

Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelos procedentes de Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba

Study of the resistance to simple compression from adobe produced with various soils from Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba

B. Saroza*, M. A. Rodríguez**, J. M. Menéndez**, I. J. Barroso**

RESUMEN

En este artículo se estudia la resistencia a compresión simple que presenta el adobe elaborado con diferentes suelos procedentes del pueblo de Crescencio Valdés, situado en el municipio de Camajuaní, Villa Clara, Cuba.

Se valora la idoneidad de la utilización de cada suelo estudiado bajo la premisa de alcanzar con el adobe elaborado una resistencia a compresión simple de 1 MPa (10 kg/cm²), ya que dicho adobe será utilizado posteriormente para edificación en dicho pueblo.

655-6

Palabras clave: adobe, materiales de construcción, resistencia a compresión, ladrillos, suelo.

1. INTRODUCCIÓN

En este artículo llamamos adobe a aquel material de construcción fabricado en forma de ladrillo y elaborado en base al suelo, constituido éste por unas adecuadas proporciones de arena, limo, arcilla, fibra orgánica y agua. La relación arcilla-arena del suelo es de gran importancia para el adobe debido a que, si no hay suficiente arcilla en la mezcla no se conseguirá la cohesión necesaria de todas las partículas para soportar las acciones a las que estará sometido, y se desmorona. Por el contrario, si no hay suficiente arena, el ladrillo se fisura por retracción de la arcilla durante el proceso de secado (1). Si el contenido de

SUMMARY

In this article we study the resistance to simple compression of the adobe bricks with building purposes. The study was carried out with various clay soils from Crescencio Valdés village, municipality of Camajuaní, Villa Clara, Cuba.

In order to select the best soils to construction we have considered 1 MPa (10 kg/cm²) as minimum resistance to simple compression. So the soils that do not verify that requirement have been improved only by adding sand.

Keywords: adobe, building materials, resistance to simple compression, bricks, clay soils.

arena que presenta el suelo se encuentra por debajo de los parámetros requeridos para su uso como material de construcción se puede recurrir a la adición de arena para mejorar sus propiedades (3).

La fibra orgánica también presenta gran importancia debido a que limita las variaciones de volumen que se producen en el adobe durante el proceso de retracción que ocurre en la etapa de secado. Es decir, evita que el ladrillo se fisure en exceso durante esta etapa. No obstante, la mayoría de las fibras orgánicas tienen las desventajas de tener que ser picadas en trozos pequeños para poder ser mezcladas en la masa de adobe, y la de disminuir la laborabilidad del mismo.

* Universidad Central de Las Villas, Cuba

** Universidad de Oviedo, España

A día de hoy, existe gran disparidad de criterios a la hora de proponer una composición adecuada del adobe en cuanto a los porcentajes de arena y arcilla. Así por ejemplo, en Perú, es frecuente utilizar suelos que contengan entre un 55 y un 75% de arena, y entre un 25 y un 45% de arcilla. En Méjico se aconseja que el suelo presente entre 45 y 70% de arena, y entre 20 y 40% de arcilla.

En Venezuela, Vélez (2) propone un valor más cerrado: 20 % de arcilla y 80 % de arena. Del mismo modo, en Chile, Barrios *et al.* (3) sugieren emplear suelos con un contenido de finos entre 35 y 45%, y un contenido de arena entre el 55 y el 65%.

Más recientemente, Duncan *et al.* (4) y (5) han sugerido un contenido de arcilla del 30%, sin decir nada respecto al contenido de arena.

Sobre la adición de arena, Barrios (3), Guinea (6) y Pérez de Salazar (7) coinciden en que la misma debe ser cuidadosa, puesto que

no sólo disminuye la retracción sino que además aumenta la porosidad, disminuye la cohesión y se pierden propiedades mecánicas de la mezcla.

