

22. Cal: un recurso sostenible para la construcción actual



ELENA GUADALUPE NAVARRO MENDOZA*

ADRIÁN IXCOATL CERVANTES SERVÍN**

JUDITH ALEJANDRA VELÁZQUEZ PÉREZ***

PAOLA RECORDÓN RAMÍREZ****

ROSALÍA RUIZ RUIZ*****

HUGO LUIS CHÁVEZ GARCÍA*****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.300.22>

Resumen

La cal ha acompañado a diversas civilizaciones, ha sido esencial en la construcción y, en menor medida, en la alimentación. A pesar del predominio actual del cemento, revalorar la cal resulta fundamental por su bajo costo, su capacidad para responder a múltiples necesidades constructivas y su contribución al confort térmico y la sostenibilidad.

Este capítulo se basa en la experiencia profesional adquirida como residente de obra y especialista técnico en el uso de la cal, completada con

-
- * Doctora en Arquitectura. Docente, constructora y especialista en materiales cerámicos base cal de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6379-814X> ; correo electrónico: elena.navarro@umich.mx
 - ** Doctor en Ingeniería Ambiental. Profesor de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5649-4199>
 - *** Maestra en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Profesora-investigadora de la Facultad de Ingeniería Civil Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9342-8580> ; Scopus: 57194777883
 - **** Ingeniera Civil. Maestra en Ciencias en Ingeniería Ambiental en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8486-8112>
 - ***** Maestra en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Profesora en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8828-3380> ; Scopus: 57195346429
 - ***** Doctor en Ciencias. Profesor-investigador en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6114-4900> ; Scopus: 57194776293

estudios de laboratorio que confirmaron y precisaron conocimientos empíricos sobre su comportamiento en morteros, suelos y adobes estabilizados.

Aunque no puede emplearse estructuralmente debido a su lento fraguado, la cal ofrece una amplia gama de aplicaciones: aplanados, repellados y recubrimientos en muros; estabilización de arcillas para adobes y bloques de tierra; mejora de suelos; y recubrimiento de minerales con propiedades impermeabilizantes y decorativas. Su uso integra tradición y ciencia, favoreciendo construcciones económicas, sostenibles y adaptables a las necesidades actuales.

Palabras clave: *cal, morteros de cal, mejoramiento de arcilla, construcción sustentable.*

Introducción

En el dinámico panorama de la construcción en México, la búsqueda de materiales que sean no solo eficientes y de calidad, sino que también sean sostenibles, se ha vuelto constante. En un país donde la arquitectura y la edificación son testimonios vivos de una rica historia cultural, el enfoque hacia la construcción sustentable se ha consolidado como una prioridad urgente.

El sector de la construcción tiene un impacto significativo en el medio ambiente, al generar una parte importante de las emisiones de gases contaminantes y al demandar grandes cantidades de recursos naturales. Los sistemas constructivos contemporáneos, caracterizados por el uso de combustibles fósiles y una alta demanda energética, intensifican los efectos (Esperanza, 2018). Esta realidad ha impulsado la búsqueda de alternativas constructivas que combinen eficiencia y rentabilidad con una menor afectación ambiental.

La necesidad de transformar el paradigma de la construcción se alinea con la visión de las Naciones Unidas, concibe la vivienda como un componente integral del desarrollo sostenible. El informe de asentamientos humanos de esta organización destaca la importancia de considerar el ciclo de vida completo de las edificaciones, desde la extracción de materiales hasta su eventual reciclaje (ONU-Hábitat, 2018).

En este contexto, la construcción sustentable se ha posicionado como una estrategia necesaria frente a los retos ambientales y sociales actuales. En el marco del derecho a una vivienda digna y decorosa, se realizó un estudio diagnóstico del que surge un modelo de ideas que establece que una vivienda debe ser “alcanzable y constable por todos los individuos sin limitaciones por alguna característica o condición social, o económica, [...] con suficiencia y calidad en sus materiales, diseño y ubicación” (Consejo Nacional de Evaluación Social de la Política de Desarrollo Social, 2018, p. 42). La calidad de los materiales constituye un componente esencial para garantizar que las viviendas cumplan con los estándares de habitabilidad y sostenibilidad.

Para avanzar en la construcción sustentable y garantizar viviendas dignas para todos los mexicanos es fundamental examinar con detalle los materiales empleados en la edificación. La calidad de estos materiales no solo influye en la habitabilidad y durabilidad de las viviendas, sino también determina su impacto ambiental y su aporte a la sustentabilidad del entorno construido.

