



Construcción con Tierra

Investigación y Documentación

XI CIATTI 2014

Congresos de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos
2014.

Coordinadores: Félix Jové Sandoval, José Luis Sáinz
Guerra.

ISBN: 978-84-606-9543-1

D.L.: VA 758-2015

Impreso en España

Julio de 2015

Publicación online.

Este artículo sólo puede ser utilizado para la investigación, la docencia y para fines privados de estudio. Cualquier reproducción parcial o total, redistribución, reventa, préstamo o concesión de licencias, la oferta sistemática o distribución en cualquier otra forma a cualquier persona está expresamente prohibida sin previa autorización por escrito del autor. El editor no se hace responsable de ninguna pérdida, acciones, demandas, procedimientos, costes o daños cualesquiera, causados o surgidos directa o indirectamente del uso de este material.

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Copyright © Todos los derechos reservados

© de los textos: sus autores.

© de las imágenes: sus autores o sus referencias.

VALORIZACIÓN DE ARENAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE LA FUNDICIÓN EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

XI CIATTI 2014. Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra
Cuenca de Campos, Valladolid.

*David Cavero Rodríguez. Arquitecto. Doctorando en Arquitectura.
ETS de Arquitectura de Valladolid, Universidad de Valladolid,
España.*

*Félix Jové Sandoval. Dr. Arquitecto, profesor titular ETS de
Arquitectura de Valladolid. Co-director del Grupo Tierra,
Universidad de Valladolid, España.*

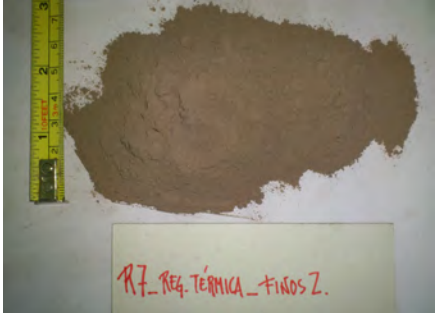
PALABRAS CLAVE: Reciclaje, arenas de fundición, BTC.

1. Introducción

La arena utilizada por la industria de la fundición en la fabricación de moldes de piezas, ha de tener cualidades refractarias y también ha de tener una granulometría homogénea, para permitir que exista porosidad en los moldes y puedan escaparse así los vapores de la colada fundida. Las arenas de los moldes se regeneran en un proceso destinado a reutilizar las arenas de los moldes en nuevos moldes de fundición. En cada uno de los procesos de regeneración se genera un residuo de las arenas que no cumple con las condiciones para poder reutilizarse.

La propuesta consiste en la incorporación de las arenas de desecho de los procesos de regeneración de los moldes de fundición en la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC). Se prevé que con la inclusión de estas arenas de fundición se mejore la resistencia y durabilidad de los bloques. A estos efectos se analizará la idoneidad de las arenas en base a los siguientes criterios:

- **Idoneidad técnica:** Se comprobará que los BTCs fabricados incorporando arenas de fundición responden a los requisitos técnicos marcados por la norma UNE 41410 *Bloques de tierra*



comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.

- **Idoneidad medioambiental:** Habrá que asegurar que los contaminantes contenidos en los BTCs fabricados con las arenas de fundición son menores que los valores límites fijados en la normativa tanto en la fase de uso del edificio como a la hora de su reincorporación al medio natural.

Para comprobar estos requisitos se realizarán una serie de pruebas y ensayos acordes con las normas nacionales e internacionales.

2. Metodología

Vamos a realizar ensayos de caracterización tanto de los componentes que van a formar parte de los Bloques de tierra comprimida, cómo de los propios bloques una vez realizados.

Componentes de los BTC:

Analizaremos la tierra de referencia que nos va a servir para la fabricación de los bloques (S1) y los residuos que van a formar parte de la composición final de los bloques. De todos los residuos que se generan durante el proceso de regeneración de las arenas, se han escogido aquellos que han sido regenerados térmicamente con el objeto de eliminar las resinas usadas como conglomerantes de los moldes (R6 y R7)

- **S1_** Tierra caliza de cantera.
- **R6_ R7_** finos de la regeneración térmica.

Sobre estas tierras se han realizado los siguientes ensayos:

- **Análisis elemental de la arena:** Es necesario conocer la composición de la arena de fundición y de la tierra con la que se elaboraran los bloques, ya que los elementos presentes en ambas determinarán los posibles contaminantes que contendrán los bloques. Para ello se usará la Espectrometría de fluorescencia de rayos X del laboratorio de técnicas instrumentales de la Universidad de Valladolid. Los resultados de este ensayo nos dirán las concentraciones de contaminantes como el arsénico, el plomo y el cromo.

