



## El suelo estabilizado, una opción constructiva ecológica de uso ancestral

Heriberto Echezuría

hechezururia51@gmail.com

Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería (CIDI) Universidad Católica Andrés Bello, Caracas

Historia del Artículo

Recibido: 25 de enero de 2019

Aceptado: 10 de julio de 2019

Disponible online: 15 de julio de 2019

---

**Resumen:** El suelo ha sido considerado un material de construcción desde tiempos ancestrales. Las primeras viviendas y fortalezas que construyeran distintas culturas y que les permitieron florecer como sociedades, fueron a base de suelo estabilizado físicamente. Desde casas unifamiliares en el antiguo Egipto hasta zigurats en el medio oriente antes del Imperio Romano forman parte de dicho legado. Más recientemente, el suelo estabilizado químicamente se ha utilizado para construcción de pavimentos de carreteras y aeropuertos. En particular, desde la primera guerra mundial y con mayor énfasis durante segunda guerra mundial, mucho antes del auge del asfalto y el concreto como materia prima para los pavimentos, fue el suelo estabilizado con cemento el que permitió la construcción de pistas de aterrizaje duraderas y de carreteras con bajo costo y mantenimiento. Todas estas aplicaciones han sido posibles para cambiar materiales más competentes por el suelo presente en el sitio en aquellas regiones donde dichos materiales competentes son escasos y cuesta mucho su transporte. El ingenio y la creatividad de algunos detectó que añadiendo distintos elementos al suelo desde paja hasta agentes cementantes como la cal o el yeso, lograban producir un material diferente con mejores propiedades para distintos usos y aplicaciones. Desde argamasa a suelo cemento hasta adobe refractario forman parte de dicho arsenal. Hoy en día en pleno siglo XXI, se presenta una nueva oportunidad de volver a emplear el suelo estabilizado como alternativa para la construcción de pavimentos y acabados para viviendas en algunos países debido a los altos costos y limitada producción de otros materiales de construcción.

Palabras claves: suelo estabilizado, suelo cemento, argamasa, morteros, pavimentos, mezclas de suelos y cementantes, suelo cementado.

### Stabilized soil an ancestral and ecologic construction option

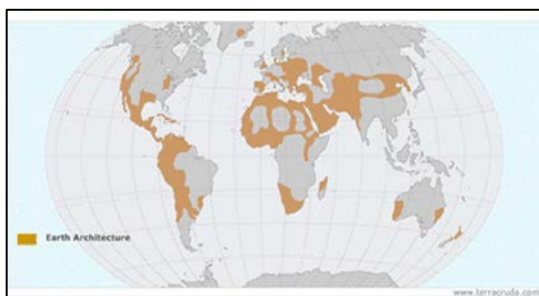
**Abstract:** Soil has been considered a construction material since ancient times. Initial housing and living units built by different cultures, which allowed them to flourish as

societies, were made with soil. From hoses in ancient Egypt to ziggurats in the Middle East before the Roman Empire are part of such legacy. More recently, stabilized soil was used to construct road and airport pavements. In particular, from World War I and with higher emphasis during World War II, well before asphalt became highly available it was cement which allowed the construction of durable and low maintenance airports and roads. All those applications were possible due to the motivation to have a better material than the soil itself in heavy duty areas where transporting better materials was expensive. Ingenuity and creativity of some individuals found that by adding different elements from haze to cementing agents such as gypsum or lime to the soil yielded an improved material with better properties for different applications. Form mortars to baked masonry are parts of such an arsenal. Today in the beginning of XXI century there is a new opportunity to use again soil as a material for construction of pavements and housing due to high material costs and limited production of construction materials in some countries.

Key words: stabilized soil, soil cement, argamasa, mortars, pavements, cementing soil mixes, cemented soil.

## I. INTRODUCCIÓN

El suelo ha sido considerado un material de construcción desde tiempos ancestrales. La construcción con este material, además de ser de sencilla y económica, presenta otras ventajas que la hacen atractiva para lograr viviendas ambientalmente sustentables. Este material se ha usado desde hace milenios (8.000 a 10.000 años a. c.) en diversas partes del mundo. Aún hoy día es ampliamente usada en distintos continentes, tal como se ilustra en la Figura 1 [1].



