vegetales se ha erigido como una interesante opción que permite el desarrollo de materiales con buenas prestaciones con un coste relativamente bajo [1-4]. En este sentido se han publicado muchos trabajos que describen el uso de fibras vegetales como la pulpa de madera, las fibras de sisal o abacá, los línters de algodón, etc. para el refuerzo de morteros de cemento [5-8]. Sin embargo, una de las limitaciones para incrementar las prestaciones de estos materiales es la máxima cantidad de fibra dispersa –normalmente como pulpa– que se puede incorporar en la matriz de forma homogénea y que está alrededor del 4-6% en peso [9].

Una posibilidad para aumentar el contenido de fibras y mejorar la distribución homogénea de las mismas puede ser la incorporación del refuerzo en forma de

estructuras textiles, como son las telas no tejidas o *nonwovens (NW)*. En cuanto a las fibras vegetales utilizadas para fabricar estas telas no tejidas, suelen tener longitudes mayores que las usadas en forma de fibra dispersa, para permitir su procesado mediante las tecnologías textiles. En este grupo se incluyen fibras celulósicas tradicionalmente utilizadas en el sector textil caracterizadas por su gran esbeltez (elevada relación longitud/anchura; baja masa lineal), como las fibras de los haces liberianos provenientes de la zona cortical de los tallos de plantas como el lino, cáñamo, ramio, yute o kenaf. Para obtener las fibras elementales dichos haces se suelen someter a un proceso de enriado microbiológico.

Así pues, en el presente trabajo, se evalúan las propiedades mecánicas de materiales compuestos de morteros de cemento reforzados con fibras vegetales en forma de telas no tejidas.

2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

2.1 Materiales

Para preparar los compuestos se usó un cemento del tipo I según la normativa española UNE-EN 197-1:2000 que fue suministrado por Cemex.

Como fibras vegetales para preparar las estructuras de refuerzo se usaron fibras de cáñamo y lino.

2.2 Preparación de las estructuras de refuerzo

Las telas no tejidas fueron preparadas en una línea de punzonado de laboratorio (DILO OUG-II-6) equipada con una carda universal. Se prepararon estructuras variándose el gramaje desde aproximadamente 200 hasta 600 g/m², el apilamiento de los velos y el grado de entrelazamiento a partir de la densidad de agujas de punzonado utilizadas.

2.3 Preparación de los compuestos

Los compuestos se prepararon siguiendo un procedimiento basado en el método Hatschek. Para ello se preparó en primer lugar una mezcla homogénea de agua, cemento y árido fino con la estructura no tejida. Los compuestos se moldearon en forma de probetas prismáticas utilizando un molde del tipo UNE-EN 196-1:2005 con unas dimensiones internas de 40x40x160 mm³ y especialmente modificado para permitir una compresión de las muestras hasta un espesor de 20 mm (modificación que también es útil para eliminar el exceso de agua y facilitar la compactación del material). Una vez preparadas las probetas, fueron endurecidas en una cámara de curado durante 28 días a una temperatura de 20 ± 1 °C con un 95% de humedad relativa.

2.4 Caracterización de los compuestos

Los ensayos realizados para determinar las propiedades mecánicas se llevaron a cabo siguiendo el procedimiento descrito por la norma UNE-EN 196-1:2005. Para ello se utilizó una máquina universal de ensayos Incotecnic equipada con una célula de carga de 30 kN, y utilizando la configuración de flexión por res puntos con una velocidad de carga de 50 ± 10 N/s.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar se realizaron diferentes pruebas de mezclado para ver que estructuras no tejidas permitían una mayor homogeneidad y compactación de los compuestos resultantes. Las estructuras más abiertas, es decir, con menor grado de punzonado y menor gramaje, resultaron las más adecuadas para la preparación de los compuestos. Además, se prepararon compuestos con fibras en forma de pulpa en condiciones similares para comparar sus prestaciones con los reforzados con telas no tejidas.

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de la curva típica obtenida en los ensayos de flexión de los compuestos reforzados con las estructuras no tejidas y con las fibras en forma de pulpa. Las curvas típicas esfuerzo-deformación de los morteros de cementos reforzados con fibras presentan una porción inicial lineal con una pendiente que depende básicamente de la naturaleza de la matriz y del contenido en fibra. Después de ello se inicia la fractura de la matriz por lo que el esfuerzo es transferido a las fibras mostrando los compuestos un comportamiento *strain-hardening* o *strain-softening* hasta la fractura total del material. Así, tal como se muestra en la Figura 1, para el compuesto preparado con la fibra en forma de pulpa, la transferencia de esfuerzos entre la fibra y la matriz es muy rápida por lo que la porción de la curva después del inicio de fractura de la matriz hasta su rotura total es muy pequeña. Sin embargo, cuando se utiliza como refuerzo la tela no tejida la transferencia de esfuerzos se produce de forma mucho más lenta y, aunque la pérdida de resistencia después del inicio de la fractura del material es más pronunciada, la deformación es considerablemente mayor. En este sentido es importante remarcar que para los compuestos reforzados con las telas no tejidas las probetas no se pudieron romper totalmente llegando al límite de flexión del equipo, como se muestra en la Figura 2. Así pues, el refuerzo con estas estructuras incrementa considerablemente la ductilidad del material respecto a los compuestos reforzados con la fibra en forma de pulpa.

