

# CAL QUIMICA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS

**Elena Guadalupe Navarro Mendoza<sup>1</sup>, Elia Mercedes Alonso Guzmán<sup>2</sup>, Luis Alfredo Ayala Ortega<sup>1</sup>, Adría Sánchez Calvillo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. 0319470d@umich.mx, 0933650c@umich.mx, 164104g@umich.mx

<sup>2</sup> Departamento de Materiales, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. C.P582605. elia.alonso@umich.mx

**Palabras clave:** Cal de alta pureza, modificación de suelos arcillosos

## Resumen

La estabilización de suelos arcillosos con cal fue una técnica usada en civilizaciones antiguas para hacer caminos y pisos en edificios, debido a que se modificaba era más trabajable, se obtenía más dureza, y contribuía a la higiene. Actualmente existen diversos tipos de cales en el mercado, la más conocida es la cal de construcción es la que se utiliza para este procedimiento, también se puede utilizar la cal química o de alta pureza que son cales que han surgido por el desarrollo de la tecnología de los fabricantes de cal, lo que las diferencia es el contenido de hidróxido de calcio. En esta investigación se utilizó un suelo de la región de Morelia, Michoacán, México, en cuanto a las cales fueron utilizadas la cal de construcción, cal química con un contenido de hidróxido de calcio de 90% y cal química con un contenido de hidróxido de calcio 95%. Primero se realizó la prueba Eades & Grimm para conocer la cantidad de cal necesaria para estabilizar el suelo y posteriormente se determinó el límite líquido, límite plástico, índice plástico y contracción lineal con cada una de las mezclas con las cales.

## 1 INTRODUCCIÓN

Actualmente existen en el mercado distintos materiales de construcción acorde a los tiempos contemporáneos, sin embargo, el uso y presencia excesiva de éstos ha traído consigo un cambio en el pensamiento de los constructores, creando así imaginarios nuevos donde se priorice el uso de estos materiales prefabricados en detrimento de otros, de naturaleza tradicional, como son la piedra, el ladrillo la madera y la cal, dando como resultado una ruptura con la arquitectura (Del Moral, 1980).

Uno de los materiales creados y refinados gracias a los avances y al desarrollo tecnológico fue la cal de alta pureza. Actualmente las cales de uso para la construcción poseen una mayor calidad, lo que hace necesario conocerlas y, considerar su uso, principalmente aquellas en presentación en polvo para distintos ámbitos de la construcción, ya que su facilidad en su obtención y de mezcla ofrecen ventajas.

El uso de ciertos materiales en la edificación y que a la postre han sido categorizados como “tradicionales” ha partido tanto de la experiencia acumulativa de las sociedades que las han usado, producto de un cavilado proceso de discernimiento, así como por el éxito en su uso. En este sentido, es que se puede constatar la validez de la tradición, al observar la intención de los primeros constructores de guiar, legar y difundir el conocimiento constructivo producto de experiencias y análisis de obras pasadas, a través de la escritura de propuestas, ideas y experiencias manifiestas en los primeros tratados de arquitectura, los cuales han sentado las bases de la historiografía arquitectónica.

A modo de ejemplo se pueden señalar cómo en algunos de los primeros tratados de arquitectura, se encuentran pasajes dedicados entre muchos otros temas, a describir ciertos materiales de construcción; entre ellos se encuentra el libro segundo de la obra de *De architectura* de Marco Vitruvio Polión, en el cual se desarrollan ideas acerca de algunos de

los materiales de construcción conocidos en la época y las características que estos debían de poseer para su correcto empleo y funcionamiento, entre estos se encuentran: la arena, la cal, el polvo de puzol, las canteras y la madera.