**Figura 1:** Distribución mundial del uso de la tierra para construcción de viviendas. **Fuente:** Tomado de: La construcción con tierra cruda: el adobe y la tapia [1]

Las primeras viviendas y fortalezas se construyeron a base de suelo estabilizado físicamente por distintas culturas. Eso les permitió florecer como sociedades

construyendo desde casas unifamiliares en el antiguo Egipto hasta zigurats en el medio oriente antes del Imperio Romano como parte de dicho legado. De hecho, según Tassin [2] algunas construcciones grandiosas, tales como la mezquita de Djene en Malí, véase la parte superior izquierda de la Figura 2, empezada en el siglo duodécimo está construida con barro crudo. Según ese mismo autor, el Taj Mahal, en la India, véase la parte inferior izquierda de la Figura 2, tiene escondido debajo de sus mármoles estructuras de bambú y barro y las famosas casas torre del Yemen, que pueden tener hasta 8 plantas, véase la parte derecha de la Figura 2, muchas de las cuales datan de hace 400 años, también fueron hechas con adobe de barro crudo [2]. Todos esos son ejemplos de la durabilidad de esta arquitectura arcaica y de la fiabilidad de su principal material constructivo: el barro crudo que es suelo mezclado con agua sin cocer.

Más recientemente, el suelo estabilizado químicamente se ha utilizado para construcción de pavimentos de carreteras y aeropuertos. En particular, durante la primera y la segunda guerras mundiales antes del auge del asfalto y el concreto como materia prima para los pavimentos, fue el suelo estabilizado con cemento el que permitió la construcción de pistas de aterrizaje duraderas y de carreteras

con bajo costo y mantenimiento. Las estabilizaciones físicas y química del suelo son algunas de las distintas formas de mejoramiento tal como se ilustra en la Figura 3.

De acuerdo con la técnica de mejoramiento se le han dado distintos nombres a los suelos estabilizados tal como se señala en la Figura 4.

En la Figura 5 [3] se ilustra el proceso de construcción del suelo cemento para pavimentos y en la Figura 6 se muestran viviendas acabadas con suelo estabilizado con cal donde se aprecia que la calidad de dichos acabados es similar a cualquiera hecha con otros materiales como mortero de cemento.



**Figura 2:** Distintas edificaciones antiguas construidas con barro crudo en diferentes modalidades. **Fuente:** Modificado de [2]

FORMAS MÁS COMUNES DE ESTABILIZAR EL SUELO		
<b>FÍSICAS</b>	AGUA Y SECADO AL SOL AGUA, PAJA Y SECADO AL SOL	BARRO CRUDO ADOBE CRUDO,
<b>QUÍMICAS</b>	AGENTES CEMENTANTES: CAL, YESO, CEMENTO, ACEITES SULFONADOS	ARGAMASA, BAHAREQUE, QUINCHA SUELO-CEMENTO, CONCRETO, SUELO AGLUTINADO
<b>FÍSICOQUÍMICAS</b>	AGUA Y HORNEADO	BLOQUE Y ADOBE COCIDOS, ALFARERÍA

**Las distintas técnicas dependen de la plasticidad del suelo**

**Figura 3:** Técnicas de estabilización del suelo según su plasticidad. **Fuente:** Elaboración propia

NOMBRES COMUNES DEL SUELO ESTABILIZADO FÍSICA O QUÍMICAMENTE
<p><b>Adobe:</b> <i>Mortero preparado con arena (60%) y arcilla (40%).</i> Alcanza buena resistencia al secar. Puede reforzarse con paja para evitar las fracturas por retracción de la arcilla.</p>
<p><b>Mortero:</b> <i>Mezcla de óxido de calcio, arena y agua.</i> Se sabe que los Mayas lo utilizaban antes del descubrimiento de América para construir caminos, puentes, templos y viviendas. Esto fue casi coincidente con el uso de cemento puzzolánico en el Imperio Romano.</p>
<p><b>Argamasa:</b> La argamasa, palabra proveniente del Latín <b>massa</b>, es un tipo de mortero empleado como material de construcción en albañilería, compuesto por una <i>mezcla de cal, suelo y agua.</i></p>
<p><b>Suelo-cemento:</b> <i>Mezcla de suelo con cemento.</i> Se considera que su aplicación empezó a estudiarse en forma metódica y científica entre 1.910 y 1.920 y que eso ocurrió casi simultánea e independientemente en los EEUU. e Inglaterra.</p>
<p><b>Encalado:</b> <i>Mortero preparado a base de cal, arena, agua y suelo fino.</i></p>