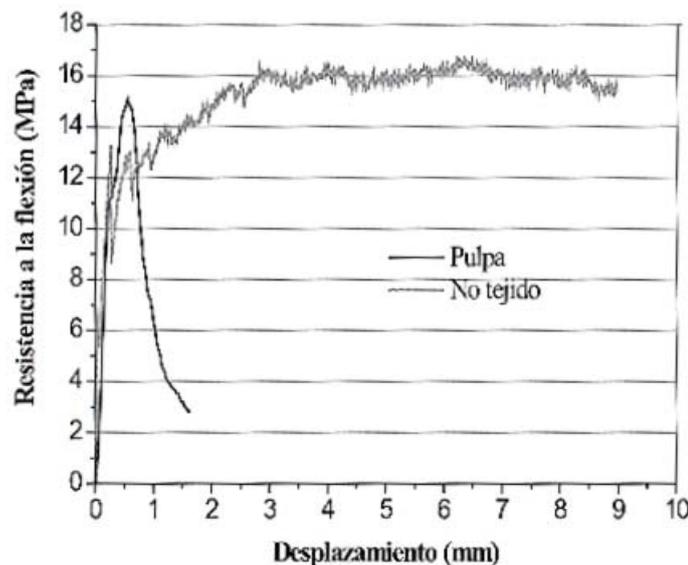


Fig.1 Curvas típicas esfuerzo-deformación para los compuestos reforzados con las estructuras no tejidas comparados con los reforzados con pulpa.

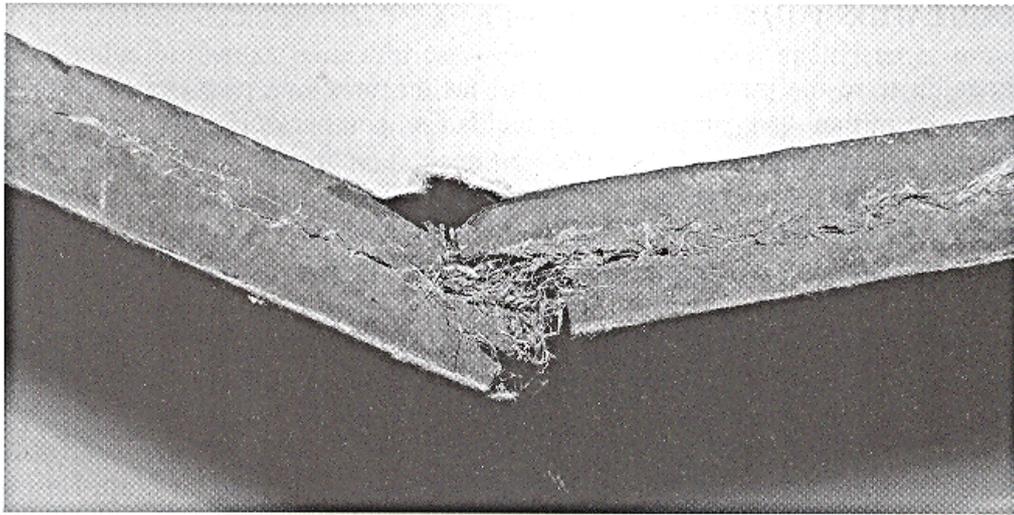


Fig. 2. Imagen de una de las probetas reforzadas con las estructuras no tejidas después del ensayo de flexión.

4. CONCLUSIONES

Los resultados muestran como cuando se utilizan el refuerzo en forma de telas no tejidas la transferencia de esfuerzos de la matriz a la fibra es muy lenta permitiendo que el compuesto se deforme considerablemente antes de su fractura total, mostrando una ductilidad muy superior a cuando se utiliza la fibra dispersa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al MINECO (Gobierno de España) la financiación de este trabajo a través del proyecto BIA2011-26288 y de la beca FPU12/05869 concedida a H. Ventura.

REFERENCIAS

1. AGOPYAN, V., SAVASTANO, H., JOHN, V.M. Y CINCOTTO, M.A. (2005). Developments on vegetable fibre-cement based materials in Sao Paulo, Brazil: an overview. *Cem. Concr. Compos.*, 27, pp. 527-536.
2. COUTTS, R.S.P. (2005). A review of Australian research into natural fibre cement composites. *Cem. Concr. Compos.*, 27, pp. 518-526.
3. ROMA, C.L., MARTELLO, L.S. Y SAVASTANO, H. (2008). Evaluation of mechanical, physical and thermal performance of cement-based tiles reinforced with vegetable fibers. *Constr. Build. Mater.*, 22, pp. 668-674.
4. SAVASTANO, H., WARDEN, P.G. Y COUTTS, R.S.P. (2005). Potential of alternative fibre cements as building materials for developing areas. *Cem. Concr. Compos.*, 25, pp. 585-592.
5. ARDANUY, M., CLARAMUNT, J., ET AL. (2012). Nanofibrillated cellulose (NFC) as a potential reinforcement for high performance cement mortar composites.

- BioResources*, 7(3), pp. 3883–3894.
6. CLARAMUNT, J., ARDANUY, M., GARCÍA-HORTAL, J.I. Y TOLÊDO-FILHO, R.D. (2011). The hornification of vegetable fibers to improve the durability of cement mortar composites. *Cem. Concr. Compos.*, 33, pp. 586–595.
 7. SAVASTANO, H, WARDEN, P.G. Y COUTTS, R.S.P. (2003). Mechanically pulped sisal as reinforcement in cementitious matrices. *Cem. Concr. Compos.*, 25(3), pp. 311-319.
 8. SILVA, F.A., TOLÊDO FILHO, R.D., MELO FILHO, J.A., REGO FAIRBAIRN, E.M. (2010). Physical and mechanical properties of durable sisal fiber–cement composites. *Constr. Build. Mater.*, 24, pp. 777–785.
 9. CLARAMUNT, J., ARDANUY, M., PARÉS, F., VENTURA, H. (2013). Mechanical performance of cement mortar composites reinforced with cellulose fibres. En *Proceedings de la 9th International Conference on Composite Science and Technology*, Sorrentino-Italia.