Sobre la cal, Vitruvio menciona en el capítulo V, del libro segundo; “Elegida la mejor arena para el mortero, se ha de poner no menos diligencia en la cal, haciéndola de piedra blanca, o de pedernal. La de piedra densa y dura será mejor para fabricar: la de piedra más porosa, para los revoques. Después de apagada, se hará el mortero en esta forma: si la arena fuere de mina, a tres partes de ella se pondrá una de cal, incorporándolo todo bien: y si fuere de río o mar, a dos partes de arena una de cal: esta regla es la que debe seguirse en la composición del mortero. Si a la arena de mar o río se añadiese una tercera parte de polvos cernidos de ladrillo cocido, hará una mezcla de mucho mejor calidad” (Vitruvio, 1787, p.35-36), dando a entender que diversas formas de tratar la cal, pueden ofrecer distintos resultados que mejoren ciertas cualidades constructivas, que se asocian a ciertas actividades y elementos arquitectónicos.

Por su parte Leon Battista Alberti, en su tratado *De Re aedificatoria*, dedica en su libro segundo, dedicado a los materiales de construcción un pasaje titulado, *diversas especies de cal y yeso, y las conveniencias de natura y disconveniencias, y a cerca de estas cosas otras algunas no indignas de ser sabidas*, en donde pondera la calidad de las piedras destinadas a la cal; “[...] Caton Cenforio reprueba la cal de varias piedras y la cal que se haze de pedernal condenala para toda obra. Y de más de esto, para hazer cal es muy inútil qualquiera piedra gatzada, seca o podrida, en cuyo cozimiento el fuego no halle que consumir, quales son las piedras areniscas, y las que están medio coloradas y amarillas, junto a Roma en el campo Fidenato y el Albano” (Battista Alberti, 1582, p. 54).

La cal ha sido importante en la historia de la construcción y en este caso en particular el mejoramiento de los suelos arcillosos con cal, que es una técnica milenaria que se ha tratado de recuperar en los diferentes ámbitos de las obras civiles, gracias a la industria calera que ha transmitido el conocimiento técnico y se ha estado mejorado para perfeccionarla. Es un proceso en el cual se modifica el comportamiento mecánico de un material para obtener una resistencia estructura. (Bauzá Castelló, 2014)

Lo anterior demuestra una tradición constructiva y un marcado interés en la selección y empleo de ciertos materiales debido a las cualidades que presentaban y ofrecían al construir, misma situación que se sigue utilizando en la actualidad en el empleo de los materiales y sistemas constructivos tradicionales.

Es necesario tener presente que muchas veces la naturaleza no industrializada o la falta de normatividad en la fabricación de materiales y sistemas constructivos tradicionales, los hace susceptibles al rechazo por parte de constructores o entidades gubernamentales, sin embargo, no hay que perder de vista que “la tradición se presenta dentro de la arquitectura, como una forma de continuidad de usos, costumbres, hábitos y modos de vida, que se ven reflejados en el mantenimiento de una forma determinada de hacer las cosas, la tradición, en cualquiera de sus manifestaciones es un concepto que no es estático, que se ve obligado adaptarse a nuevos tiempos, para no anquilosarse, pero que conserva su esencia” (Ayala, 2019, p.38).

El uso de la cal para mejorar los suelos arcillosos plásticos y deformables a un material trabajable puede ser de gran impacto al medio ambiente (Bauzá Castelló, 2014), ya que se puede utilizar el suelo que se encuentra en el lugar evitando la extracción y transporte del material del sitio como la compra de material mejorado.

Los cambios que tiene el suelo estabilizado con cal son: mayor trabajabilidad, incremento de la resistencia, reducción de la contracción e índice de plasticidad (Bauzá Castelló, 2014), estas características permiten fabricar block de tierra comprimida y adobes de mejor durabilidad al medio ambiente.

## 2 OBJETIVOS

El objetivo de la investigación es conocer si el contenido de hidróxido de la cal impacta en cuanto al porcentaje de cal que se debe agregar para que sea estabilizado y diferencias que pueda obtenerse de límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad y contracción lineal, además de conocer su clasificación en el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) con cada tipo de cal.

