

Identificación de la composición óptima del adobe como material de construcción de una escuela en Cuba

Determination of the optimum composition of adobe brick for a school in Cuba

M. A. Rodríguez^(*) y B. Saroza^(**)

Recepción/Received: 28-X-04
Aceptación/Accepted: 03-X-05

RESUMEN

El objetivo del presente artículo es estudiar la composición que debe tener el adobe, tanto simple como estabilizado, como material de construcción. Con este propósito, se caracteriza el suelo arcilloso de un pueblo de Villa Clara, Cuba, donde se prevé la construcción de varias casas de adobe, así como de una escuela infantil.

Se realiza un estudio de compactación, resistencia a compresión simple y de absorción capilar, tanto al adobe simple como al adobe estabilizado con cal, miel y asfalto, según diferentes dosificaciones.

En este artículo, se presentan los resultados obtenidos, comparándolos entre sí, y llegando a la conclusión de que la estabilización del adobe simple con un 2% del asfalto utilizado confiere al adobe las mejores propiedades tanto resistentes como frente a la humedad.

Palabras clave: adobe, caracterización, proporción de mezcla, propiedades mecánicas, resistencia a compresión.

SUMMARY

The present article describes a study conducted to determine the ideal composition of both traditional and stabilized adobe as a construction material. The clay soil of a village in Villa Clara, Cuba, was characterized for its suitability to build several adobe structures for a facility for pre-schoolers.

Consolidation, simple compressive strength and capillary absorption tests were run on both traditional adobe and material stabilized with different doses of hydrated lime, molasses and asphalt.

The results, compared hereunder, led to the conclusion that the highest strength and moisture resistance is achieved by stabilizing traditional adobe with 2% asphalt.

Keywords: Adobe, characterization, mixture proportion, mechanical properties, compressive strength.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de materiales de construcción tomando como base el suelo terrestre es tan antiguo como la propia humanidad, convirtiéndose su empleo, a lo largo de los siglos, en

1. INTRODUCTION

The use of soil-based construction materials is an age-old technique common to many parts of the world. Traditional adobe is used in many, primarily developing,

^(*) Universidad de Oviedo.

^(**) Universidad Central de Las Villas, Cuba.

algo común en muchas partes del mundo. Las tradicionales técnicas del adobe son ampliamente empleadas en muchos países, fundamentalmente en los países en vías de desarrollo, constituyendo un material de construcción para más de 1.500 millones de personas en la actualidad.

Desde los EE.UU. hasta la Patagonia, desde el Sáhara hasta el Cono Sur Africano, en Asia y en Oriente, y hasta en Europa, cerca del 50% de los seres humanos viven en casas de tierra, lo que significa que este material se continúa utilizando a pesar del transcurso de los años.

El término adobe proviene del vocablo árabe "attub", que significa ladrillo secado al sol. La primera evidencia de construcción con ladrillos de barro secados al sol que se conoce es de 9.000 años a.C., y lo constituye la Muralla de Jericó en Palestina, de la cual aún quedan restos. Pero fueron los egipcios quienes usaron asiduamente este material. Las paredes de sus viviendas estaban formadas por ladrillos planos y pequeños hechos mediante hojarasca mezcladas con arcilla y secados al sol. Estas paredes podían estar revestidas con cal tanto para su protección como para mejorar la apariencia de la construcción. También en Mesopotamia los templos más antiguos eran de adobe, siendo aquí donde se inventó la caja de molde en el tercer milenio a.C. Otros ejemplos lo constituyen la ciudad de Atenas que, tres siglos a.C., fue creciendo a los pies de la Acrópolis con la aparición de densos barrios construidos con adobe, y la gran Muralla China que, construida en el siglo III d.C., está formada por varios tramos de adobe.

Es dentro de este contexto general desde donde debe entenderse el trabajo que se pone de manifiesto en el presente artículo. Al igual que en el resto del mundo, también en Cuba ha tenido mucha importancia el adobe como material de construcción, basándose fundamentalmente las construcciones de adobe en conocimientos empíricos. Por esta razón aparecían con frecuencia daños estructurales en las edificaciones, haciendo peligrar su integridad.