De la composición elemental destaca la ausencia de elementos como el mercurio (Hg), el Cadmio (Cd) o el arsénico (As), que son considerados tóxicos para la salud y el medio ambiente. La proporción de otros metales pesados como el plomo es muy baja (0,01 % en el peor de los casos). La proporción de cromo, si bien es alta, está formando un compuesto estable como es la cromita, y no se considera tóxico.

(%)	S1	R6	R7	(%)	S1	R6	R7
Ca	31,089	0,300	0,350	Ni	0,002	0,013	0,014
Si	7,245	34,731	34,731	Cu	0,002	0,021	0,045
Fe	1,259	5,875	4,379	Zn	0,027	0,042	0,044
Al	1,270	5,240	6,139	Ga	0,000	0,002	0,002
P	0,026	0,031	0,031	Sr	0,048	0,015	0,015
Mn	0,031	0,062	0,062	Y	0,001	0	0
Na	0,030	0,371	0,519	Zr	0,023	1,7	2,037
Mg	0,326	0,579	0,537	Mo	0,000	0	0
K	0,249	1,511	1,768	Sn	0	0,000	0,001
Ti	0,060	0,132	0,084	Sb	0	0,000	0,000
Sc	0	0,001	0,001	Cs	0,000	0,001	0,000
V	0,004	0,019	0,015	Ba	0,008	0,033	0,050
Cr	0,044	1,919	1,498	La	0	0,000	0,000
Co	0	0,002	0,002	Ce	0,001	0,001	0,001
Nb	0,000	0,004	0,007	Pb	0,001	0,004	0,010

- **Ensayos de Lixiviación:** La acción del agua sobre los materiales de construcción, tanto en su fase de uso como al final de su ciclo de vida, cuando se reintegre al medio ambiente, puede hacer que los determinados contaminantes se diluyan y acaben afectando al medio natural. Es por esta razón que la Unión Europea ha establecido unos límites para estos contaminantes, según recoge la directiva 2003/33/CE. Los ensayos de lixiviación consisten en el análisis de aguas en contacto con las muestras durante un determinado periodo de tiempo, con una solución lixiviante. El análisis posterior de los lixivados se podrá realizar con cromatografía iónica. La norma española UNE-EN 12457:2003 estudia la lixiviación a largo plazo, esto es, al final del ciclo de vida de los materiales.

L/S 2 l/kg	S1 mg/kg	R6 mg/kg	R7 mg/kg	Limite mg/kg	Recom mg/kg
As	0,012	0,011	0,003	0,1	0,14
Ba	0,043	0,108	0,157	7	10
Cd	<0,002	<0,002	<0,002	0,03	0,011
Cr	<0,002	0,016	0,029	0,2	2
Cu	0,012	0,005	0,004	0,9	1,1
Hg	0,000	0,000	0,000	0,003	0,014
Mo	0,03	0,242	0,612	0,3	0,31
Ni	0,003	<0,002	<0,002	0,2	1,2
Pb	<0,002	<0,002	<0,002	0,2	1
Sb	0,001	0,025	0,029	0,02	0,12
Se	0,003	0,014	0,02	0,06	0,06
Zn	0,059	0,006	0,008	2	1,5
Cl-	12,53	13,65	37,09	550	250
F-	0,7	19,92	82,91	4	11
SO42-	65,64	78,25	224,8	560	1500
COD	41,77	15,99	14,19	240	-
pH	8,08	8,64	8,39	> 6	-
Condu.	32,6	23,9	56,8	-	-

Se presenta una tabla comparativa de los resultados de las arenas de la fundición y de la tierra de referencia. El valor límite que se toma es el de la tabla 2.1.2.1 de la decisión del consejo de Europa de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos. También se toma el valor límite recomendado por la norma finlandesa para el uso de materiales minerales en construcciones de tierra [Mroueh, U.M. & Wahlström, M., 2002].

De estos resultados cabe destacar la presencia de molibdeno en alguna de las muestras, así como la alta concentración de fluoruros en todas ellas. Esto podría ser una razón para considerarlos como residuos no peligrosos o incluso peligrosos en el caso de R7 por su alta concentración de fluoruros.