Barrios (3) plantea que "...para establecer un rango se toma como nivel mínimo de arena aquél en que las fisuras, producto de la absorción de agua capilar, ya no aparezcan o sean de escasa ocurrencia y magnitud y, como nivel máximo, aquél en que se inicia la caída de resistencia a flexo tracción, el que satisface las condiciones deseables de mantener la resistencia a compresión alta y no permitir una excesiva velocidad de ascenso de humedad capilar". Barrios (3) establece este rango entre los niveles 55 y 65%.

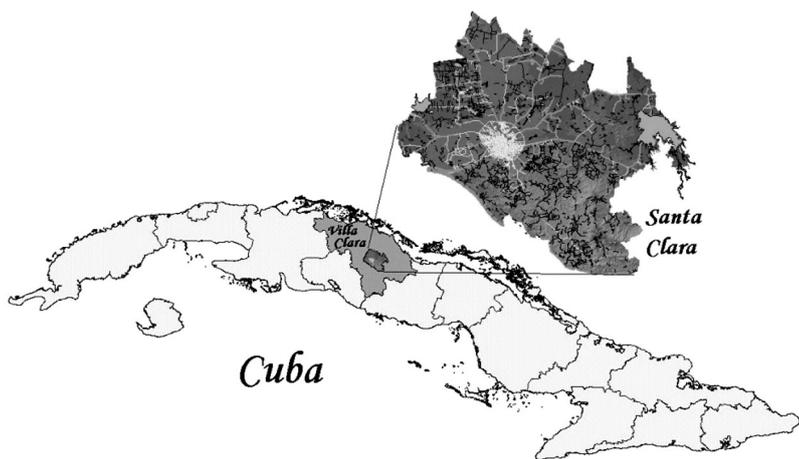
En cuanto a la plasticidad, Barrios *et al.* (3) y Guinea (6) afirman que para la mezcla de adobe es conveniente utilizar suelos con bajo índice de plasticidad, ya que cuanto más alto sea, mayor será la cantidad de agua contenida en la masa que lo convierte en moldeable y una vez seco, se tendrán mayores retracciones, por cuanto evaporará un volumen mayor de agua. Tejada (9) propone que los suelos para elaborar adobe presenten un límite líquido entre 20 y 40 y un límite plástico inferior a 20.

De acuerdo a lo que acabamos de comentar el objetivo del presente artículo es estudiar el comportamiento frente a compresión simple del adobe elaborado a partir de 12 suelos procedentes del pueblo Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba.

Este estudio permitirá seleccionar el suelo que se utilizará como base para la construcción de viviendas de adobe en dicho pueblo. En las Figuras 1 y 2 se puede ver la ubicación de la zona de estudio.

1.- Ubicación de Villa Clara dentro de Cuba.

2.- Ubicación de Crescencio Valdés dentro de Villa Clara.



1



2

2. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el trabajo aquí presentado se han seleccionado 12 suelos del pueblo Crescencio Valdés, tomados en diferentes lugares del mismo. Estos suelos se han identificado como S1, S2, ..., S12. Una muestra representativa de dichos suelos se ha llevado posteriormente al laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Central de las Villas, en Villa Clara, Cuba, para la realización del estudio de laboratorio.

Una vez en el laboratorio, se ha realizado un análisis granulométrico por tamizado en seco a cada uno de los suelos, según la norma UNE 103101:1995, con el fin de conocer los porcentajes de las distin-

tas fracciones granulométricas presentes. Se ha considerado grava a la fracción de suelo mayor de 2 mm, arena a la fracción comprendida entre 0,06 mm y 2 mm, limo a la fracción comprendida entre 2 μm y 0,06 mm, y por último, arcilla a la fracción menor de 2 μm .

A continuación se han realizado, a cada suelo, los ensayos para la obtención del peso específico de las partículas sólidas (según la norma UNE 103302:1994), la porosidad (según la norma UNE 7045:1952) y la humedad natural (según la norma UNE 103300: 1993).