De manera general podemos definir adobe como ladrillos de "barro" ("tierra") sin cocer a los que se les añade algún material orgánico. De acuerdo a esto, y siguiendo la clasificación propuesta por la norma peruana E-0.80. Adobe (1), y en la que coinciden la red Habiterra (2), Pérez de Salazar (3) y Tejada (4), podemos distinguir dos tipos de adobe:

- *adobe simple*, constituido por unas adecuadas proporciones de arena, arcilla, fibra orgánica y agua y
- *adobe estabilizado* donde, dada la escasa resistencia frente a la humedad que presenta el adobe simple, se le añade algún elemento, que llamamos estabilizante, para mejorar esta propiedad.

countries and is a key construction material for over 1.5 billion people today.

From the USA to Patagonia, from the Sahara to the southern cone of Africa, in Asia and the East and even in Europe, nearly 50% of the population lives in mud-based homes, proof that this material is still very much in use.

The word adobe comes from the Arabic "attub", meaning sun-dried brick. The first known evidence of sun-dried mud brick construction, the walls of Jericho in Palestine, remains of which are still standing, dates from 9000 BCE. But Egyptian civilization was the one that used this material most assiduously. The walls of dwellings were built with small flat bricks made of a mix of clay and dead leaves, dried in the sun. These walls were sometimes whitewashed both for protection and aesthetics. The box mould was invented in the third millennium BCE in Mesopotamia, where the oldest temples were also made of adobe. Other examples are the city of Athens, whose dense clusters of adobe structures began to spring up at the foot of the Acropolis three centuries before the common era, and a number of sections of the Great Wall of China, built in the third century CE.

It is against this backdrop that the present paper should be understood. As in the rest of the world, adobe has been an important building material in Cuba, where adobe construction is based essentially on practical experience. This would explain the frequent appearance of structural damage that endangers the integrity of buildings.

A general definition of adobe would be non-fired "mud" ("soil") bricks mixed with some organic material. Further to that definition and adopting the classification proposed in Peruvian standard E-0.80 "Adobe" (1), endorsed by the Habiterra network (2), Pérez de Salazar (3) and Tejada (4), two types of adobe can be distinguished:

- *traditional adobe*, comprising appropriate proportions of sand, clay, organic fibre and water and
- *stabilized adobe* where another element called a stabilizer is added to enhance the scant moisture resistance of traditional adobe.

La función de la arcilla dentro del adobe es lograr la cohesión del conjunto de partículas que componen el mismo. Pero dicho contenido no debe ser excesivo, pues dada su afinidad por el agua, aumentaría su retracción durante el proceso de secado y, por consiguiente, el riesgo de fisuración. Por esta razón, en ocasiones, es necesario añadir arena para limitar los efectos perjudiciales de la retracción. Respecto a la adición de arena, Pérez de Salazar (3), Barrios *et al.* (5) y Guinea (6) coinciden en que la misma debe ser cuidadosa, pues aumenta la porosidad, disminuye la cohesión y se pierden propiedades mecánicas de la mezcla.

En cuanto al papel del material orgánico es, según Guillaud (7), el siguiente:

- Disminuye la retracción durante el secado, repartiendo la tensión resultante durante dicho proceso en toda la masa de material.
- Acelera el secado al facilitar el drenaje hacia el exterior por los canales de la fibra.
- Aligera el material.
- Aumenta también ligeramente la resistencia a tracción del adobe.

Por último, Ruiz *et al.* (8) indica que los efectos de un buen estabilizante son los siguientes:

- Aumenta la resistencia a compresión del adobe al aglomerar sus partículas.
- Reduce o elimina completamente la absorción de agua (causante de dilataciones, contracciones y erosiones internas), sellando los huecos y cubriendo las partículas de arcilla con una película impermeable.
- Reduce el agrietamiento del adobe.

Teniendo en cuenta los comentarios anteriores, podemos decir que el objetivo del presente artículo es identificar la composición óptima que debe tener el adobe estabilizado para utilizarlo como material de construcción para la edificación de una escuela infantil en un pueblo de Villa Clara, Cuba, de acuerdo a la metodología de trabajo que se pone de manifiesto en el siguiente punto.

