

COMPORTAMIENTO DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA SOMETIDOS A DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD

Basterra Otero, L.A.

Dr. Arquitecto

Departamento de Edificación. Universidad de Valladolid (Spain) basterra@arq.uva.es

Jové Sandoval, F.

Dr. Arquitecto

Departamento de Edificación. Universidad de Valladolid (Spain)

Montserrat Calleja de Castro

Becaria investigadora

RESUMEN

Este trabajo estudia el comportamiento de una serie de bloques prensados a mano y fabricados con tierra mejorada con una proporción de cemento, tal como se fabricaron en su día para la construcción de 10 viviendas bioclimáticas en Amayuelas de Abajo (Palencia, Spain).

Se analiza su comportamiento y resistencia a compresión bajo distintas condiciones de humedad. Se observa pérdida de resistencia de los bloques cuando aumenta su contenido de humedad

ABSTRACT

This paper studies the behavior of a series of hand pressed blocks made with natural earth improved with a proportion of cement. The same one that made for the construction of 10 bioclimathics houses in Amayuelas de Abajo (Palencia, Spain).

The behavior and resistance to compression under different conditions of humidity is analyzed.

Loss of resistance of the blocks is observed when it increases his content of humidity

PALABRAS CLAVE

Construcción con tierra, bloques de tierra, Amayuelas

KEY WORDS

Earth construction, earth blocks, Amayuelas

INTRODUCCIÓN

Este trabajo pretende estudiar el comportamiento de una serie de bloques prensados a mano y fabricados con tierra mejorada con una proporción de cemento, sometidos a compresión bajo condiciones variables de humedad.

Los bloques fueron fabricados por la empresa CEDAZO S.L. en el mes de enero de 2001 en la localidad de Amayuelas de Abajo (Palencia) con barro de la mencionada localidad. El mismo que se ha utilizado en la

construcción de 10 viviendas bioclimáticas que, en ese momento, se estaban construyendo por la misma empresa para la cooperativa ENTRAMADO, según proyecto de los arquitectos doña M^a Jesús González, don Jorge Silva y don Francisco Valbuena. La actuación forma parte de una amplia y ambiciosa iniciativa socioeconómica que pretende demostrar su rentabilidad y la posibilidad de generar riqueza, pudiendo servir de referencia a otras iniciativas, cumpliendo así un efecto multiplicador en una zona bastante deprimida de la región de Castilla y León. Se basa en un principio de sostenibilidad y adecuado uso de los recursos locales, en equilibrio entre la tradición vernácula y la posibilidad de incorporación de nuevas tecnologías de bajo o nulo impacto ambiental.

Para la confección de los bloques se utilizaron técnicas tradicionales y, en este caso, al barro se le añadió una pequeña proporción (6%) de cemento común. Con una máquina Altech Int. GEO 50 se les sometió manualmente a compresión para mejorar la compactación y la regularidad dimensional. Los bloques así fabricados se dejaron en reposo durante tres meses, almacenados a cubierto en el exterior.



Fig. 1. Máquina manual de prensado

Fig. 2. Bloques fabricados y acopiados

Posteriormente se transportaron al laboratorio de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Valladolid en abril de 2001, y los ensayos se realizaron durante el mes de mayo y junio del mismo año.