Con los tres factores índice anteriores se ha procedido al cálculo del índice de huecos, peso específico seco, grado de saturación y peso específico aparente de cada suelo por aplicación de las expresiones [1] [2] [3] y [4].

$$e = \frac{n}{1-n} \quad [1]$$

$$\gamma_d = (1-n) \cdot \gamma_s \quad [2]$$

$$s = \frac{\omega \cdot \gamma_s \cdot \gamma_d}{\gamma_w \cdot (\gamma_s - \gamma_d)} \quad [3]$$

$$\gamma_t = (1-n) \cdot \gamma_s + n \cdot s \cdot \gamma_w \quad [4]$$

donde ω es la humedad natural, γ_s el peso específico de la fase sólida, n la porosidad, e el índice de huecos, γ_d el peso específico seco, s el grado de saturación y γ_t el peso específico aparente.

A continuación se ha estudiado la plasticidad de los diferentes suelos. De esta manera se han obtenido sus límites líquidos, de acuerdo a la norma UNE 103103:1994, y sus límites plásticos según la norma UNE 103104:1993. Por diferencia entre el límite líquido y el límite plástico se han obtenido los índices de plasticidad, pudiendo de esta manera clasificar los diferentes suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).

Posteriormente se han tomado 6 muestras de cada uno de los suelos y se han mezclado con fibra orgánica en una relación volumétrica suelo/fibra orgánica de 4/1 (4 partes de suelo por una parte de fibra orgánica); otras 6 muestras de cada suelo con una relación de 2/1 (2 partes de suelo por una parte de fibra orgánica) y otras 6 muestras con una relación de 1:1 (una parte de suelo por una parte de fibra orgánica). Para este estudio se ha utilizado como fibra orgánica la caña de azúcar cortada en trozos menores de 5 cm.

A cada una de las 18 mezclas de cada suelo con la fibra orgánica, se les ha realizado el

ensayo Proctor Normal, siguiendo la norma UNE 103500:1994, con el objeto de conocer la humedad, y por lo tanto la cantidad de agua a añadir en cada caso, para obtener la máxima compactación. La energía específica aplicada en este ensayo viene dada por la expresión [5].

$$E = \frac{n \cdot N \cdot W \cdot H}{V} \quad [5]$$

donde E es la energía específica; n el número de capas (3 en el caso de Proctor Normal); N el número de golpes por capa (26 en el caso del Proctor Normal); W el peso de la maza (2,5 kp en el caso del Proctor Normal), H la altura de caída libre de la maza (30,5 cm en el Proctor Normal) y V el volumen del recipiente (1.000 cm³ en el Proctor Normal). Todo esto indica que la energía específica de compactación en el caso del Proctor Normal es de 0,583 J/cm³.

Una vez conocida la cantidad de agua a añadir en cada caso, se han preparado probetas con cada una de las mezclas de cada suelo, de 70 x 70 x 70 mm, y con la humedad requerida para su compactación óptima en cada caso. Posteriormente se han compactado con la misma energía específica que en el Proctor Normal (0,583 J/cm³). Para esta compactación, y teniendo en cuenta que el volumen es de 70 x 70 x 70 mm, utilizando la misma maza, la misma altura de caída libre, y una capa en lugar de las tres utilizadas en el Proctor Normal, el número de golpes necesario ha sido de 27.

Estas muestras así preparadas se han dejado secar en el laboratorio a temperatura ambiente durante 45 días. Una vez transcurrido este tiempo, se ha procedido a la realización del ensayo de resistencia a compresión simple de cada una de las muestras siguiendo la norma específica para construcciones con tierra DIN 18952: resistencia a compresión. Previamente al ensayo se ha realizado un recapado de las caras de la probeta con el fin de crear una capa nivelada para que la presión ejercida sea uniforme en ambas caras.

Un grupo importante de autores e Instituciones como Tejada (9), Moromi (10) y Red Habiterra (11), entre otros, coinciden en que la resistencia mínima que debe alcanzar un adobe debe encontrarse entre 1,00 y 1,20 MPa como mínimo. Para este estudio se prefijó un valor mínimo de resistencia a compresión simple de 1 MPa (10 Kp/cm²).