2. METODOLOGÍA

Tanto para la identificación de los componentes que confieren al adobe el mejor comportamiento estructural, como para el conocimiento de la proporción en que éstos deben ser mezclados, se han seguido técnicas de laboratorio propias de Mecánica de Suelos. Si bien existen técnicas de campo para conocer cualitativamente la idoneidad de un suelo para construcciones de adobe, es en

*Clay provides the matrix that binds all the particles comprising adobe. But given its affinity for water, if the clay content is overly high, drying shrinkage is intensified and with it the risk of cracking. Sand is sometimes added to curb the adverse effects of shrinkage. Pérez de Salazar (3), Barrios *et al.* (5) and Guinea (6) warn, however, that sand should be added very carefully, for it increases porosity and weakens binding properties, leading to lower mechanical strength.*

According to Guillaud (7), the role of organic material, in turn, is:

- *To decrease drying shrinkage, distributing the stress generated during that process across the entire mass of the material.*
- *To accelerate drying by facilitating outward drainage along the channels formed by the fibre.*
- *To lighten the material.*
- *To raise adobe tensile strength.*

*Lastly, Ruiz *et al.* (8) note that the effects of a good stabilizer are as follows:*

- *Increase in adobe compressive strength due to particle binding.*
- *Reduction or elimination of water absorption (which causes expansion, contraction and internal erosion) thanks to the waterproof film that seals pores and clay particles.*
- *Reduced adobe cracking.*

In light of the above comments, the objective of the study described in the present article was to identify the optimum composition for stabilized adobe to build a pre-school facility in a village in Villa Clara, Cuba.

2. METHODOLOGY

Laboratory techniques characteristic of soil mechanics were used both to identify the components that ensure the best structural performance in adobe and determine the most appropriate proportions. While the qualitative suitability of a soil for use as adobe can be established with field techniques, laboratory testing lends rigour to such procedures and to the determination of the most

base a ensayos de laboratorio donde se alcanza con rigor dicho conocimiento, permitiendo conocer las proporciones adecuadas de cada elemento que constituye el adobe, con el fin de obtener las propiedades óptimas.

De este modo, se ha procedido a caracterizar el suelo del pueblo Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba, en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Central de Las Villas, con el objeto de buscar las proporciones idóneas de cada elemento del adobe.

Una vez inspeccionada la zona, y tras su estudio de laboratorio, se ha considerado que el suelo allí existente podía ser utilizado como materia prima para la elaboración de adobe. Realizada la clasificación de dicho suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS, derivado del sistema desarrollado por Casagrande (9), se ha podido constatar que se trataba de un suelo SC, es decir, una arena arcillosa, presentando, como media, un 60% de arena, un 15% de limo y un 25% de arcilla, proporciones que se han mantenido constantes en todos los ensayos de laboratorio realizados.

Una vez identificados los porcentajes de arena, limo y arcilla, se ha procedido a fijar el contenido de materia orgánica. Teniendo en cuenta que a medida que aumenta el porcentaje de materia orgánica disminuye la trabajabilidad del adobe, y ante la ausencia de recomendaciones específicas, se ha decidido realizar los distintos ensayos de laboratorio con relaciones volumétricas suelo/materia orgánica de 4, 2 y 1, es decir, con 25, 50 y 100% en volumen de materia orgánica respecto del suelo. En nuestro caso se ha utilizado como material orgánico caña de azúcar cortada en pequeños trozos.

A continuación se ha dado paso al estudio de laboratorio tanto del adobe simple como del adobe estabilizado. En la actualidad se puede utilizar un gran número de estabilizantes, tanto naturales como artificiales, no existiendo un estabilizante universal que pueda ser utilizado en todos los casos. Según Ruiz *et al.* (8), la elección del estabilizante más adecuado depende del constructor, de la existencia del mismo en la zona, así como de la realización de ensayos con diferentes estabilizantes y proporciones.

Así pues, atendiendo no sólo a la disponibilidad local, sino también a su coste y aceptación social, se han utilizado como estabilizantes en esta investigación cal hidratada, miel de caña (melaza), una combinación de ambos y un asfalto de Varadero (Cuba), llamado asfalto AVE 200. En la Tabla 1 se pueden apreciar las características más importantes de estos estabilizantes, y en la Tabla 2 los porcentajes en peso utilizados para cada uno, junto con el porcentaje volumétrico de materia orgánica en cada caso.

suitable mix proportioning to optimize the material properties.

With this aim in mind, soil from Crescencio Valdés, a village in Villa Clara, Cuba, was characterized in the Las Villas Central University's Soil Mechanics Laboratory.

After inspecting the area and conducting laboratory studies, the soil was found to be usable as a prime material for adobe manufacture. It was identified to be an SC type soil pursuant to Unified Soil Classification System (Spanish acronym, SUCS) terminology, which is based on a system developed by Casagrande (9): i.e., a sandy clay with an average of 60% sand, 15% silt and 25% clay. These proportions were consistently found in all the laboratory tests conducted.