CARACTERIZACIÓN DEL SUELO UTILIZADO

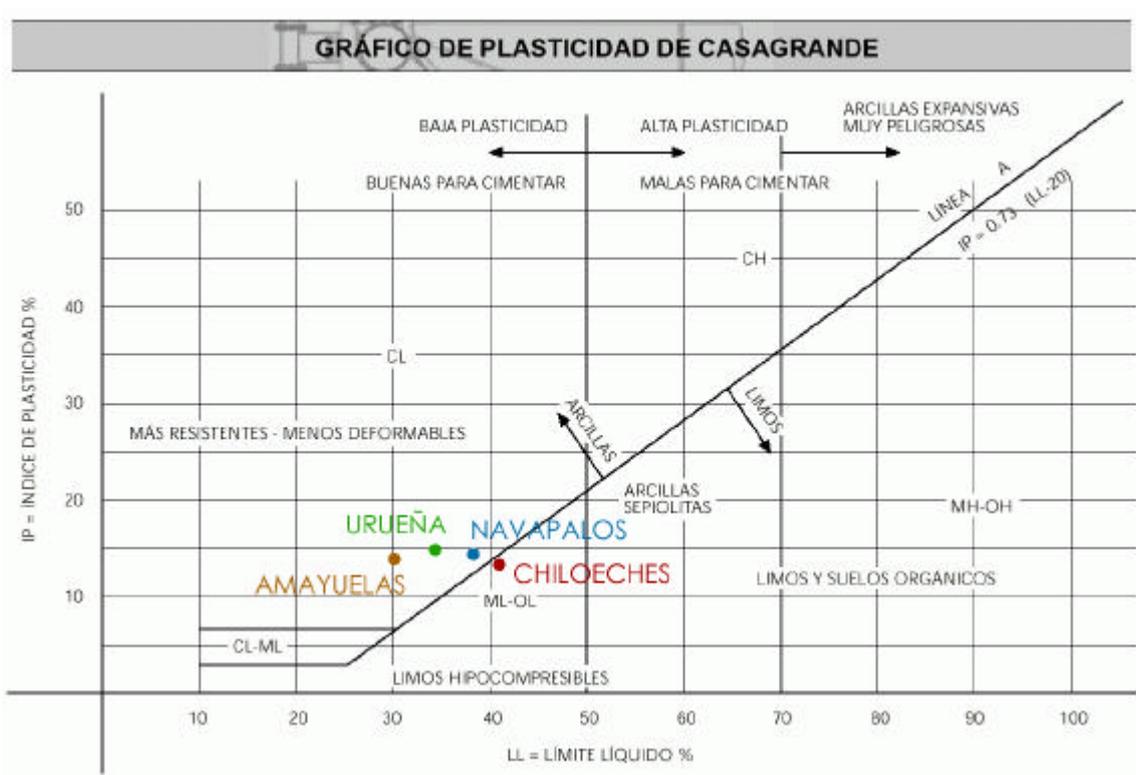
Con una muestra alterada del suelo empleado para la fabricación de los bloques se realizaron ensayos de caracterización para obtener propiedades que pudieran ponerse en relación con otros conocidos de zonas en las que tradicionalmente se ha construido con tierra cruda. Concretamente se analizó su granulometría y plasticidad (límites de Atterberg). Estos ensayos se realizaron de acuerdo a las normas UNE correspondientes y arrojaron los resultados siguientes:

Granulometría (tamizado UNE 103.101:95)									
Tamiz UNE	10	5	2,5	2	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08
AMAYUELAS	100	99,1	97,1	96,6	95,1	93,7	90,5	82,4	68,6
						NAVAPALOS			63,1
						CHILOECHES			64,8
						URUEÑA			70,3

Resultados que avalan la conocida regla empírica: la arena que reposa en la mezcla con agua debe ser más del 60% en volumen.

Plasticidad (Límites de Atterberg UNE 103.103:94 y UNE 103.104:93)				
	AMAYUELAS	NAVAPALOS	CHILOECHES	URUEÑA
Límite líquido	30	38,5	40,8	34,1
Límite plástico	15,8	24,1	26,8	19,2
Índice de plasticidad	14,2	14,4	14	14,9

Puede apreciarse como dos de las características potencialmente más influyentes en la elaboración y comportamiento de la tierra como material de construcción se encuentran bastante próximas entre sí. Ello queda patente también en el siguiente gráfico de plasticidad de Casagrande.



CARACTERÍSTICAS DE LOS BLOQUES Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Con la maquina manual citada, se obtienen bloques de unas dimensiones aproximadas de 29,4 x 14 x 9,75 cm (4 litros aprox.), y un peso de unos 8 Kg por unidad. La densidad obtenida en las diferentes mediciones arroja algo de dispersión, debido al proceso artesanal de fabricación y, especialmente, de compactación, oscilando entre 1.940 y 2.080 Kg/m³.

