

## La cal como elemento que mejora la resistencia en la producción del ladrillo de adobe en el departamento de Ahuchapán

Ana Aracely Quiteño

Ingeniero Civil

aracely.quite@catolica.edu.sv

Docente Investigadora, Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Católica de El Salvador, El Salvador

### Resumen

La utilización del adobe representa una alternativa viable para resolver el problema de la falta de vivienda, a través de la propuesta de una casa autoconstruible de bajo costo. Sin embargo, una limitante es que en las construcciones de estas viviendas no se cuenta con asesoría técnica y se construyen de manera muy informal, llevando esta mala construcción al colapso ante alguna eventualidad sísmica. Entre los departamentos más afectados por la extrema pobreza en El Salvador se encuentra Ahuachapán, que es también uno de los departamentos en los cuales predomina todavía la vivienda de tierra tradicional. Siendo ésta una de las razones por la que se propuso trabajar con el municipio de San Lorenzo y estudiar los tipos de suelos que hay en el municipio, a fin de demostrar cuál tipo de suelo es el adecuado para la elaboración del adobe estabilizado con cal.

En este artículo se evaluó el efecto que tiene la cal en la resistencia a la compresión de los adobes elaborados con diferentes tipos de suelo. El experimento se desarrolló en tres etapas. En la primera se realizó un levantamiento del municipio de San Lorenzo, verificando los tipos de suelos que los pobladores utilizan para hacer los adobes. En esta etapa se clasificaron los suelos en SM (arena limosa), SC (arena arcillosa), CL (arcilla inorgánica) y CH (arcilla inorgánica). En la segunda etapa se fabricaron adobes con diferentes dosificaciones de cal, la elaboración y el curado de los adobes se realizó conforme el procedimiento artesanal de la zona en estudio. En la tercera etapa se sometieron los adobes a la prueba de resistencia a la compresión, los resultados obtenidos demuestran que sí existe un incremento de resistencia al adicionar cal al adobe. Comprobando así, que el tipo de suelo CL es el que mejor se comporta, ya que con un porcentaje de cal del 7% obtuvo una resistencia a la compresión de 13.31 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Palabras clave:** adobe, cal, materiales de construcción, resistencia a la compresión, muestras de suelos, suelo, especificaciones.

### Abstract

The use of adobe represents a viable alternative to solve the problem of lacking houses, through the proposal of a build-it-yourself house with low cost. However, a limitation is that the construction of these houses does not have a technical advice and they are built in a very informal way, taking this bad construction to collapse in a seismic eventuality. One of the most affected cities by extreme poverty in El Salvador is Ahuachapan which is one of the cities that prevails with houses with traditional soil. Being this, one of the reasons to work here as well as in San Lorenzo town in order to study the types of soil that are found in this place with the purpose to demonstrate which type of soil is the adequate to build adobe stabilized with lime.

This article evaluated the effect that the lime has in the resistance to compression of the adobes made with different types of soils. The experiment was developed in three stages. For the first one, there was a study in San Lorenzo town, verifying the types of soils that the settlers use to make adobes. In this stage, the soils were classified in SP-SM (Silty-sand), SC (sand clayey), CL (Inorganic clay) and CH (inorganic clay). In the second stage, adobes were made with different dosage of lime, the elaboration and the treat of the adobes were carried out according to the handmade procedure of the zone being studied. In the third stage, the adobes were tested to check the compression resistance, the results gathered show that there is an increase of resistance when adding lime to the adobe. Proving this way, that the soil type CL is the best because a percentage of 7% of lime had a compression resistance of 13.31 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Keywords:** adobe, lime, construction materials, compression resistance, soil samples, soil, specifications

## 1. Introducción

Desde los inicios de la humanidad los primeros hombres construían con tierra y a través del tiempo fueron familiarizando con sus características y aprendieron a mejorarla, agregándole algunas fibras vegetales para mejorar su resistencia, dando origen a materiales como el adobe.