## 3 METODOLOGÍA

### 3.1 Porcentaje de cal

La prueba realizada para conocer el porcentaje de cal necesario para la estabilización del suelo arcilloso fue la Eades & Grimm. La prueba consta de añadir distintos porcentajes de cal a 20 gramos de suelo, que debe estar seco y cribado por la malla #40. En este caso se realizó la prueba con cal de construcción (CC) que tiene un contenido de hidróxido de calcio de mínimo 80%, cal química con un contenido de hidróxido de calcio de 90% (CAP90) y cal química con un contenido de hidróxido de calcio de 95% (CAP95). Estas cales se encuentran en polvo y se adquieren en el mercado de la construcción. Los porcentajes de cal que se probaron fueron 2, 3, 4, 5 e 6%.



Figura 1. Suelo arcilloso de la región de Morelia

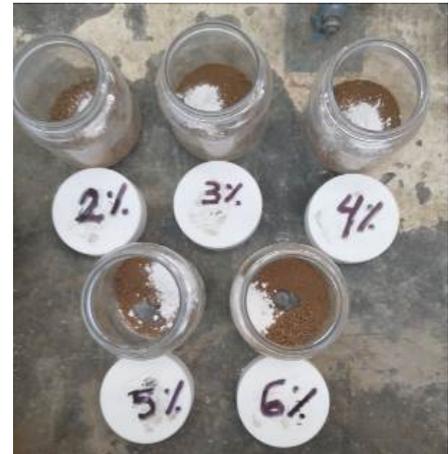


Figura 1. Porcentajes de cal

El objetivo de esta prueba es encontrar con cual porcentaje se obtiene un pH de 12.4. Ello indica que el porcentaje es el contenido de cal óptimo para la estabilización (Anaya Gómez, 2015).

### 3.2 Determinación de límites

Para la obtención de la plasticidad se realizó la prueba en base a la norma NMX-C.493 (2019), que sirve para determinar por este medio el límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad y contracción lineal.



Figura 2. Muestras para determinación del límite plástico

#### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de las pruebas Eades & Grimm arrojó que el porcentaje necesario para la estabilización es del 4 % con todas las cales. Por lo que se pudo observar que el contenido de hidróxido no interviene en la cantidad de cal que es necesaria, por otro lado los datos arrojados de las pruebas de los límites demostró que si existe un cambio en los valores obtenidos.



Figura 3. Medición del pH en prueba Eades &Grim (Elena Navarro, 2021)

Los resultados del suelo natural fueron realizados por empresa privada (tabla 2), las muestras estabilizadas con cal de construcción (CC), cal con un contenido de hidróxido de calcio 90% (CAP90) y cal con un contenido de hidróxido de calcio 95%(CAP95) son presentados en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de límites y contracción lineal

Muestra	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice plástico (%)	Contracción lineal (%)
Suelo natural	58	30	28	10.25
CC	45.8	37.1	8.7	4.2
CAP90	45.2	33	12.2	3.6
CAP95	38.7	34	4.7	3.9

Con ello se considera que el suelo se clasifica como CH en el SUCS que corresponde a un suelo de grano fino, inorgánico, conteniendo arcilla de alta plasticidad y por lo tanto muy difíciles de ser aprovechadas en la industria de la construcción.

A diferencia del suelo y el suelo estabilizado, con las distintas cales según el SUCS, pasa a ser de CH a un ML que se considera arcillas ligeramente plásticas, limos inorgánicos o limos arenosos. Esta modificación permite que el mismo material pueda ser aprovechado.

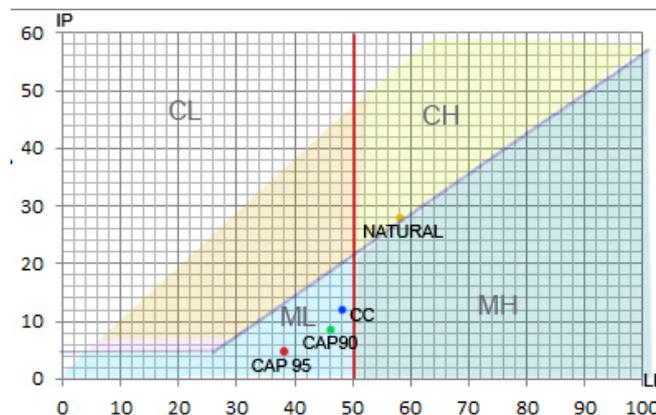


Figura 4. Resultados en la carta de plasticidad

Otro cambio significativo que se observó fue la contracción lineal que se obtuvo, ya que con las cales ronda entre un 3.6 a 4.2 % mientras que la contracción del suelo es de un 10.25%.