Para la realización de los ensayos se prepararon cuatro series, de seis bloques cada una más dos de reserva, con objeto de someterlos a distintas condiciones de humedad y temperatura antes de proceder a su rotura. Estas condiciones fueron las siguientes:

- Muestra nº 1 en condiciones estándar de laboratorio.
- Muestra nº 2 seca: 72 h en horno a 60° C y 3 h de reposo.
- Muestra nº 3 húmeda: 2 semanas en cámara húmeda a 21° C y 100%.
- Muestra nº 4 mojada: 1 h, 2 cm de inmersión 1 cara, 0,5 h de reposo invertidos.

Los bloques fueron sometidos a compresión en el Laboratorio de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid, con una máquina universal de ensayos del mismo tipo de las empleadas en la rotura de probetas de hormigón. La velocidad de carga fue de 4,1 KN/seg y las condiciones ambientales eran de 23°C y un 48% de humedad.

La máquina dispone de un automatismo que detiene el incremento de carga una vez que se produce la rotura por agotamiento a compresión de las piezas, registrando los valores de máxima carga resistidos. Además se anotaron los acortamientos que sufren los bloques y se valoraba visualmente la forma de rotura, en términos de regularidad de las piezas rotas. Se desprecia el no paralelismo perfecto de las caras, dada la escasa rigidez del material y las características de la prensa.

Los resultados así obtenidos fueron los siguientes:

Muestra en condiciones estándar de laboratorio

Los bloques de esta muestra se ensayaron en las condiciones higrotérmicas propias del laboratorio: 23° C y 48% de humedad:

Fecha: 24/05/01	ROTURA A COMPRESIÓN N° 1				
Hora: 10:30					
Muestra 1	Sección	Carga	Tensión	Forma	Acortamiento
		rotura	rotura		mm
		KN	N/mm ²		
Bloque 1.1	408,80	275	6,727	3	-4
Bloque 1.2	413,13	292	7,068	5	-3
Bloque 1.3	410,20	338	8,240	5	-2
Bloque 1.4	410,20	378	9,215	4	-3
Bloque 1.5	410,20	331	8,069	4	-3
Bloque 1.6	408,66	296	7,243	3	-3,5
	cm ²	318,33	7,760		-3,08

La tensión media de rotura fue, en este caso, de 7,76 N/mm², con una dispersión muy moderada.

Muestra seca

Se sometió a esta muestra a un secado total, manteniéndola en un horno a 60° C durante 72 h. Con ello los bloques perdían unos 175 gr, equivalentes al 2,21% de su peso inicial. Tras su salida del horno se estabilizaron durante tres horas, antes de proceder a su ensayo y rotura:

Fecha: 31/05/01	ROTURA A COMPRESIÓN N° 2				
Hora: 11:00					
Muestra 2	Sección	Carga	Tensión	Forma	Acortamiento
		rotura	rotura		mm
		KN	N/mm ²		
Bloque 2.1	410,90	481	11,706	5	-3
Bloque 2.2	410,20	322	7,850	4	-3,5
Bloque 2.3	410,20	341	8,313	4	-2,5
Bloque 2.4	410,20	387	9,434	4	-2
Bloque 2.5	410,20	438	10,678	3	-2,5
Bloque 2.6	410,20	396	9,654	2	-3
	cm ²	394,17	9,606		-2,75

La tensión de rotura ha crecido un 23,80%, hasta casi alcanzar los 10 KN/mm² observándose, también, un incremento de la rigidez.

Muestra húmeda

Para el ensayo de esta muestra se mantuvieron los bloques durante dos semanas en una cámara húmeda, a 21° C y 100% de humedad, de manera que esta pudiera penetrar en toda su masa. Con ello los bloques ganaban unos 600 gr, equivalentes al 7,81% de su peso inicial.:

Fecha: 07/06/01	ROTURA A COMPRESIÓN N° 3				
Hora: 11:00					
Muestra 3	Sección	Carga rotura	Tensión rotura	Forma	Acortamiento
		KN	N/mm ²		mm
Bloque 3.1	413,00	80	1,937	3	-3,25
Bloque 3.2	420,32	39	0,928	2	-3,75
Bloque 3.3	411,60	117	2,843	3	-3,125
Bloque 3.4	413,00	44	1,065	2	-1,625
Bloque 3.5	411,60	196	4,762	4	-2,625
Bloque 3.6	412,30	88	2,134	2	-2,375
	cm ²	94,00	2,278		-2,79

La tensión de rotura desciende dramáticamente, en el orden del 70%, bajando a 2,28 KN/mm² e incrementándose la dispersión. Sin embargo el módulo de elasticidad no resulta igualmente afectado, pues los acortamientos están en el mismo orden de magnitud que en la muestra anterior.

Muestra mojada

Los bloques de esta muestra estaban en condiciones estándar de laboratorio pero antes de su ensayo se mojaron por una de sus caras. Este proceso se hizo sumergiendo los bloques en agua por su canto, a una profundidad de 2 cm durante una hora. A continuación se mantenían los bloques invertidos otros treinta minutos. Con ello la ganancia en peso era muy pequeña: de 63 gr equivalentes al 0,81% de su peso original.

Fecha: 14/06/01					
Hora: 10:30					
ROTURA A COMPRESIÓN Nº 4					
Muestra 4	Sección	Carga rotura	Tensión rotura	Forma	Acortamiento
		KN	N/mm ²		mm
Bloque 4.1	410,20	248	6,046	2	-4
Bloque 4.2	410,20	323	7,874	3	-2
Bloque 4.3	410,20	291	7,094	2	-3,25
Bloque 4.4	410,20	164	3,998	4	-1,75
Bloque 4.5	410,20	305	7,435	3	-2,375
Bloque 4.6	408,66	253	6,191	1	-3,75
	cm ²	264,00	6,440		-2,85



Fig. 4. Muestra 4 sumergida



Fig. 5. Muestra 4 en reposo invertido

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como es sabido, las condiciones ambientales higrotérmicas influyen en el comportamiento de los bloques de tierra comprimida. La presencia de agua en cualquiera de sus formas afecta significativamente a la resistencia a compresión y a la rigidez (módulo de elasticidad o de Young), de manera que los mejores resultados se obtienen cuando el material se encuentra totalmente seco.

La resistencia media a compresión de los bloques ensayados en condiciones estándar, muestra nº 1, alcanza unos valores en el entorno de los 8 N/mm², que equivalen a la de un mortero de cemento y arena

convencional tipo M-5a (1:6). Cuando se seca completamente el material, muestra nº 2, esta resistencia aumenta casi un 24%, hasta rozar los 10 N/mm².

En ambos casos la forma de rotura arroja valores muy aceptables, lo que denota que el proceso manual de prensado de los bloques confiere a estos una adecuada compactación y homogeneidad. La densidad media obtenida se encuentra en el orden de los 1.986 Kg/m³, frente a 1.875 Kg/m³ obtenidos para adobes fabricados con barro de la misma procedencia, moldeados de la forma tradicional y secados al sol. La compactación y, más secundariamente, la adición de cemento, produce un incremento de densidad de un 6% aproximadamente. También aumenta, proporcionalmente más, la rigidez de las piezas.



Fig. 6. Piezas rotas de la muestra nº 2

Con las muestras húmedas la resistencia desciende, haciéndolo de forma significativa en las muestras en las que la humedad ha podido alcanzar la totalidad de la masa. No es una situación asimilable a la exposición, pues este hecho tiene relación con la adecuación de este tipo de técnicas y materiales al entorno en el que profusamente ha sido históricamente utilizado, y a sus condiciones medioambientales. Los valores obtenidos en húmedo expresan una dramática bajada de la resistencia a compresión, que apenas ha superado los 2 N/mm²; la cuarta parte de la tensión alcanzada por las muestras en condiciones normales y un solo 20% de la correspondiente a los valores en seco. Además, en estos casos es mucho mayor la dispersión de resultados, y la forma de rotura difiere bastante entre sí.