**Figura 4:** Nombres dados a diferentes suelos mejorados con distintos agentes. **Fuente:** Elaboración propia



**Figura 5:** Pasos para construcción de pavimentos con suelo cemento; a) distribución del cemento en sacos en la vía de acuerdo con la concentración a utilizar según el tipo de suelo, b) escarificación del suelo y mezcla con el cemento en seco, c) incorporación del agua de acuerdo con la relación A/C deseada y el tipo de suelo, d) nivelación del material humedecido y e) compactación del suelo cemento durante el fraguado para reducir los espacios vacíos y permitir la mejor distribución del agente cementante en la mezcla. **Fuente:** Imágenes de compactación del suelo, [3]

## II. ASPECTOS TÉCNICOS A CONSIDERAR EN EL MEJORAMIENTO DE SUELOS

Los procesos para mejoramiento de suelos, tanto físicos como químicos, dependen de la naturaleza o clasificación del suelo, es decir si son arcillosos o con partículas planas cargadas eléctricamente, o si son granulares o compuestos de granos en los que la gravedad es la fuerza principal. Las arcillas poseen plasticidad la cual es una propiedad asociada con la capacidad que tienen para atraer eléctricamente el agua y formar una pasta que puede ser manipulada dentro de un rango que depende del contenido de humedad que las partículas son capaces de incorporar en su estructura.

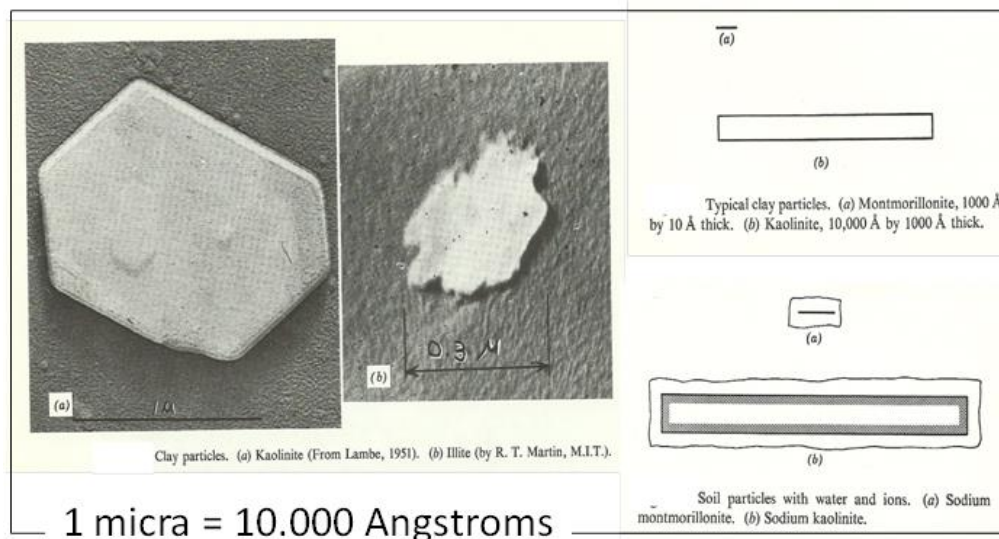
Los suelos granulares producto de la meteorización física pueden tener tamaños que varían desde rocas hasta limos. La forma de los granos es variada entre esferas y cilindros, generalmente con predominio de las primeras. Lo importante es que dichos materiales no presentan carga eléctrica suficiente en su superficie externa y por lo tanto están controlados, principalmente, por las fuerzas de gravedad. En ellos, el agua en contacto con los mismos los impregna y en algunos casos, dependiendo del tamaño y la separación entre granos, aparecen meniscos en la superficie del agua contenida en los poros adyacentes a varios granos.

Las arcillas, por el contrario, provienen de meteorización química y son todas de tamaños pequeños que oscilan entre unas micras hasta

algunos angstroms [4], tal como se ilustra en la Figura 6. Las arcillas tienen formas de placas coura carga eléctrica en sus caras producto de los iones expuestos por la meteorización.

En general, la carga eléctrica en la cara es negativa y la carga en los bordes es positiva. Esta característica hace que las arcillas

atraigan eléctricamente al agua para formar lo que se denomina “doble capa”, a diferencia con los materiales granulares producto de la meteorización física los cuales solamente se impregnan y pueden formar meniscos como ya se indicó. En la Figura 7 se muestra el ancho típico de la doble capa y la magnitud de las fuerzas eléctricas con la distancia.