- **Granulometría de las arenas:**

Los bloques de tierra comprimida son esencialmente un conglomerado de áridos que usa como elemento ligante las propias arcillas presentes en la tierra, o bien cal, yeso o cemento. A diferencia de los moldes usados en la industria de la fundición, que requieren una granulometría homogénea, los BTCs necesitan de una granulometría repartida entre partículas de mayor tamaño y partículas de menor tamaño que rellenen los huecos y conseguir así bloques compactos capaces de soportar las cargas propias de los edificios. La distribución granulométrica de la mezcla que ha de formar el BTC ha de encontrarse dentro de los márgenes que marca la tabla 4 de la UNE 41410. Para esta comprobación se seguirán los procedimientos de la UNE 103101:1995 *Análisis de suelos por tamizado y sedimentación*.

En cuanto a S1, se trata de una tierra muy bien graduada; de hecho, tiene un alto contenido en arcilla, más de un 30 %, y de limo, 30 %, por lo que no necesitaría la adición de ninguna clase de finos. Tanto R6 como R7 tienen un alto contenido de finos, en torno al 80 %, y por tanto cualquier adición que se haga a S1 de estos finos incrementará la proporción de estos por encima de los límites recomendados por la norma.

Por otra parte, tanto R6 como R7 tienen una buena proporción de su peso por debajo del calibre de 0,002 mm, lo que equivale a 200 nm. Si tenemos en cuenta que la composición principal tanto de R6 como de R7 es de silicio (SiO₂) podemos estar hablando que ambos tienen una buena proporción de microsilíce. Las técnicas de las que disponemos no nos permiten saber la distribución del grano por debajo del umbral de los 200 nm, pero cabe la posibilidad de que en esa proporción haya cierta cantidad de nanosilíce¹.



Recientes estudios demuestran que la presencia de microsilicatos y nanosilicatos en mezclas de hormigón mejora enormemente su resistencia. Esta mejora en las cualidades del hormigón se basa en la capacidad puzolánica que tienen las partículas de silicato amorfas y la mayor superficie de contacto de estas con los carbonatos para formar enlaces. Al igual que ocurre en el cemento y el hormigón, las propiedades puzolánicas de los nanosilicatos han demostrado una muy buena capacidad de fraguado en mezclas de cal [Carcedo Fernández, M., 2012].

5 bloques de 30 x 5 x 10 cm con una densidad estimada de 2.000 kg/m³

La composición que se ha determinado para cada lote es la siguiente:

MEZCLA	S1	R6	R7	CAL
M0	100,00	0,00	0,00	0,00
M1	80,00	20,00	0,00	0,00
M2	80,00	0,00	20,00	0,00
M3	90,00	0,00	0,00	10,00
M4	80,00	0,00	10,00	10,00
M5	70,00	10,00	10,00	10,00
M6	60,00	10,00	20,00	10,00

BTC terminados:

Se han elaborado lotes con diferentes proporciones de cada uno de los componentes con el objeto de comprobar el comportamiento de estos en función de tres parámetros:

- Influencia del contenido de R6 y R7 en bloques sin estabilizar
- Influencia del contenido de R6 y R7 en bloques estabilizados con cal

La fabricación se llevó a cabo en una prensa hidráulica automática de la empresa Adobera del Norte C.B. situada en Amusco (Palencia). Se calcularon los pesos de cada uno de los componentes en cada lote para obtener unos 15 bloques de dimensiones 30 x 15 x 10 cm y

- **Ensayos de humectación/secado:**
Este ensayo descrito en la UNE 41410, tiene como objetivo conocer el comportamiento de las fábricas sometidas a una exposición climática severa para observar si se producen grietas, fenómenos de hinchamiento, pérdida de material, y eflorescencias.

De los resultados se desprende que los lotes que no tienen cal son muy sensibles a la presencia de agua y por tanto no deben de usarse en entornos en los que puedan recibir salpicaduras. Cabe destacar el buen comportamiento de M0 en este ensayo, sin ningún tipo de aditivo ni estabilizante llega a soportar los ciclos



M0



M1

resistencia característica de los bloques se realizara una batería de ensayos para cada amasada según la UNE-EN 772-1.



de humectación sin apenas perdidas de material.

• **Ensayos de erosión hídrica acelerada:** Este ensayo, al igual que el anterior, tiene como objeto conocer el comportamiento de los bloques sometidos a una acción directa y constante del agua. Se trata de comprobar la erosión sobre un bloque bajo un chorro directo de agua cayendo desde una altura de 1 m sobre una de sus caras, situada en un ángulo de 27º sobre la horizontal.