En El Salvador, el uso del adobe es muy común en zonas rurales, donde la autoconstrucción con adobe ha demostrado ser la respuesta apropiada y quizás, la única vía posible mediante la cual la gente de muy escasos recursos económicos pueda adquirir una casa digna. El adobe es un material muy barato y que tiene un gran aislamiento térmico, haciendo estas casas muy acogedoras. El gran problema ha surgido debido a los terremotos que sacuden eventualmente al país. El uso del material ha ido decayendo hasta tal punto de no conferirle valor estructural. Además, hay que tomar en cuenta que en las construcciones de estas viviendas no se cuenta con asesoría técnica y se construyen de manera muy informal, llevando esta mala construcción al colapso ante alguna eventualidad sísmica. Las casas de adobe bien diseñadas y bien construidas pueden ser, por su simplicidad, duración y costo, la base para resolver el problema de la vivienda, sobre todo la del tipo rural, en los países subdesarrollados como El Salvador.

### Definición del ladrillo de adobe

La palabra adobe que según Vélez (2010) parece provenir originalmente de la “palabra árabe atob que significa cieno, lodazal o bien de atuba la denominación asignada a la forma del ladrillo. Otras fuentes remontan el origen de ese nombre a una era aún mucho más remota, ubicándolo entre los jeroglíficos egipcios de los cuales derivó a los pueblos árabes. Pero el origen de la técnica primitiva del uso del barro como material de construcción pudiera remontarse aún más. Según se evidencia en los vestigios existentes de las primitivas comunidades agrícolas en Mesopotamia, hace más

de 7.000 años antes de la era cristiana” (3). El ladrillo de adobe también era conocido como ladrillo de tierra. El adobe puede ser descrito como el producto de la mezcla de arena, arcilla y fibras. Por su origen, se dispone en la mayor parte del planeta y no se requiere una gran cantidad de energía para su producción (Goodhew, 2005, 451 - 459). En las proporciones adecuadas se garantiza un material que presentará condiciones favorables para la manejabilidad, el curado y su desempeño posterior en obra. Se pueden mejorar sus características agregándole algunas fibras vegetales, estabilizar la tierra con aditivos como cemento, cal, asfalto, y aún algunas resinas epóxicas para consolidar su resistencia.

En países del medio oriente tales como Turquía, Marruecos, España y en países latinoamericanos se ha estudiado la micro estructura y propiedades físicas de las piezas de adobe con adiciones minerales encontrando en la mayoría de esos estudios ciertas mejorías en las propiedades encontradas (Venkatarama, 2006, 472 - 476).

Se han realizado investigaciones sobre las propiedades químicas y geotécnicas de los suelos estabilizados con cal (López, 2004, 155-163), existen también estudios que han sido desarrollados para determinar los efectos de la adición de cal en las propiedades físicas y la microestructura del adobe. En Marruecos (Younoossa, 2008, 2386-2392), encontró que la adición de cal en la arcilla utilizada para elaborar adobe, induce al desarrollo de calcita y silicato hidratado de calcio, el cual se forma por la reacción de la cal y sílice contenido en el suelo utilizado, y la presencia de compuestos formados posteriormente contribuyen al refuerzo del adobe. Sin embargo, después de la adición del 10% de cal, se genera una formación excesiva de portlandita y calcita, en menor proporción de silicato hidratado de calcio que afecta negativamente la resistencia mecánica de dicho material.