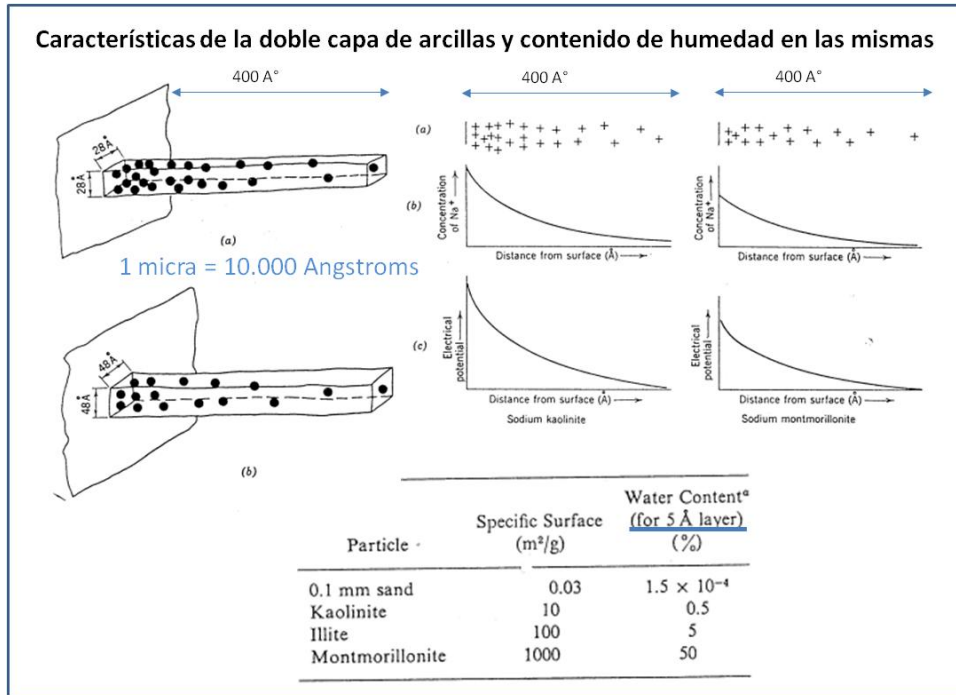
**Figura 6:** Relación de tamaños entre distintas arcillas, kaolinitas, illitas y montmorillonitas. **Fuente:** Modificado de [4]

Las moléculas de agua a poca distancia de la superficie de la cara de la arcilla está fuertemente atraída por las cargas eléctricas debido a la naturaleza dipolar del agua. En términos prácticos esa agua forma parte de la partícula ya que es extremadamente difícil extraerla de allí. Por esa razón cualquier puente entre esa agua y algún otro proceso químico es muy fuerte. Esta condición es llamada electroquímica por Heredia [5].

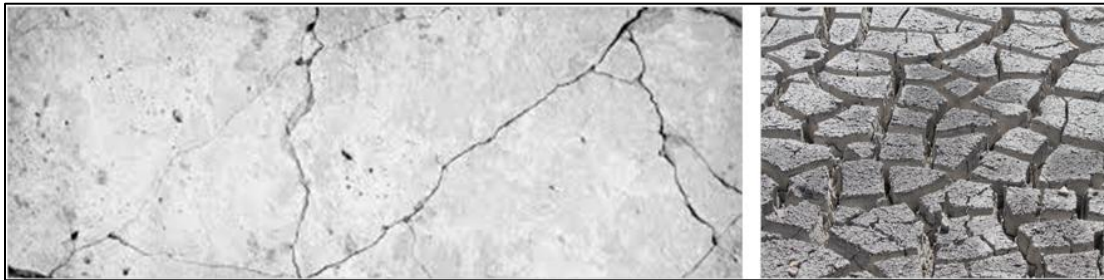
A medida que aumenta la distancia desde la superficie de la partícula disminuye la atracción eléctrica tal como se ve en la Figura 7 y llega un punto en que dicha atracción permite que el agua pueda ser utilizada en otros procesos químicos o físicos. En ese caso, dicha agua ya no formará puente electroquímico con la partícula de suelo sino que es considerada

agua libre que puede, por ejemplo, impregnar los granos de limo presentes en el suelo.