The procedure for fixing adobe organic content was as follows. Given that the higher the percentage of organic matter the lower adobe workability and in the absence of any specific recommendations, laboratory tests were run with soil/organic matter volumetric ratios of 4, 2 and 1, i.e., with one quarter, one half and one part of organic matter, by volume, to one part of soil (hereafter, 25, 50 and 100%, respectively). The organic matter employed in the present experiment was finely chopped sugar cane.

*Both traditional and stabilized adobe was studied. A large number of possible natural and artificial stabilizers is in use at this time, although none is universally appropriate. According to Ruiz *et al.* (8), the choice of the most suitable stabilizer depends on the contractor, availability in the area and the results of testing with different stabilizers and proportions.*

On the grounds not only of local availability but also of cost and social acceptance, the stabilizers used in this study were hydrated lime, molasses, a combination of the two and AVE 200 asphalt from Varadero, Cuba. The most relevant characteristics of these stabilizers are given in Table 1, while Table 2 shows the percentages by weight used of each for the different volumetric proportions of organic matter.

Tabla 1 / *Table 1*
 Características de los estabilizantes utilizados
Characteristics of the stabilizers used

Estabilizante <i>Stabilizer</i>	Propiedades más importantes <i>Most relevant properties</i>
Cal hidratada distribuida por el Ministerio del Azúcar de Cuba <i>Hydrated lime distributed by the Cuban Sugar Ministry</i>	Porcentaje de CaO = 85% Residuos arenosos / <i>Sandy residue</i> = 2.93%
Miel de caña de azúcar / <i>Molasses</i>	Brix (Porcentaje sólidos solubles) / <i>Brix (soluble solids)</i> = 92% Pol (Porcentaje sacarosa) / <i>Pol (sucrose)</i> = 38.81%
Asfalto AVE 200 / <i>AVE 200 asphalt</i>	Agua / <i>Water</i> = 3% Densidad / <i>Density</i> = 0.9937 g/cm ³ Viscosidad (25°) / <i>Viscosity (25°)</i> = 0.018 m ² /s Viscosidad (40°) / <i>Viscosity (40°)</i> = 0.0044 m ² /s Viscosidad (50°) / <i>Viscosity (50°)</i> = 0.0026 m ² /s

Tabla 2 / *Table 2*
 Estabilizantes y porcentajes utilizados
Stabilizers and percentages used

Materia Orgánica <i>Organic matter</i>	Cal <i>Lime</i>	Miel <i>Molasses</i>	Miel y cal <i>Molasses and lime</i>	Asfalto AVE 200 <i>AVE 200 asphalt</i>
25%	5%	3%	3%-2%	2%
	8%	5%	5%-2%	4%
	12%	7%	7%-2%	6%
50%	5%	3%	3%-2%	2%
	8%	5%	5%-2%	4%
	12%	7%	7%-2%	6%
100%	5%	3%	3%-2%	2%
	8%	5%	5%-2%	4%
	12%	7%	7%-2%	6%

El primer ensayo realizado en el laboratorio ha sido el ensayo de compactación al adobe simple, según la norma UNE 103500:1994 "Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor normal", para diferentes porcentajes de materia orgánica. De este modo se ha podido conocer la humedad que proporciona la mayor compactación en cada caso, y por lo tanto, a utilizar en posteriores ensayos.

Para obtener la curva de compactación del adobe simple correspondiente a cada porcentaje de materia orgánica, se han elaborado en cada caso cinco muestras con distinto contenido de agua, calculando la compactación para cada una de ellas de acuerdo a la norma anteriormente mencionada. Posteriormente, con esos cinco valores se traza la curva *compactación vs humedad*, identificando el valor de la humedad que proporciona la máxima compactación. Este proceso se ha repetido doce veces para cada uno de los porcentajes de materia orgánica utilizados, es decir, se han obtenido doce curvas de compactación para un porcentaje volumétrico de materia orgánica del 25%,

The first laboratory test conducted was to determine the consolidation of traditional adobe with different percentages of organic matter, proceeding as described in Spanish standard UNE 103500:1994 (on the standard proctor test). The amount of water found to afford the best consolidation in each case could then be used in subsequent trials.