En este marco, los morteros de cal se presentan como una opción viable que combina calidad, sustentabilidad y accesibilidad. La cal obtenida mediante la calcinación de piedra caliza es un material versátil empleado en la construcción desde hace siglos, cuyo desempeño ha demostrado durabilidad y resistencia a lo largo del tiempo. Además de su longevidad, los morteros de cal ofrecen múltiples beneficios que los hacen adecuados para la construcción de viviendas sustentables en México.

La cal, material milenario

El conocimiento sobre el uso y producción de cal tiene profundas raíces históricas que se remontan a la antigüedad, con registros detallados en los tratados de Marco Vitruvio, arquitecto y escritor romano del siglo I a.C. (Garate, 2002), que en sus escritos, describe detalladamente el proceso de producción de cal, proporcionando una explicación tenencia del proceso en la antigüedad.

Según Vitruvio (2000) el proceso de producción de cal comenzaba con la selección cuidadosa de las piedras, consideradas óptimas para este fin.

Estas piedras se sometieron entonces a un proceso de calcinación, durante el cual se elimina el agua y el aire presente en su interior. Una vez calcinadas, las piedras se mojaban con agua, lo que provocaba que la humedad penetrara en sus poros y generara un calor latente en su interior. Este calor, al liberarse y al enfriar las piedras, daba lugar a la formación de cal.

Aunque han transcurrido más de dos mil años desde la descripción de Vitruvio, el principio fundamental del proceso de producción de la cal permanece vigente. Si bien en la actualidad se aplican tecnologías avanzadas y existen normas estrictas de calidad en su fabricación, los procesos básicos de calcinación e hidratación mantienen los principios esenciales descritos en la antigüedad.

El conocimiento sobre la producción de cal, documentado por Vitruvio en la antigua Roma, tuvo un papel relevante en la historia de la construcción mundial. En México, la cal también fue utilizada desde civilizaciones prehispánicas, que desarrollaron sus propios métodos de producción adaptados a los recursos locales. Tras la colonización en el siglo xv, el uso de la cal se consolidó como elemento central en la arquitectura virreinal integrando tanto la tradición europea como las prácticas prehispánicas.

La cal en la construcciones prehispánicas

En las civilizaciones prehispánicas, la cal desempeñó un papel destacado en la construcción de sus estructuras. Su presencia es evidente en los revestimientos y acabados a base de cal que embellecen las edificaciones de la época. Las estructuras mesoamericanas fueron recubiertas con aplanados y acabados elaborados a partir de cal. Estos revestimientos no solo proporcionaban una apariencia estética refinada, sino también tenían una función práctica fundamental (Barba, 2013).

Los revestimientos de cal desempeñaban funciones cruciales en la protección de las estructuras de los muros de las construcciones. Estos revestimientos actuaban como una barrera protectora contra las acciones agresivas de los factores ambientales, desempeñando un papel vital en la preservación de las edificaciones a lo largo del tiempo (Garate Rojas, 2002).

Los revestimientos a base de cal proporcionaban una capa impermeable que protegía los muros de la infiltración de agua, reduciendo así el riesgo de daños por humedad y erosión. Además, la cal posee propiedades que la hacen resistente al crecimiento de organismos biológicos como hongos y bacterias, lo que contribuía a mantener la integridad estructural de las construcciones. Al ser aplanados de protección, se consideran *de sacrificio*, por lo que es necesario restaurarlos o renovarlos (Garate, 2002).

Otro aspecto relevante del uso de la cal en la construcción era su propiedad alcalina, la cual actuaba como un eficaz repelente de insectos y contribuía a la prevención de enfermedades. Esto provocaba un ambiente desfavorable para la proliferación de insectos y organismos nocivos, lo que ayudaba a mantener las estructuras libres de infestaciones y plagas. Esta propiedad resulta especialmente importante en un entorno donde las enfermedades transmitidas por insectos podrían representar una amenaza seria para la salud de la población (Barba, 2013).

El uso de la cal no se limitaba a aplanados de muros, sino que también incluía la construcción de pisos. Estos se elaboraban sobre una base de preparación o firme, compuesta por piedras pequeñas mezcladas con cal y, en ocasiones, con tierra arcillosa (Barba, 2013). Este sistema generaba superficies durables, resistentes y de fácil limpieza, lo que favorece el mantenimiento de los espacios habitables. Además de su función constructiva, estos pisos contribuyeron a mejorar las condiciones sanitarias y a reducir la propagación de plagas, frecuentes en asentamientos donde los habitantes conviven en suelos de tierra (Barba, 2013).