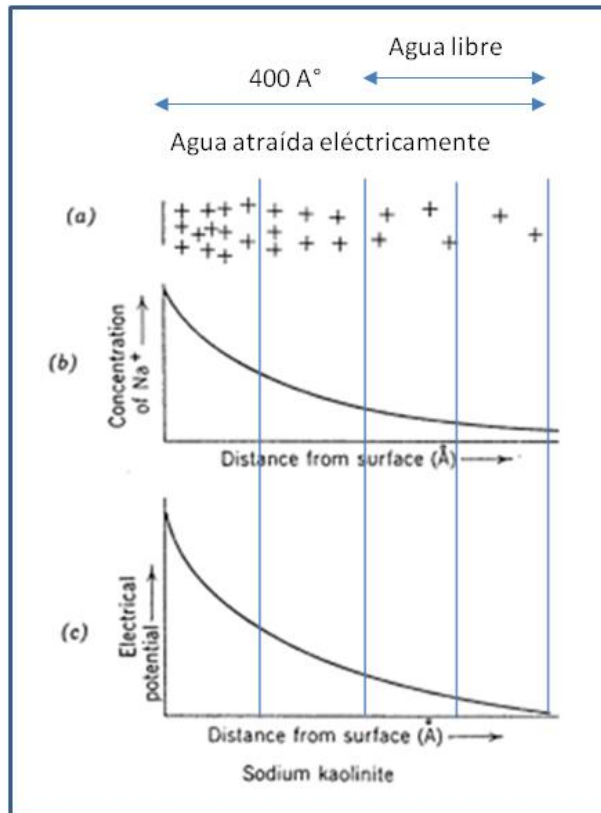
En la medida que exista más agua libre atraída por las cargas eléctricas de la arcilla la misma puede aumentar y disminuir de volumen en mayor o menor medida. Esto se ilustra en la Figura 8, en la cual se aprecia que la arcilla de la derecha permite mayor cambio de volumen que la de la izquierda ya que es capaz de atraer más agua libre a su doble capa, la cual después que escapa permite que el suelo se contraiga mucho más. La hidratación relativa de las dobles capas respecto al tamaño de las partículas de kaolinita y las de montmorillonita se ilustra en la parte derecha de la Figura 6. La Figura 9 muestra el ancho de la doble capa y a partir de donde puede considerarse la atracción eléctrica débil para contar con agua libre para la kaolinita.



**Figura 7:** Dimensiones típicas de la doble capa junto con la variación de la carga eléctrica con la distancia para kaolinita y montmorillonita y contenido de humedad a una distancia de ancho de 5 Å desde la superficie de la partícula para distintos materiales. **Fuente:** Modificado de [4]



**Figura 8:** Contracción de arcillas por eliminación del agua libre de su doble capa. **Fuente:** Imágenes de arcillas [6]



**Figura 9:** Distancia relativa típica de la doble capa mostrando la atracción eléctrica y la disponibilidad del agua libre para la kaolinita. **Fuente:** Modificado de [4]

Cuando se coloca un suelo con cargas eléctricas en sus partículas en contacto con otro material que utiliza el agua para hidratarse, como el cemento suceden los siguientes pasos:

- Al hidratarse el cemento tratará de atraer el agua disponible a su alrededor.
- Si el agua forma parte de la doble capa de la arcilla será más fácil utilizarla cuanto más alejada esté de la partícula de arcilla.
- Mientras más cercana esté el agua de la partícula de arcilla más fuerte es su condición a ser compartida por ambos, el suelo y el cemento hidratado
- Cuando el contenido de humedad del suelo está ligeramente por debajo del límite plástico tiene poca agua libre y es más

probable que el cemento comparta buena parte del agua de la doble capa eléctricamente unida a la partícula constituyendo un puente adecuado

- Esto genera una condición de limitación de agua disponible para la hidratación y si la cantidad de cemento es un tanto alta respecto al agua disponible, entonces el lazo entre el suelo y el cemento obliga a una baja relación agua-cemento, A/C, con lo cual la resistencia del material resultante (suelo estabilizado) sea bastante alta.

La anterior es una condición ideal para construir suelo cemento de buena resistencia aplicable para pavimentos de carreteras o de zonas de alto tráfico de personas con algunas cargas pesadas. Nótese que hay agua unida electroquímicamente a la partícula que es



compartida con el cemento lo cual también genera un puente químico con este último.

Dependiendo del tamaño de las partículas de arcilla con relación a las de cemento algunas de las partículas de arcilla pueden ser incorporadas dentro de los distintos componentes químicos que suceden durante la hidratación del cemento, con lo cual contribuyen a su impermeabilidad. Esto aplica a partículas de tamaños de illitas o montmorillonitas en cantidades limitadas pues de otra manera interferirían con la hidratación y desmejorarían la calidad de la hidratación de los silicatos del cemento. Por ello la cantidad de partículas cemento debe estar siempre en equilibrio con las de arcilla de manera tal que estas últimas no interfieran con la hidratación del cemento sino que contribuyan a la formación de los puentes antes descritos durante dicha hidratación.