Five samples with a different water content were prepared to obtain the traditional adobe consolidation curve for each percentage of organic matter, determining consolidation as stipulated in the above standard. The values found were then plotted on a consolidation vs moisture curve to identify the water content with which maximum consolidation was attained. This process was repeated twelve times for each percentage of organic matter used, i.e., twelve consolidation curves were found for 25%, twelve for 50% and twelve for 100% organic matter. The representative value of water content for each proportion of organic matter was taken as the

otras doce para el 50% y otras doce para el 100%. Se ha tomado como valor representativo de la humedad para cada porcentaje de materia orgánica el correspondiente a la media de los doce valores de humedad que han proporcionado la máxima compactación en cada caso, permaneciendo este parámetro constante en futuros ensayos y dejando tan sólo como variable el porcentaje en peso de estabilizante.

El siguiente ensayo realizado ha sido el ensayo de compresión simple, siguiendo la norma específica para construcciones con tierra "DIN 18952 hoja 2. Resistencia a compresión". Hay que señalar que antes de ejecutar este ensayo se ha realizado a cada una de las muestras un recapado, con el fin de crear una capa nivelada para que la presión que se ejerciera fuera uniforme en toda la probeta.

Para este ensayo se han moldeado 12 probetas de adobe simple con el 25, 50 y 100% de materia orgánica (36 en total), y 12 probetas de adobe estabilizado para cada dosificación de la Tabla 2, resultando un total de 468 muestras. En todos los casos se utilizó el contenido de agua obtenido en el ensayo de compactación del adobe simple correspondiente, procediendo a la realización del ensayo de compresión a los 30 días de conformada la muestra. Debe mencionarse que el criterio que hemos seguido para dar como apto el material para la construcción es que tenga como mínimo una resistencia a compresión simple de 1 MPa, ya que un grupo importante de autores e instituciones como la red Habiterra (2), Tejada (4), Guillaud (7), Aguiñaga *et al.* (10), Moroni (11) y UNESCO (12) así lo aconsejan.

Posteriormente, se pasó al estudio del ensayo de absorción capilar, tanto del adobe simple como del adobe estabilizado con los diferentes estabilizantes. Aquí también se han conformado 12 muestras para cada caso, y al igual que en el caso anterior, de 7 x 7 x 7 cm³.

El ensayo de absorción capilar consiste en colocar las muestras en una bandeja sumergidas con una altura constante de agua de 1 cm, produciéndose la absorción por capilaridad. Hay que señalar que continuamente se chequea la altura de la columna de agua para que cuando baje de 1 cm, por la absorción de las probetas, se adicione más hasta alcanzar la altura indicada. Las muestras se pesan cada 24 horas hasta peso constante.

Con este ensayo se tiene una información acerca de la cantidad de agua (g/cm²) que es capaz de absorber el material, utilizando para ello la siguiente Ecuación [1]:

$$AC = \frac{PH - PS}{S} \quad [1]$$

mean of the twelve values yielding maximum consolidation in each case. The resulting Figure was then used in all future trials, where the only variable was the percentage of stabilizer (by weight) added.

Specimens were subjected to a simple compressive test to standard DIN 18952 (on compressive strength testing for mud-based construction). All samples were capped prior to testing to provide a level surface and ensure that pressure was applied evenly across the entire specimen.

*Twelve specimens were made with traditional adobe containing 25, 50 and 100% organic matter (36 in all), in addition to 12 specimens stabilized with each of the doses shown in Table 2, for a total of 468 samples. In all cases, the water content used was as found in the consolidation test for the respective traditional adobe; compressive tests were run 30 days after specimens were moulded. The criterion for material aptness for construction was a minimum compressive strength of 1 MPa, as recommended by numerous authors and institutions, such as Habiterra (2), Tejada (4), Guillaud (7), Aguiñaga *et al.* (10), Moroni (11) and UNESCO (12).*

Both traditional and stabilized adobe was likewise tested for capillary absorption. Here, as above, twelve 7 x 7 x 7 cm³ samples were prepared for each case.

In the capillary absorption test, the samples were placed on a tray in a constant depth of of water (1 cm), which was continuously monitored. More water was added when the level dipped below 1 cm as a result of absorption by the specimens, which were weighed every 24 hours until a constant weight was reached.

The amount of water absorbed by the material (g/cm²) was found from the following Equation [1]:

donde:

S es el área de las caras de la muestra sumergidas,
 PS es el peso seco,
 PH es el peso húmedo constante, y
 AC la absorción capilar.

where:

S is the area of the submerged surface,
 PS is the dry weight,
 PH is the constant wet weight,
 AC is capillary absorption.