Una vez concluidos los ensayos se elaboraron nuevas mezclas con los suelos que no alcanzaron la resistencia a compresión simple mínima requerida, con el objeto de mejorar las propiedades mecánicas de esos suelos. Se han elaborado nuevas mezclas de suelo,

de modo que el porcentaje total de arena en estas nuevas mezclas sea del 50%. De esta manera comprobamos si este porcentaje de arena es suficiente para alcanzar la resistencia a compresión simple mínima requerida.

Estas nuevas mezclas se elaboran teniendo en cuenta que, si llamamos X al porcentaje de suelo original en la nueva mezcla, Y al porcentaje de arena añadida presente en la nueva mezcla, y P₀ al porcentaje de arena del suelo original que está presente en la mezcla, se deben verificar las ecuaciones [6] y [7].

$$P_0 \cdot \frac{X}{100} + Y = 50 \quad [6]$$

$$X + Y = 100 \quad [7]$$

Una vez definida la composición de las nuevas mezclas, se han preparado 6 probetas de las mismas dimensiones que antes, con relaciones volumétricas suelo/fibra orgánica de 4/1, 2/1 y 1/1. A estas muestras se ha añadido una cantidad de agua suficiente para alcanzar la humedad que proporcionaba la compactación óptima en las muestras originales, y han sido compactadas con la misma energía específica que en los suelos originales.

Por último, se procede a la realización de los ensayos de compresión simple a las nuevas mezclas, una vez secadas en el laboratorio a temperatura ambiente durante 45 días.

3. RESULTADOS

En este apartado se indican los resultados obtenidos en el estudio de laboratorio realizado a los 12 suelos indicados.

En la Tabla 1 se ponen de manifiesto todas las propiedades obtenidas para los suelos S1 a S6

y S7 a S12. También se incluye su clasificación según el sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.). Como se puede ver, en todos los casos se trata de suelos SC, salvo los suelos S7 (SM), el S8 (CL) y el S10 (SM). También se puede destacar la baja humedad natural presente en todos ellos.

En la Figura 3 se presentan los resultados del ensayo de resistencia a compresión simple realizado a los suelos S1 a S6. Como se puede ver, y para los diferentes porcentajes de fibra orgánica estudiados, se ha alcanzado siempre un valor superior a 1 MPa (10 kg/cm²). Esto indica que todos estos suelos pueden ser aptos para su utilización como adobe para la construcción.

En la Figura 4 se presentan los resultados del ensayo de resistencia a compresión simple realizado a los suelos S7 a S12. Para los suelos S7 a S10 no ha sido posible la realización de este ensayo debido a que las muestras se fisuraban en exceso durante su secado.

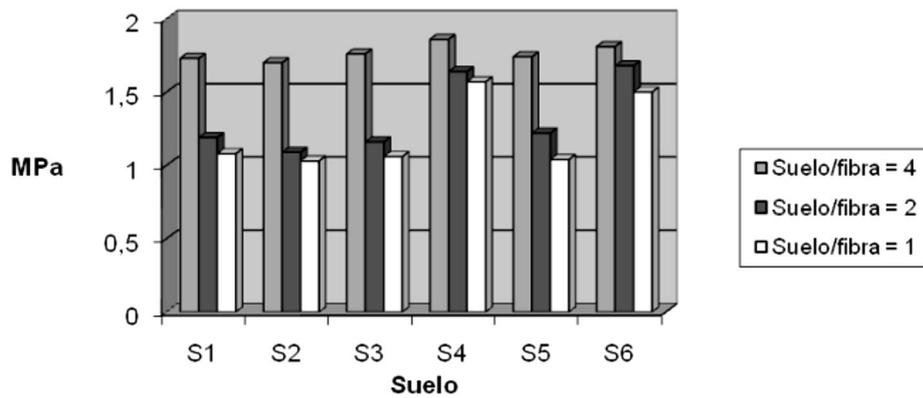
En el caso de los suelos S10, S11 y S12, aunque se han podido realizar los ensayos, no se ha alcanzado para ningún contenido de fibra orgánica la resistencia a compresión mínima requerida.