La diferencia entre este proceso y el del concreto convencional es que la pasta de cemento está constituida únicamente por agua y cemento que rodean las partículas de los agregados inertes eléctricamente, con lo cual no hay necesidad de estar pendientes de controlar la relación A/C más allá de la relación directa de ambos componentes. Adicionalmente, el tamaño de dichos materiales inertes es muy superior a los de las partículas de cemento, con lo cual no hay incorporación potencial de de elementos del suelo o agregados dentro de las sustancias generadas durante la hidratación del cemento.

Por el contrario, cuando hay partículas de suelo con plasticidad, es necesario mantener el control de la relación A/C considerando el efecto electroquímico sobre el agua por las partículas de suelo. Además, se debe ser cuidadoso en controlar cuanto del material dentro del suelo puede ser incorporado dentro de los compuestos generados durante la hidratación ya que los mismos pueden ser arcillas, como ya se mencionó, o podrían ser limos finos con tamaños muy pequeño, del orden de las arcillas, con lo cual se podría

alterar la estructura de los compuestos de la hidratación del cemento.

Hasta ahora se ha controlado algunos de estos aspectos con base en el tamaño relativo de las partículas [7], es decir, pasante del tamiz #200 y la plasticidad, tal como se ilustra en la Fig0. 10. Lo cual es lógico ya que la plasticidad afecta la manera de formar puentes electroquímicos junto con lazos químicos al momento de hidratar el cemento con agua de la doble capa de las arcillas.

Esa formulación rica en materiales finos no plásticos es ampliamente utilizada para la preparación de acabados los cuales son generalmente preparados con cal en lugar de cemento. No obstante, se pueden buscar los equilibrios entre los distintos componentes de la mezcla para conseguir los aspectos deseados en el material final con cualquiera de los cementantes que se utilicen. La Figura 11 muestra distintos tipos de acabados de alta calidad, tanto de exteriores como de interiores en viviendas, logrados con suelos arcillosos estabilizados con cal o cemento [8].

TABLA No. 5.1 Cantidades de cemento requeridas, PCA.		
GRUPO DE SUELOS SEGUN AASHO	PORCIENTO POR VOLUMEN	PORCIENTO POR PESO*
A-1-a	5 - 7	3 - 5
A-1-b	7 - 9	5 - 8
A-2-4	7 - 10	5 - 9
A-2-5	7 - 10	5 - 9
A-2-6	7 - 10	5 - 9
A-2-7	7 - 10	5 - 9
A-3	8 - 12	7 - 11
A-4	8 - 12	7 - 12
A-5	8 - 12	8 - 13
A-6	10 - 14	9 - 15
A-7	10 - 14	10 - 16

**Figura 10:** Cantidad de cemento de acuerdo con la clasificación del suelo en el sistema AASHO. **Fuente:** Tomado de [7]

En consecuencia, para los casos en que se desean propiedades de la pasta que permitan una colocación fácil pero que a la vez proporcione una resistencia adecuada y a la

vez permeabilidad es necesario mantener alta la relación A/C pero tratando de que haya elementos dentro de la pasta que contribuyan a lograr esto último, es decir, la baja permeabilidad.

Es bueno destacar que a medida que la relación A/C es alta el concreto resultante contiene más poros y además, hay alta interconexión entre ellos. De la misma manera, los poros a baja relación A/C tienen menor diámetro [9]. Esto se muestra en la Figura 12.