3. RESULTADOS

En el presente punto se ponen de manifiesto los resultados obtenidos en los diferentes ensayos de laboratorio.

Comenzamos poniendo de manifiesto en la Tabla 3 la compactación máxima alcanzada en el adobe simple, así como la humedad para la que se alcanza. Como se puede apreciar, la mayor compactación se ha alcanzado para el 25% de materia orgánica, alcanzando una densidad seca de 1,27 t/m³ para una humedad del 31,57%.

En la Tabla 4 se pueden apreciar los valores medios de la resistencia a compresión simple obtenida en los ensayos de laboratorio, tanto para el adobe simple como para

3. RESULTS

The laboratory results obtained are discussed below.

Table 3 gives the maximum consolidation reached in traditional adobe and the water content at which it was attained. As the Table shows, consolidation was highest, with a dry density of 1.27 t/m³, for 25% organic matter and a water content of 31.57%.

The simple compressive strength values for both traditional and stabilized adobe are shown in Table 4. The maximum values obtained for each stabilizer, corresponding in

Tabla 3 / Table 3
 Resultados del ensayo de compactación
 Consolidation test results

Materia orgánica Organic matter	γ_d (t/m ³) γ_d (t/m ³)	Humedad óptima (%) Optimum water content (%)
25%	1.27	31.57
50%	1.18	29.82
100%	1.10	37.32

Tabla 4 / Table 4
 Valores medios de compresión simple (MPa)
 Mean simple compressive strength values (MPa)

			Porcentaje materia orgánica Organic matter		
			25%	50%	100%
Adobe simple <i>Traditional adobe</i>			1.54	0.94	0.83
Adobe estabilizado <i>Stabilized adobe</i>	Cal / Lime	5%	0.45	0.42	0.48
		8%	0.41	0.54	0.56
		12%	0.43	0.48	0.42
	Miel / Molasses	3%	1.44	0.98	1.22
		5%	1.34	1.24	1.24
		7%	1.42	1.31	1.28
	Cal y miel Lime and molasses	2%, 3%	1.37	1.32	1.00
		2%, 5%	1.30	1.24	1.58
		2%, 7%	1.24	1.56	1.22
	Asfalto AVE 200 AVE 200 asphalt	2%	1.90	1.70	1.42
4%		1.56	1.22	1.21	
6%		1.48	1.51	1.41	

el adobe estabilizado. Del mismo modo, en la Figura 1, se comparan los valores máximos obtenidos para cada estabilizante, que corresponden a los mayores valores de la Tabla 4 en cada caso.

Por último, en la Tabla 5 se muestran los resultados medios obtenidos para la absorción capilar en cada caso expresados en g/cm².

each case to the highest values in Table 4, are compared in Figure 1.

Lastly, Table 5 gives the mean capillary absorption in each case, expressed in g/cm².