Para los suelos S7 a S12 se han elaborado nuevas muestras de suelo, de acuerdo a lo indicado en el apartado de metodología, llamando a estas nuevas mezclas S7i, S8i,.....S12i.

En la Tabla 2 se aprecian los porcentajes de suelo original así como el porcentaje de arena añadida para la elaboración de estas nuevas mezclas. Asimismo, en la Tabla 3 se indican los porcentajes de las distintas fracciones granulométricas existentes en las

Tabla 1
Propiedades de los suelos S1 a S12

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
% de grava	2	9	0	0	5	0	7	0	0	37	11	4
% de arena	61	56	61	68	55	57	11	36	29	32	43	45
% de limo	8	12	16	16	18	26	40	22	35	10	26	36
% de arcilla	29	23	23	16	22	17	42	52	36	21	20	15
Límite Líquido	35,20	36,80	38,50	31,80	48,20	30,40	34,10	35,40	43,70	40,20	31,80	38,20
Límite Plástico	19,20	18,50	19,60	17,70	23,80	16,60	28,80	24,10	25,70	28,00	17,20	23,10
Índice de Plasticidad	16,00	18,30	18,90	14,10	24,40	13,80	5,30	11,30	18,00	12,20	14,60	15,10
Humedad (%)	8	5	7	5	7	3	4	4	6	3	4	5
Porosidad (%)	30	34	32	31	41	35	29	38	36	37	28	30
Peso específico fase sólida (kN/m ³)	26,40	26,40	26,30	26,80	27,20 ¹	26,60	26,70	27,00	27,10	27,60	26,90	26,90
Índice de huecos (%)	43	52	47	45	69	54	41	61	56	59	39	43
Peso específico seco (kN/m ³)	18,48	17,42	17,88	18,49	16,05	17,29	18,96	16,74	17,34	17,39	19,37	18,83
Grado de saturación (%)	49	26	39	30	27	15	26	18	29	14	28	31
Peso específico aparente (kN/m ³)	19,96	18,30	19,14	19,42	17,17	17,81	19,72	17,41	18,38	17,91	20,14	19,77
S.U.C.S.	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SM	CL	SC	SM	SC	SC



3.- Resistencia a compresión simple de los suelos S1 a S6.

4.- Resistencia a compresión simple de los suelos S7 a S12.

5.- Resistencia a compresión simple de los suelos S7i a S12i.

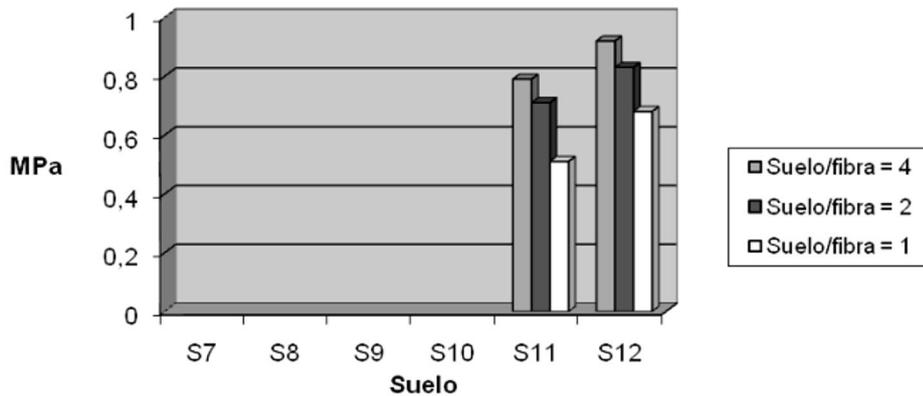
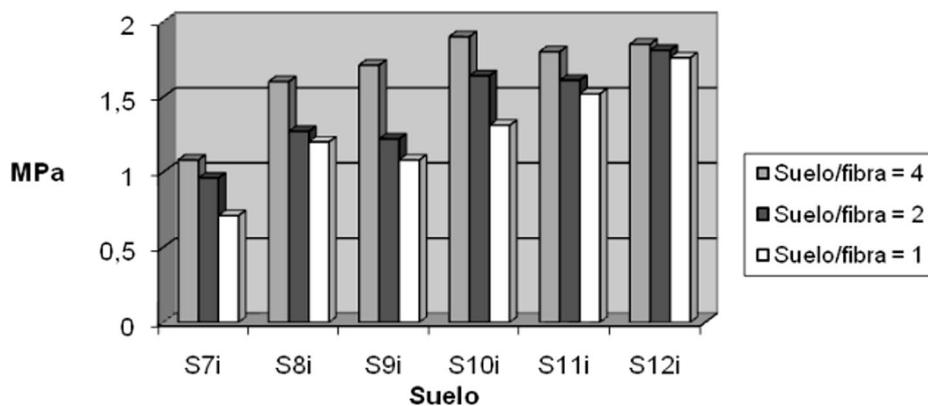