Según Guettala (2006) respecto al agua en el adobe, se han incluido generalmente el uso de materiales in-

dustrializados, tales como cemento, cal, emulsión asfáltica y/o materiales bituminosos que contrarresten dicho efecto en las arcillas o suelos con los que elabora el adobe. (119-127)

Los ladrillos de adobe se clasifican de acuerdo al suelo y a las modificaciones que se le hagan a éste para la fabricación, los cuales según Castellanos (2008) se pueden dividir en tres grupos que se establecen en la tabla 01(3)

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Adobe Tradicional	Fabricados con suelo que conservan su composición granulométrica natural.
Adobe Modificado	Fabricados con suelo cuya composición granulométrica natural ha sido modificada para que sea apropiada para la fabricación de bloques de adobe.
Adobe Estabilizado	Adobe tradicional o modificado, al que se le agrega algún estabilizante con el objeto de mejorar las propiedades del suelo.

Figura 1. Clasificaciones del ladrillo de adobe

### Límites de Atterberg

Las características que permiten determinar la plasticidad de los suelos y en especial de las arcillas, son denominadas: límites de plasticidad, límite líquido y límite de contracción. El conocimiento de estos límites es muy importante en las construcciones a base de tierra, pues permiten determinar la cantidad de agua que es conveniente mezclar al material para obtener mejores construcciones de adobe.

### Ensayo de Resistencia a Compresión Simple

Los materiales quebradizos como el concreto y para este caso el adobe suelen probarse por compresión, ya que este tipo de esfuerzo es al cual generalmente se encuentran sometidos. En ellos no se produce formación de cuello, pero pueden surgir problemas debido a fricción entre los extremos de la muestra y las masas de carga. La fricción produce deformación no uniforme y la muestra suele adoptar forma de barril, especialmente cuando se someten a prueba los materiales dúctiles (Juárez, 2004).

El objetivo de este artículo es conocer las propiedades mecánicas en cuanto a resistencia a compresión simple (en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) de cada combinación estudiada. Para la realización se ha utilizado una prensa normalizada que va ejerciendo una carga continua sobre la muestra, hasta completar la rotura de la misma tal y como dictan las normas ASTM C - 39/C39M - 14a y ASTM C - 67.

### 2. Metodología

Esta investigación tuvo como objeto medir la resistencia que tienen los ladrillos de adobe al adicionar cal natural, en los suelos del municipio de San Lorenzo en el departamento de Ahuachapán. Por lo que fue necesario establecer una metodología ordenada que ayude a estos propósitos.

El estudio realizado es de tipo descriptivo experimental, ya que se realizó una investigación documental en la que se daba la definición y origen del ladrillo de adobe, características de los suelos que son utilizados en la elaboración de adobes y los requerimientos técnicos para la buena elaboración de los adobes. Para realizar la investigación de campo se ejecutó un estudio experimental, según los siguientes ámbitos:

En la primera etapa se realizó un levantamiento del municipio de San Lorenzo, verificando los tipos de suelos que los pobladores utilizan para hacer los ado-

bes. Teniendo en cuenta lo anterior se obtuvieron cinco tipos de suelos a los cuales se les realizaron los ensayos de límite líquido y límite plástico, para ver qué tanta plasticidad tienen dichos suelos. El comportamiento complejo de las arcillas fue analizado desde el punto de vista físico – mecánico, ya que esto permite acceder a las propiedades que interesan a esta investigación.



**Figura 2.** Fotografía del banco de materiales de donde se extrajeron las muestras

En la etapa de caracterización del suelo se realizaron los ensayos de Límites de Consistencia de Atterberg: límite líquido, límite plástico e índice plástico. Para la clasificación del material de acuerdo al Sistema Unificado por la Clasificación de Suelos (SUCS).

Teniendo en cuenta las características de los suelos se elaboraron los ladrillos de adobe verificando los porcentajes de cal para mejorar las características del adobe. La elaboración de los adobes se realizó en forma artesanal, realizando 4 adobes por cada mezcla propuesta con las siguientes dimensiones 10 x 15 x 30 cm.

Los adobes se dejaron secando al sol, siendo cubiertos con plástico en la noche para evitar que la lluvia los dañara.