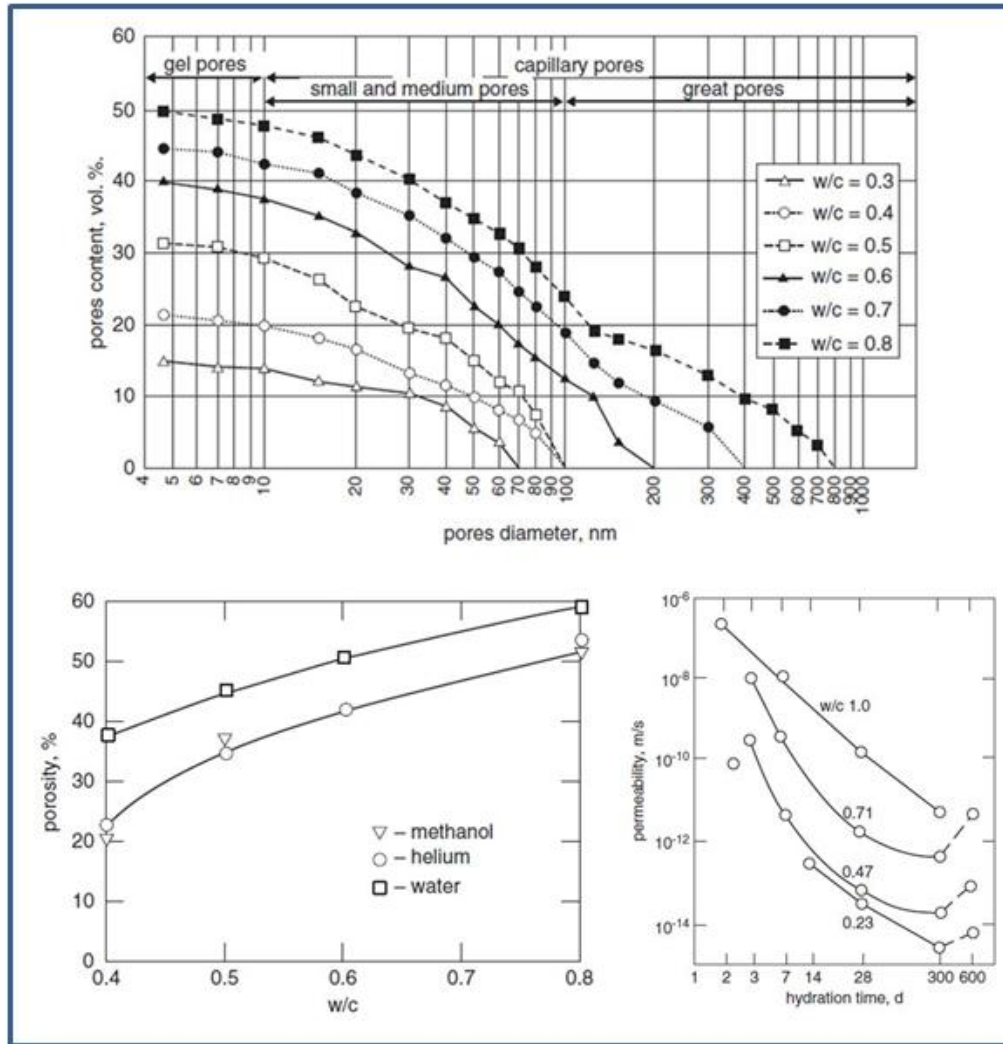


**Figura 11:** Acabados de alta calidad en exteriores e interiores de viviendas realizados con suelos estabilizados con cemento o cal. **Fuente:** Tomado de: Imágenes de casas hechas de barro [8]

Por esa razón se había indicado en los párrafos anteriores que para pavimentos de circulación de vehículos, era conveniente controlar el bajo contenido de agua y luego compactar. No obstante, para cubiertas de techo o entresijos donde no es posible la compactación pero sí es necesaria la impermeabilidad hay que utilizar otros elementos que ayuden a impermeabilizar la pasta obstruyendo los poros y su conectividad.

Finalmente, considerando los aspectos constructivos de viviendas utilizando suelo

estabilizado y madera de bambú en lugar de concreto y cabillas, los análisis indican que se pueden alcanzar ahorros de alrededor de 45% en materiales para el primer caso. Similarmente, los rendimientos pueden mejorarse hasta el 35% sin considerar la curva de aprendizaje. Esto demuestra que el uso de suelo estabilizado junto con madera de alta calidad y resistencia es una alternativa viable para construir viviendas de bajo costo.



**Figura 12:** Influencia de la relación A/C en la cantidad de poros y conectividad entre los mismos en las pastas de cemento. **Fuente:** Tomado de [9]

### CONCLUSIONES

El suelo ha sido y sigue siendo una opción constructiva eficiente de bajo costo al cual pueden añadirse estabilizantes para potenciar su capacidad de uso como material de construcción en distintas aplicaciones. La adición de materiales no plásticos al suelo a ser estabilizado mejora sus propiedades y reduce la retracción durante el fraguado.

Al combinar el suelo con agentes estabilizantes como cemento o cal hay que atender los requerimientos de agua y de finos no plásticos de acuerdo con los resultados esperados del producto resultante. Para aplicaciones donde

se necesita resistencia a la compresión se debe dosificar el cemento y el agua de manera que permitan la formación de puentes entre la doble capa de las arcillas y los productos de la hidratación a fin de tener uniones electroquímicas con uniones químicas al mismo tiempo. Para aplicaciones donde importa sólo la calidad del acabado, es necesario mantener al balance entre los finos no plásticos y la pasta de material cementante para evitar la retracción con buenas características para las condiciones de trabajo.