Al igual que en el caso anterior, los bloques que contienen cal en su composición no se ven afectados en absoluto por la acción erosiva del agua, mientras que los que no la llevan no deben ser expuestos al exterior.

En este momento se están realizando las baterías de pruebas sobre las muestras, pero los primeros ensayos arrojan ya los siguientes resultados:

	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6
fc (N/mm2)	4,72	3,19	2,8	3,87	3,38	3,63	4,05

Todas las muestras, salvo M2 estarían encuadradas dentro de la clasificación BTC-3 ($f_c > 3 \text{ N/mm}^2$) Ninguna de las mezclas ensayadas mejora la resistencia de la muestra de referencia (M0) que solo está constituida por tierra de cantera. En cuanto a las muestras que llevan cal, (M3, M4, M5 y M6), la resistencia disminuye con respecto al lote M0 entre un 20% y un 30%

Se puede observar que la resistencia de las muestras que llevan arenas de la fundición disminuye en las que menor cantidad de R6 y R7 llevan, mientras que M6, sube por encima de la resistencia de la muestra de referencia con cal (M3), por lo que existen indicios razonables para suponer que la cal reacciona mejor con una mayor proporción de sílice o microsilice.

Por otra parte se están llevando a cabo roturas de probetas con varios meses de diferencia, dado que se espera que la actividad puzolánica de los microsilices y el efecto de carbonatación de la cal vaya aumentando la resistencia de las probetas conforme pase el tiempo.



• **Resistencia mecánica:** Las fábricas realizadas con BTCs suelen tener una función estructural o cuanto menos de cerramiento. Para cumplir esta función los bloques han de tener una resistencia mecánica a partir de la cual se podrá comprobar si las fábricas son capaces de soportar las cargas a las que van a estar sometidas. Para determinar la

3. Conclusiones

Los contaminantes minerales de los residuos de fundición son bajos, sin embargo tienen una alta concentración de fluoruros que impide identificarlos con residuos inertes. Deben de considerarse como residuos no peligrosos o peligrosos en el caso de algunas muestras como R7.

- Es muy recomendado el uso de la cal en elementos constructivos de tierra que deban quedar expuestos a la intemperie ya que aumenta la durabilidad de los bloques ante la presencia de agua, los hace impermeables manteniendo la transpirabilidad propia de las construcciones terreas.

- Se observa una disminución de la capacidad resistente de los bloques cuando se les añaden los finos de la regeneración térmica y modifican la granulometría de la mezcla de manera que se encuentra fuera del área recomendada por la UNE 41410, sin embargo, cuando estos silicatos se combinan con cal en proporción suficiente, llegan a mejorar la resistencia de los bloques a los que simplemente se les añade cal, corroborando el poder puzolánico que tienen los residuos de la fundición.

Bibliografía

ALONSO-SANTURDE, R. et al., 2011. Technological behaviour and recycling potential of spent foundry sands in clay bricks. *Journal of Environmental Management*, 92(3), pp.994–1002.

ALONSO-SANTURDE, R. et al., 2010. Valorization of foundry sand in clay bricks at industrial scale. *Journal of Industrial Ecology*, 14(2), pp.217–230.

CARCEDO FERNÁNDEZ, M., 2012. *Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula*. Universidad politécnica de Madrid.

HIDALGO, A. & ALONSO, C., *Evaluación del impacto medioambiental debido a la lixiviación de productos de base cemento*. , pp.571–581.

LEWIN, K., ELLIS, J. & GRONOW, J., 2004. *Landfill waste acceptance criteria: sampling and testing 2004*. , pp.1–10.

VV.AA, *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones: arenas de moldeo en fundiciones férreas*. , IHOBE Sociedad pública de gestión ambiental del Gobierno Vasco.

MALVIYA, R. & CHAUDHARY, R., 2006. Evaluation of leaching characteristics and environmental compatibility of solidified/stabilized industrial waste. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 8(1), pp.78–87.

MROUEH, U.M. & WAHLSTRÖM, M., 2002. *By-products and recycled materials in earth construction in Finland - An assessment of applicability*. *Resources, Conservation and Recycling*, 35(1-2), pp.117–129.

SANTANA ROBAINA, A., *La tierra como material de construcción*, Gobierno de Canarias

SIDDIQUEA, R., KAUR, G. & RAJOR, A., 2010. Waste foundry sand and its leachate characteristics. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), pp.1027–1036.

VAZQUEZ ESPI, M. 2001. *Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales*. Madrid: Instituto Juan de Herrera. Ciudades para un futuro mas Sostenible.