**Figura 3.** Fotografía elaboración de ladrillos de adobe.

### Resistencia a la Compresión

Después del proceso de secado los especímenes de cada fase experimental se sometieron a la prueba de resistencia a la compresión en una prensa hidráulica de la marca ACCU-TEC 250 con una capacidad de 250,000 Lbf, provista de una bomba eléctrica que permite mantener una velocidad de carga constante.

La resistencia a la compresión de los adobes fue calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$R = \frac{P}{A}$$

Donde: P = es la carga aplicada en Kg.

A = es el área de aplicación de la carga para convertir dicha carga en Kg/cm<sup>2</sup>.

En el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Católica de El Salvador: se realizaron todos los análisis y ensayos necesarios, según y conforme lo especificado en las Normas ASTM, a fin de determinar el comportamiento de las variables dependientes. Con los resultados se determinaron el comportamiento de los suelos y de los ladrillos de adobe.



**Figura 4.** Fotografía de ensayo a compresión del ladrillo de adobe

### 3. Resultados

#### Clasificación de suelos

Se clasificaron los cinco tipos de tierras, según las normas ASTM D-423, D-424 y D-427, empleándose el denominado aparato de Casa Grande, mediante ensayos de Límite Líquido y Límite Plástico. Clasificando los suelos por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

En la tabla 02 se presentan los resultados obtenidos de la clasificación de suelos de los bancos de materiales estudiados del Municipio de San Lorenzo.

Los datos obtenidos en la clasificación de los suelos demuestran que los tipos de suelos predominantes en el municipio de San Lorenzo contienen arcilla. Los estratos de suelos superiores son los materiales más arcillosos, en algunos bancos se encontraron una beta de material de cascajo blanco, debajo de él se encontró arena limosa.

**Tabla 1. Clasificación de suelos**

Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de plasticidad	Clasificación del suelo
Tipo 1	32.39	32.90	0.51	SM - ARENA LIMOSA ligeramente plástico.
Tipo 2	38.50	41.30	2.80	SC - ARENA ARCILLOSA de mediana plasticidad
Tipo3	21.39	36.3	14.91	SC - ARENA ARCILLOSA de mediana plasticidad
Tipo 4	25.74	47	21.26	CL - ARCI-LLA INOR-GÁNICA de media plasticidad
Tipo 5	30.52	53.9	23.38	CH - ARCI-LLA INOR-GÁNICA de alta plasticidad

#### Elaboración de Adobes

Para la elaboración de ladrillos de adobe se mezclaron adecuadamente cada uno de los tipos de suelos con diferentes proporciones de cal, los tipos de suelo del 1 al 4 se trabajaron tal como están. Sin embargo, el tipo 5 se le agregó 50 % de material granular (cascajo). Luego, se moldearon en un molde de 10x15x30 cm, se elaboraron con estas medidas para poder acomodarlas a la máquina de compresión. Posteriormente, se dejaron secar bajo el sol durante 28 días.

El suelo o tierra que es utilizada para hacer adobes tiene que tener una mezcla de gravilla, arena y arcilla que combinados con agua se les puede dar la forma necesaria. Pero al agregarle cal se quiso demostrar que no importa la cantidad de arena y de arcilla que se tenga



Figura 5. Fotografías del mezclado de material y el secado de adobes

para poder realizar un buen adobe. En la elaboración de los ladrillos de adobe se observó que los adobes con cal no les aparecían grietas cuando iniciaban el proceso de secado y esto se mantenía hasta el final del secado.



Figura 6. Fotografía de adobes en proceso de secado.

### Resistencia a la Compresión

Se realizaron ensayos a compresión a los adobes fabricados con los cinco tipos de suelos, el objetivo de este ensayo es conocer las propiedades mecánicas en cuanto a resistencia a compresión simple (en Kg/cm<sup>2</sup>) de cada combinación estudiada. Para la realización de este ensayo se ha utilizado una prensa multi-ensayo normalizada. Se realizaron tres ensayos de cada proporción estudiada, con lo que el resultado final es la media aritmética de los tres. En el tabla 03 se distinguen los valores obtenidos en los especímenes ensayados en esta prueba.