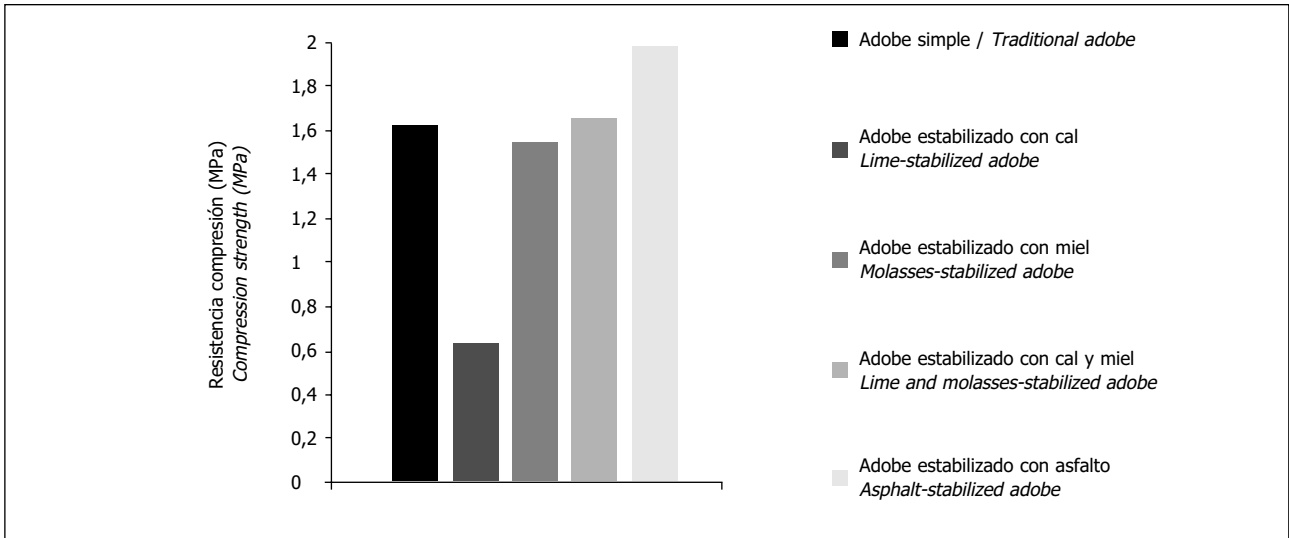


Figura 1. Comparación de los resultados del ensayo de compresión
 Figure 1. Comparison of compressive test results

Tabla 5 / Table 5
 Valores medios de Absorción Capilar (g/cm²)
 Mean capillary absorption values (g/cm²)

			Porcentaje materia orgánica			
			Organic matter			
			25%	50%	100%	
Adobe simple			3.28	3.20	3.78	
Traditional adobe						
Adobe estabilizado	Cal / Lime	5%	3.06	3.12	3.40	
		8%	3.17	3.29	3.27	
		12%	2.91	3.4	3.38	
	Miel / Molasses	3%	2.47	2.25	3.33	
		5%	3.73	3.02	3.22	
		7%	3.73	2.90	3.21	
	Cal y miel	2%, 3%	2.88	2.76	2.58	
		Lime and molasses	2%, 5%	2.58	3.00	2.39
		2%, 7%	2.33	2.77	2.52	
	Asfalto AVE 200	2%	0.81	1.24	0.89	
AVE 200 asphalt		4%	0.8	0.89	0.82	
6%		0.69	0.7	0.75		

4. CONCLUSIONES

En el presente artículo se ha comparado el comportamiento, tanto del adobe simple como del adobe estabilizado con cal, miel de caña y asfalto, como material de construcción, basándonos en ensayos de compactación, de resistencia a compresión simple y de absorción capilar, y bajo diferentes porcentajes de materia orgánica, llegando a las siguientes conclusiones:

- El adobe simple sólo ofrece una resistencia a compresión adecuada, mayor que 1 MPa, para un contenido volumétrico de materia orgánica del 25%, bajando considerablemente su resistencia para porcentajes mayores. Por lo tanto, no es recomendable usar el adobe simple de esa zona como material de construcción con porcentajes volumétricos de materia orgánica mayores que el 25%.
- En el caso del adobe estabilizado con cal, todas las dosificaciones ofrecieron una resistencia a compresión muy baja, por debajo del parámetro mínimo requerido. Todas las dosificaciones fueron desechadas. El adobe estabilizado con cal presentó una resistencia menor, incluso, que el adobe simple.
- En el caso del adobe estabilizado con miel de caña de azúcar, todas las dosificaciones presentaron una buena resistencia en general, siendo la mejor dosificación la de 3% de miel con 25% de materia orgánica. Con respecto al adobe simple presenta una mayor resistencia.
- El estabilizante que mayor resistencia a compresión ha ofrecido ha sido el asfalto AVE 200 utilizado, seguido de la mezcla de cal y miel de caña. Podemos decir que de todas las combinaciones analizadas ha sido la correspondiente a la adición de un 2% de asfalto al adobe simple con el 25% de materia orgánica la que ha alcanzado la mayor resistencia a compresión, llegando a 1,90 MPa.
- Si bien sólo con el ensayo a compresión no se ha podido seleccionar la mejor combinación para el material de construcción buscado, ha sido el ensayo de absorción capilar el que ha permitido identificar que el asfalto AVE 200 ha sido el que mayor resistencia a la humedad le confiere al adobe, disminuyendo la absorción, como es lógico, a medida que aumenta el porcentaje de este estabilizante.
- Teniendo en cuenta de manera conjunta el ensayo a compresión y el de absorción capilar, se ha considerado que la combinación idónea a utilizar como material de construcción ha sido la formada por adobe estabilizado con 25% de materia orgánica y 2% de asfalto AVE 200, ofreciendo una resistencia a compresión de 1,90 MPa y una absorción capilar de 0,81 g/cm².