La permeabilidad debe controlarse en conjunto con la resistencia y las condiciones de trabajo. Así, para pavimentos que van a soportar altos

pesos es conveniente mantener baja la relación A/C y compactar la mezcla. De esta manera se obtiene una buena secuencia de puentes entre el agua electroquímicamente atraída por las partículas de suelo y la requerida para hidratar el cemento. Similarmente, eso logra que las partículas de suelo, que deben ser pequeñas, obstruyan los poros del cemento que se hidrata, además de mantener baja la cantidad, diámetro y conectividad de dichos poros. Contrariamente, cuando se debe tener resistencia no tal alta pero si una gran facilidad para colocar el suelo estabilizado junto con una baja permeabilidad hay que utilizar altas relaciones A/C y tratar la permeabilidad tratando de que las partículas de arcilla contribuyan a obstaculizar los poros o agregando otros agentes que ayuden en esa función.

El empleo del suelo estabilizado en la construcción de viviendas reduce los costos de construcción en aproximadamente 45%, comparados con los de la construcción convencional con concreto y cabillas. Similarmente, los rendimientos pueden mejorar hasta 35%.

El suelo estabilizado tiene aplicaciones demostradas en muchas áreas de la ingeniería y produce acabados de muy buena calidad, tanto en interiores como en exteriores de viviendas, lo cual lo hace un material sumamente versátil para cualquier tipo de construcción. En particular la construcción de pavimentos con suelo estabilizados ha sido utilizada en distintas épocas como acabado para carreteras y aeropuertos con muy buenos resultados.

## REFERENCIAS

- [1] <http://www.sitiosolar.com/la-construccion-con-tierra-cruda-el-adobe-y-la-tapia/> "La construcción con tierra cruda: el adobe y la tapia".
- [2] Tassin, Olivier, "La arquitectura de tierra: una herencia humana", [http://www.rinconesdelatlantico.com/num2/la\\_arquitectura\\_de\\_tierra.html](http://www.rinconesdelatlantico.com/num2/la_arquitectura_de_tierra.html).
- [3] Imágenes de compactación del suelo: [https://www.google.com/search?q=imagenes+de+compactacion+del+suelo&rlz=1C1PQHS\\_enVE502VE563&oq=imagenes+compactaci%C3%B3n+&aqs=chrome.1.69i57j0l2.10710j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=imagenes+de+compactacion+del+suelo&rlz=1C1PQHS_enVE502VE563&oq=imagenes+compactaci%C3%B3n+&aqs=chrome.1.69i57j0l2.10710j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

- [4] Lambe, T.W. and R. Whitman, Soil Mechanics, Wiley, 1969.
- [5] Heredia, José V., Mejoramiento químico y electroquímico de suelos para carreteras, ferrocarriles y aeropuertos, Edición limitada, ISBN: 978-980-12-9833-5, 2017.
- [6] Imágenes de arcillas, [https://www.google.com/search?q=imagenes+de+arcillas&rlz=1C1PQHS\\_enVE502VE563&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=ROBk07TFE32GiM%253A%252C3DN4KSH8IGWkgM%252C\\_&vet=1&usq=AI4\\_-kTGdfVvMkiAEqMSKwDzLngeUS4YsQ&sa=X&ved=2ahUKEwi97Yn2yK\\_jAhUlvFkKHUVQAYUQ9QEwC3oECACQGg#imgrc=ROBk07TFE32GiM](https://www.google.com/search?q=imagenes+de+arcillas&rlz=1C1PQHS_enVE502VE563&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=ROBk07TFE32GiM%253A%252C3DN4KSH8IGWkgM%252C_&vet=1&usq=AI4_-kTGdfVvMkiAEqMSKwDzLngeUS4YsQ&sa=X&ved=2ahUKEwi97Yn2yK_jAhUlvFkKHUVQAYUQ9QEwC3oECACQGg#imgrc=ROBk07TFE32GiM)
- [7] De la Fuente Lavalle, Eduardo, Suelo – Cemento, Sus usos, propiedades y aplicaciones, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C., ISBN 968-464-018-8, 2013
- [8] Imágenes de casas hechas de barro, [https://www.google.com/search?q=imagenes+de+casas+hechas+de+barro&rlz=1C1PQHS\\_enVE502VE563&oq=imagenes+de+casas+de+barro&aqs=chrome.2.69i57j0l5.21925j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=imagenes+de+casas+hechas+de+barro&rlz=1C1PQHS_enVE502VE563&oq=imagenes+de+casas+de+barro&aqs=chrome.2.69i57j0l5.21925j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- [9] Kurdowski, W., Cement and Concrete Chemistry, Springer, 2014.