Tabla 2. Resultados obtenidos de los ensayos a compresión de los adobes fabricados

Muestra	Clasificación del suelo	% de Cal	Resistencia promedio a la Compresión Kg/cm <sup>2</sup> *
Tipo 1	SM - ARENA LIMOSA ligeramente plástico.	sin cal	0.69
		4%	2.58
		5%	3.07
		6%	3.54
		7%	4.12
Tipo 2	SC - ARENA ARCILLOSA de mediana plasticidad	sin cal	0.99
		4%	2.42
		5%	3.90
		6%	5.28
		7%	6.09
Tipo 3	SC - ARENA ARCILLOSA de mediana plasticidad	sin cal	2.41
		4%	3.61
		5%	4.33
		6%	5.10
		7%	6.82
Tipo 4	CL - ARCILLA INORGÁNICA de media plasticidad	sin cal	3.12
		4%	4.84
		5%	7.22
		6%	11.80
		7%	13.31
Tipo 5	CH - ARCILLA INORGÁNICA de alta plasticidad	sin cal	4.52
		4%	5.40
		5%	7.55
		6%	11.83
		7%	13.33

\* Resultados obtenidos del promedio de tres ensayos a compresión de cada tipo de muestra de los adobes fabricados.

Con base a los ensayos a compresión realizados se observa que a medida que aumenta el porcentaje de cal aumenta la resistencia a la compresión del adobe, observándose además que la resistencia promedio varía dependiendo del tipo de suelo con el que se hizo el adobe aunque el porcentaje de cal sea la misma.

Las muestras de los suelos tipo cuatro y cinco presentan prácticamente la misma resistencia promedio, con la diferencia que los adobes hechos con el suelo tipo cuatro fueron elaborados con el suelo tal y como se encuentra en el banco de materiales. Sin embargo, los adobes elaborados con el suelo tipo cinco fue una mezcla del suelo tipo cinco con material granular (cascajo).

La resistencia promedio a la compresión varía dependiendo de la cantidad de arcilla que contenga el suelo, siendo el valor más bajo el de los adobes elaborados con suelo clasificado como arena limosa.

#### 4. Discusión

En el presente trabajo se ha evaluado y comparado el efecto de la adición de cal a los adobes elaborados con los suelos existentes en el municipio de San Lorenzo. Con base a los ensayos de clasificación de suelos y de resistencia a la compresión se dan las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Se comprobó que los suelos existentes en el municipio de San Lorenzo son materiales que cumple con las expectativas, ya que cumple con la premisa de usar tierras que se pueden encontrar en cualquier banco de materiales, dichos suelos son aptos para la elaboración de adobes.

La clasificación de los cinco tipos de tierras dio como resultado una Arena Limosa de baja plasticidad. Dos Arenas Arcillosas de mediana plasticidad. Dos Arcillas Inorgánicas de mediana plasticidad y la otra de alta plasticidad. La importancia de este dato radica en que generalmente son tierras abundantes. La tierra más apta resulta ser la tipo 4, clasificada como Arena Arcillosa de mediana plasticidad, ya esta puede ser utilizada directamente sin hacer mezclas de material granular para realizar los adobes.

La adición de cal al suelo con que se elaboraron los adobes provoca mejoría directa en la propiedad de resistencia del adobe.

Los resultados obtenidos con los adobes del mismo tipo de suelo con porcentajes diferentes de cal, demuestran empíricamente que la resistencia a la compresión aumenta conforme aumenta el porcentaje de cal. Tomando de referencia el suelo CL (arcilla inorgánica) se observa que el adobe sin cal presenta una resistencia a la compresión de 3.13 Kg/cm<sup>2</sup> y con un 7% de cal presenta una resistencia de 13.31 kg/cm<sup>2</sup>.