4. CONCLUSIONS

The present articles discuss the performance from the standpoint of use in construction of traditional and lime, molasses and asphalt-stabilized adobe, based on consolidation, simple compressive strength and capillary absorption tests conducted with different doses of organic matter. The conclusions drawn are set out below:

- *Traditional adobe only attained suitable compressive strength, i.e., over 1 MPa, when the volume of organic matter was 25%, with strength declining steeply at higher percentages. The use of traditional adobe from this area is not therefore recommended for use in construction with percentages, by volume, of organic matter over 25%.*
- *In lime-stabilized adobe, all the doses exhibited very low compressive strength, beneath the minimum requirement. Use of this combination was therefore ruled out at any dose. Lime-stabilized adobe had even lower strength than traditional adobe.*
- *All doses of molasses-stabilized adobe reached good strength values in general, with the highest recorded for 3% molasses and 25% organic matter. This formulation exhibited greater strength than traditional adobe.*
- *The stabilizer showing the highest compressive strength was AVE 200 asphalt, followed by a lime and molasses mix. The highest compressive strength of all the combinations analyzed —1.90 MPa— was found for adobe stabilized with 2% asphalt and containing 25% organic matter.*
- *Nonetheless, the compressive strength test alone was not a sufficient criterion for identifying the best combination for the construction material sought. The capillary absorption test showed that adobe moisture resistance was highest with AVE 200 asphalt and that absorption, logically, declined with growing percentages of the stabilizer.*
- *Considering the compressive and capillary absorption test results together, the construction material found to be most suitable was stabilized adobe containing 25% organic matter and 2% AVE 200 asphalt, which exhibited a compressive strength of 1.90 MPa and capillary absorption at a rate of 0.81 g/cm².*

BIBLIOGRAFÍA/BIBLIOGRAPHY

- (1) Norma NTE E.080 Adobe del ININVI: Construcciones de adobe. *Norma Técnica para construcciones de adobe. Disposiciones especiales para diseño sismo resistente*, Perú.
- (2) Red Habiterra. Colectivo de autores: *Recomendaciones para la elaboración de normas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo cemento*, p. 110, Habiterra Cyted, Bolivia, 1995.
- (3) Pérez de Salazar Vereá, F.: *Tecnología de la Arquitectura con tierra sin cocimiento*. Tesis, Facultad de Arquitectura. División de Estudios de Postgrado, México D. F. México, 1989.
- (4) Tejada Schmidt, U.: "Técnicas de preparación y estabilización del adobe". V Curso Internacional sobre edificaciones de bajo costo en zonas sísmicas. Octubre (1993). Editado por CISMID (Centro peruano japonés de investigación sísmica y mitigación de desastres) y la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, 1993.
- (5) Barrios, G., Álvarez, L., Arcos, H., Marchant, E., Rosi, D.: "La Tierra, material de Construcción", *Informes de la Construcción*, Instituto Eduardo Torroja, vol. 37, n. 377 (1987), p. 43.
- (6) Guinea Díaz, M. J.: "La tierra, material resistente al agua". *La tierra, material de construcción*, Instituto Eduardo Torroja, monografía nº 385-386 (1987), pp. 25-30.
- (7) Guillaud, H.: "Dominio del material tierra y desarrollo de sus potencialidades arquitectónicas", *Craterre-Eag*, vol. 1 y 2 (1995), Holguín, Cuba, p. 110.
- (8) Ruiz, G., Delgado, L.: Hernández, E.: *Edificaciones de bajo coste*. Editado por ONG SUR, Madrid, España, 1993.
- (9) Juárez Badillo, E., Rico Rodríguez, A.: *Mecánica de Suelos I*, Editorial Limusa, México, 2002, pp. 160-161.
- (10) Aguiñaga, A., López, A., Casio, M., Torres, R.: "Análisis de las edificaciones y tipologías de la vivienda en el Estado", Facultad de Arquitectura, Universidad de Guadalajara, México, 1989, p. 80.
- (11) Moromi Nakata, I.: *Materiales utilizados en edificaciones de bajo costo*. Memorias del V Curso Internacional sobre edificaciones de Bajo Costo en zonas sísmicas. Octubre (1993). Editado por CISMID (Centro peruano japonés de investigación sísmica y mitigación de desastres) y la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, 1993.
- (12) UNESCO-Colectivo de autores: "Mud brick en América y alrededor del mundo: historia, conservación y uso contemporáneo", Proyecto de Patrimonio Cultural y de Desarrollo, Perú, 1984, p. 60.

* * *