Tabla 2
Composición final de los suelos S7i a S12i

	S7i	S8i	S9i	S10i	S11i	S12i
Suelo original en la mezcla (%)	56	78	70	74	88	91
Arena añadida en la mezcla (%)	44	22	30	26	12	9

Tabla 3
Composición de las nuevas mezclas

	S7i	S8i	S9i	S10i	S11i	S12i
(%) de grava	3,92	0	0	27,38	9,68	3,64
(%) de arena	50,16	50,08	50,3	49,68	49,84	49,95
(%) de limo	22,4	17,16	24,5	7,4	22,88	32,76
(%) de arcilla	23,52	40,56	25,2	15,54	17,6	13,65



nuevas mezclas. Por último, en la Figura 5 se pueden apreciar los valores de resistencia a compresión simple de las nuevas mezclas,

para los diferentes contenidos de fibra orgánica. Se puede observar ahora cómo se supera en todos los casos el valor de resistencia

requerido, salvo para la mezcla S7i, en la que para las relaciones volumétricas suelo/fibra orgánica de 2 y de 1 siguen sin alcanzar el valor mínimo.

4. CONCLUSIONES

- Según se ha podido constatar en la bibliografía consultada (1-7), no existe consenso a la hora de recomendar los porcentajes de arena y arcilla que debe presentar el adobe para construcción. No obstante sí parece haber consenso en que el porcentaje de arcilla existente en el suelo debe ser siempre superior al 15% para que la mezcla del adobe tenga suficiente cohesión.

- Los suelos S1 a S6 han ofrecido resistencias a compresión simple superiores a 1 MPa (10 kp/cm²), dándose la circunstancia de que todos ellos tienen un contenido de arena superior al 50%. Además en todos los casos se trata de suelos "SC" según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

- Los suelos S1 a S6 son en todos los casos aptos para la elaboración de adobes con fines constructivos. No obstante es aconsejable añadirles una cantidad de fibra orgánica en una relación volumétrica suelo/fibra orgánica de 4, pues es la que en todos los casos ha conferido al adobe la mayor resistencia a compresión.

- Podemos decir que los suelos S7 a S12 no son aptos para la elaboración de adobes, mientras se mantengan las proporciones originales de sus fracciones granulométricas. Esto es debido a que, o bien no se alcanzan las resistencias adecuadas, o bien se fisuran en exceso.

- Los suelos S7 a S12 tienen como característica común que ninguno de ellos alcanza el porcentaje de arena del 50%. No es aconsejable utilizar estos suelos para la elaboración de adobe para construcción. El motivo de la excesiva fisuración de los suelos S7 a S10 ha sido debido, no cabe duda, al escaso contenido de arena presente en la mezcla.