Es recomendable que para hacer adobes el suelo debe contener material plástico, ya que los adobes elaborados con suelo SM (arena limosa ligeramente plástica)

al agregarle cal con porcentaje de 7% se obtiene una resistencia a la compresión de 4.12 kg/cm<sup>2</sup>, la cual presente una resistencia por debajo de lo solicitado. Y al incrementar el porcentaje de cal se incrementa el valor del adobe.

Los adobes elaborados con los suelo CL y CH con porcentaje de 7% de cal presentan una resistencia de 13.31 kg/cm<sup>2</sup> y 13.33 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, lo que muestra valores mayores al que establece la norma Salvadoreña.

Las propiedades de resistencia, para los suelo CL y CH nos demuestra que es suficiente el porcentaje del 6%, ya que el reglamento técnico salvadoreño establece que la resistencia mínima aceptable para el adobe es de 10 Kg/cm<sup>2</sup>; para los otros tipos de suelo se debe de incrementar el porcentaje de cal, lo cual resulta en un incremento en el costo de la vivienda que ya no es factible para las familias de bajos recursos económicos.

Uno de los resultados observados fue que la adición de cal en la fabricación de adobes hace que no se presenten fisuras en ellos, no importando el tipo de suelos con que se elaboren los adobes.

Es importante destacar que el adobe es un material de construcción muy utilizado en nuestro país por lo tanto debemos de darle la importancia que este tiene y buscar nuevas alternativas para ir mejorándolo y así optimizar la calidad de vida de nuestros compatriotas.

Es conveniente seguir investigando sobre el adobe y las alternativas que podemos crear con ellos, ya que son ladrillos ecológicos, siendo estos una opción de construcción sostenible y son más comprometidos con el medio ambiente.

## 5. Referencias

- ASIA, Ministerio de Obras Públicas. (1997). Norma especial para diseño y construcción de viviendas. Recuperado de: <http://www.ipgaramss.org/uploaded/content/Category/809463559.PDF>
- ASTM C – 39/C-39M- 14a. Ensayo de compresión de probetas de hormigón cilíndricas.
- ASTM C – 67. Norma de métodos de prueba de ensayo y prueba de ladrillos de arcilla estructurales.
- Castellanos A. R. (2008). Guía de clases de materiales de construcción. El Salvador. UCA.
- CEPAL. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2001). El Salvador: Evaluación del terremoto del martes 13 de febrero de 2001. Recuperado de: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/1/10131/1457.pdf>
- Galíndez. F. (2007). Bloques de tierra comprimida (btc) sin adición de cemento. Argentina. Universidad Católica de Salta.
- Guettala A., Abasi A. (2006) Durability study of stabilized earth concrete under both laboratory and climatic conditions exposure. Construction and Building materials. Volumen 20.
- Juárez B, Rico R. (2004), Mecánica de Suelos, Tomo I, Fundamentos de Mecánica de Suelos, México D.F. Limusa.
- Juárez B. E. (2005). Mecánica de suelos. Tomo I. México: Limusa. Noriega Editores.
- López L. T., Hernandez Z. J. (2004). Mineralogical Characterization of stabilized soils. Mechanics of Time – Dependent Materials.
- Propuesta de Reglamento Técnico Salvadoreño. (2014), Urbanismo y construcción en lo relativo al uso del sistema constructivo de adobe para viviendas de un nivel, OSARTEC y MOP. El Salvador.
- Vélez J. G. (2010), Arquitectura con barro. Venezuela. <http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2010/08/arquitectura-con-barro-arq-gonzalo.html>
- Venkatarama R., Ajay G. (2006), Strength and elastic properties of stabilized mud block masonry using cement –soils mortars. Materials in Civil Engineering.
- Younoussa M., Hajjaji M. Ovedraogo R. (2008) microstructure and physical properties of lime – clay adobe bricks. Volumen 22.