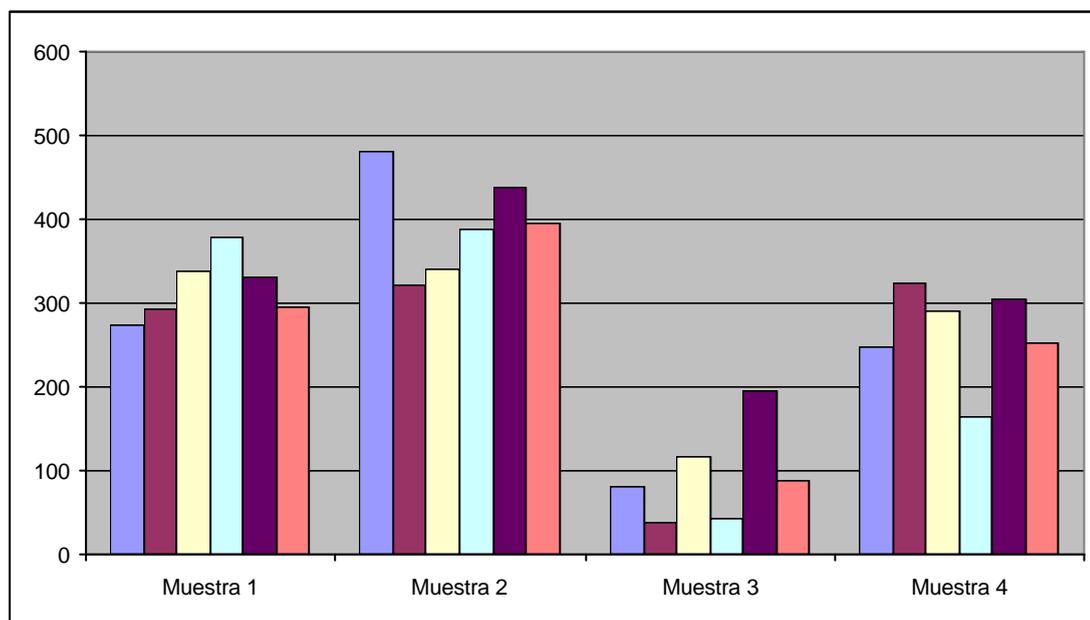


Gráfico 1. Carga de rotura de las muestras ensayadas (en KN)

Sí puede ser alcanzado en la realidad, aunque en casos extremos, un estado similar al de la muestra denominada nº 5, en la que el agua actúa sobre una cara hasta mojarla completamente. En estos casos, las piezas mantienen un comportamiento aceptable. Se rompen a una tensión de unos 6,7 N/mm², con una pérdida porcentual de un 15% sobre la lograda por las muestras en circunstancias normales. No obstante, las condiciones a que ha sido sometida esta muestra perjudican a la forma de rotura de forma aún más acusada que en el caso anterior, alejándose anárquicamente de los resultados esperados en términos morfológicos. Ello es coherente con que la rigidez obtenida no resulte tan perjudicada como la resistencia, bajando de los 261 N/mm² de la muestra en condiciones normales a unos 238 N/mm² en este último caso.



Fig. 7. Piezas rotas de la muestra nº 3



Fig. 8. Piezas rotas de la muestra nº 4

REFERENCIAS

DIAZ ROMERAL, J. et al.: *Primeros resultados del trabajo de investigación sobre la tierra como material de construcción, en el IETcc*. Informes de la Construcción, Vol. 37, nº 377, enero/febrero. 1986.

G. BARRIOS, L. et al.: *Comportamiento de los suelos para la confección de adobes (behavior of the soils for de adobe manufacturing)*. Informes de la Construcción, Vol. 37, nº 377, enero/febrero. 1986.

ESTRADA, E., ROHMER, E.: *Comprobaciones resistentes de elementos constructivos de tierra*. Informes de la Construcción, Vol. 38, nº 385, noviembre.1986.

MALDONADO, L., CASTILLA,F.J.: *La técnica del tapial en la Comunidad de Madrid. Aplicación de nuevos materiales para la consolidación de muros de tapia*. Informes de la Construcción, Vol. 49, nº 452, noviembre.1997.