- Tomando como base los suelos S7 a S12 se han elaborado nuevas mezclas de suelo, S7i a S12i, mediante la adición de arena, con la característica común de que en todas ellas el contenido de arena sea del 50%. Para estas nuevas mezclas se ha superado en todos los casos la resistencia a compresión simple de 1 MPa (10 kp/cm²), salvo para el suelo S7i, en el que sólo se ha superado dicho valor para una relación volumétrica suelo/fibra orgánica de 4.

- Al igual que ocurría con los suelos S1 a S6, para estas nuevas mezclas también se alcanzan los mayores valores de resistencia a compresión simple cuando la relación suelos/fibra orgánica es de 4. Por lo tanto cualquiera de los suelos S7i al S12i puede ser utilizado para la elaboración de adobes para edificación (en el caso del suelo S7i sólo con una relación suelo/fibra de 4).

- Se ha puesto de manifiesto que, aun cuando los suelos inicialmente no puedan ser utilizados para la elaboración de adobe, se puede mejorar su comportamiento mecánico mediante la adición de arena, alcanzando al menos un porcentaje del 50% de la misma, y siempre que el contenido de arcilla sea el adecuado.

- Por último, podemos decir que los suelos S4 y S10i han sido los que, con una relación volumétrica suelo/fibra orgánica de 4, han presentado una mayor resistencia a compresión simple. Por lo tanto podemos considerar a estos suelos como los más recomendables para la elaboración del adobe de construcción en Crescencio Valdés.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido desarrollado gracias a la colaboración de la Agencia Española de Cooperación Internacional, al Departamento de Relaciones Internacionales de la Universidad de Oviedo en España y al Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales de la Universidad Central de las Villas en Cuba.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Rodríguez Díaz, M. A.; Saroza Horta, B. "Identificación de la composición óptima del adobe como material de construcción de una escuela en Cuba". Nº 282. *Mater. Construcc.* ISSN: 0465-2746. Madrid, España. 2005.
- (2) Vélez Jahn, G. "El increíble silencio de las paredes de barro". ICVA. I Congreso Virtual de Arquitectura. Conferencia del Microcurso A8. Arquitectura de barro. Caracas, Venezuela. 2000.
- (3) Barrios, G.; Álvarez, L.; Arcos, H.; Marchant, E. y Rosi, D. "Comportamiento de los suelos para la confección de adobes", *Informes de la construcción*. Nº 377, Vol.37. Instituto Eduardo Torroja. Madrid. España. 1987. p. 43.
- (4) Ducman, V.; Kopar, T. "Potential use of waste stone mud in the clay based industry". *Industrial Ceramics* vol. 24 (1) (2004) pp. 8-12

- (5) Ducman, V.; Kopar T.; Sánchez, E. "Potential use of granite polishing waste in the production of clay bricks". *Industrial Ceramics*, vol. 25 (3) (2005) pp. 164-169
- (6) Guinea Díaz, M. J. "La tierra, material resistente al agua". Monografía No. 385/386. Instituto Eduardo Torroja. Equipo VMBC. Madrid. España. 1987. p. 25-30.
- (7) Pérez de Salazar Vereá, F. "Tecnología de la Arquitectura con tierra sin cocimiento". Tesis doctoral. Facultad de Arquitectura. México D.F. México. 1989.
- (8) Tejada Schmidt, U. "Técnicas de preparación y estabilización del adobe". V Curso Internacional sobre edificaciones de Bajo Costo en zonas sísmicas. Editado por CISMID y la Universidad Nacional de Ingeniería. Perú. Octubre, 1993.
- (9) Moromi Nakata, I. "Materiales utilizados en edificaciones de bajo costo". V Curso Internacional sobre edificaciones de Bajo Costo en zonas sísmicas. Editado por CISMID la Universidad Nacional de Ingeniería. Perú. Octubre, 1993.
- (10) Red Habiterra. "Recomendaciones para la elaboración de normas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo cemento". Habiterra CYTED. Bolivia. 1995. p. 110.

* * *