## 5 CONCLUSIONES

La estabilización de suelos arcillosos con cal es una técnica que se está retomando y es necesario realizar pruebas para mejorarla. El uso de distintos tipos de cales nos pueden aportar datos para que se vaya perfeccionando. La cal de construcción es una buena opción ya que es la más fácil de adquirir, en cuanto a las cales químicas se pudo observar que el mejoramiento de la arcilla fue mayor, todas modificaron la arcilla de ser de alta plasticidad a una ligeramente plástica y por lo tanto se puede aprovechar de mejor manera, con ello contribuyendo a la sostenibilidad al mejorar materiales existentes en el área para distintos trabajos de la construcción e ingeniería, como base en caminos y carreteras, mejorar el terreno para la construcción de edificios, realizar block de tierra comprimida (BTC), y adobes.

Para observar si existen más diferencias entre la estabilización de suelos arcillosos con distintas cales es necesario la realización de más pruebas, en particular la resistencia mecánica del material, por lo que este trabajo está en desarrollo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anaya Gómez, P. F. (2015). Estabilización de suelos con cal. México: Asociación Nacional de Fabricantes del Cal A.C.

Ayala Ortega, Luis Alfredo (2019). Traditional domestic architecture of Tierra Caliente, Michoacán. Carácuaro: A case study. Michoacan University of San Nicolás de Hidalgo, Morelia, 2019, 317 pp. [Master's Thesis].

Bauzá Castelló, J. D. (2014). Aplicaciones de la cal en la obra civil: La estabilización de suelos arcillosos. En A. S. et.al, *La Cal. Investigación y restauración* (págs. 63-80). Sevilla: Universidad de Sevilla.

Battista Alberti, Leon (1582). The ten books of architecture (De Re aedificatoria), translated from Latin to romance, with privilege at the home of Alonso Gómez, printer of his majesty, Madrid, Alonso Gómes.

Del Moral, E. (1980). Defensa y conservación de las ciudades y conjuntos urbanos monumentales. México: Academia de Artes.

NMX-C-493 (2019). Límites de consistencia de suelos, método de ensayo. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación

Vitruvio Polión, Marco (1787). The ten books of architecture (De Architectura), translated from Latin, and commented on by Don Joseph Ortiz y Sanz, Madrid.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al equipo del Laboratorio de Materiales "Ing. Luis Silva Ruelas" de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, quienes me apoyaron durante la investigación en todo momento

## AUTORES

Elena Guadalupe Navaro Mendoza, arquitecto, doctorante en arquitectura, maestría en Investigación y restauración de sitios y monumentos, especialista en restauración de sitios y monumentos, cursadas en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Especialista en mezclas de albañilería y usos de la cal, profesor de licenciatura y posgrado.

Elia Mercedes Alonso-Guzmán, doctora en ciencias químicas, maestra en metalurgia y ciencias de los materiales, ingeniera civil. Primera Profesora Emérita de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Es la responsable del Primer Cuerpo Académico Consolidado-UM-147 de la Facultad Ingeniería Civil, "Ciencias, Ingeniería y Tecnología de los Materiales para la Construcción" y del Grupo de Investigación de Materiales.

Luis Alfredo Ayala Ortega, arquitecto en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México; Profesor de licenciatura, doctorante en arquitectura de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, maestro en Arquitectura Investigación y Restauración de Sitios y Monumentos, cursada en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México; Profesor de licenciatura

Adrià Sánchez Calvillo, doctorante en arquitectura, máster en construcción avanzada en la edificación, especialista en restauración de monumentos, graduado en arquitectura técnica y edificación. Investigador de doctorado y profesor en la Universidad Michoacana San Nicolás Hidalgo. Director del proyecto DBMC 2020 para el estudio del patrimonio vernáculo del estado de Michoacán, México. Publicaciones completas en: <https://www.researchgate.net/profile/Adria-Sanchez-Calvillo>