La cal ha sido un material fundamental en la finalización de construcciones, utilizado tanto en acabados decorativos como en la impermeabilización de techos y pisos (Barba y Córdova, 2010). La fórmula tradicional de impermeabilizante a base de cal sigue siendo efectiva en la actualidad, ofreciendo resultados de protección con el agua.

La cal en la actualidad

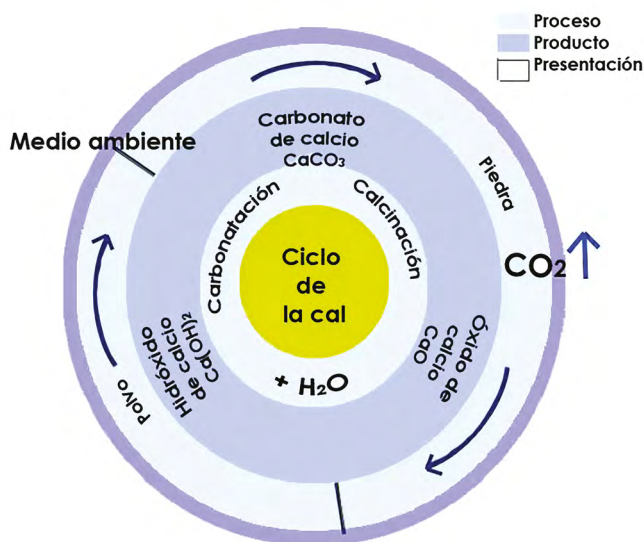
A lo largo del siglo xx, el cemento Portland se consolidó como el material dominante en la construcción, desplazando gradualmente a la cal en múltiples

aplicaciones (Padovnik y Bokan-Bosiljkov, 2021). Este material se caracterizó por su alta resistencia y rigidez (Garate, 2002), cualidades que favorecieron su popularidad en una amplia gama de proyectos constructivos. Sin embargo, esta rigidez puede resultar problemática en estructuras que requieren cierta flexibilidad o capacidad de absorción de movimientos, como ocurre en zonas sísmicas o en edificaciones históricas.

En contraste, la cal ha comenzado a recuperar presencia en la industria de la construcción debido a características vinculadas a la sostenibilidad y a un ciclo de vida menos demandante de recursos. Su producción requiere temperaturas más bajas que las necesarias para el cemento Portland, lo que implica un menor consumo energético y una reducción de su huella ambiental (Al-Jabri et al., 2019). Estas propiedades han impulsado su uso en proyectos de arquitectura bioclimática y en obras que priorizan la eficiencia energética y el bajo impacto ambiental (Guerrero, 2013).

Cal, el material

Figura 1. Ciclo de la cal



Fuente: Navarro et al., (2019).

La producción de cal no ha cambiado por años, consta de la extracción de carbonato de calcio, posteriormente se calcina creándose el óxido de calcio también conocida como cal viva, al hidratarla se convierte en hidróxido de calcio (Navarro et al., 2019), su presentación más común es la presentación de bulto de papel de 25 kg (Navarro et al., 2020). Además se considera que la cal tiene un ciclo. Al hidratarse la cal comienza con el proceso de volver a reabsorber el CO_2 para convertirse de nuevo en carbonato de calcio (Figura 1).

Actualmente la Asociación Nacional de Fabricantes de Cal (ANFACAL) define distintos tipos de cal, los cuales han sido el resultado de desarrollo tecnológico de la producción de esta sustancia (Navarro et al., 2019):

- Cal de construcción,
- Cal química o de alta pureza,
- Cal química de grado alimenticio,
- Cal siderúrgica,
- Cal agrícola.

Tanto la cal de construcción como la cal química ofrecen características ideales para un variedad de usos y aplicaciones en la industria de la construcción. Ambos se presentan en forma de polvo y pueden utilizarse como cementantes en distintos procesos constructivos (Navarro et al., 2023).

La cal es un cementante que al endurecerse comienza a recarbonatarse, iniciando desde la superficie al centro (Garate, 2002); este proceso es lento y permite que las mezclas tengan la oportunidad de acomodarse (Guerreiro, 2013).

Morteros de cal

Los morteros, consisten en una combinación de cementante, agregados como arena y agua. Se emplean comúnmente en la protección de muros y en la unión de elementos constructivos (INIFED, 2015). Su aplicación abarca desde el revestimiento de superficies hasta la fijación de ladrillos, piedras u otros materiales de construcción.

Los agregados en las mezclas son fundamentales para determinar sus propiedades mecánicas, físicas y durabilidad, en los morteros estos representan entre el 60 % y 75 % del volumen de la mezcla (Secretaría de Comunicaciones y Transportes e Instituto Mexicano del Transporte, 2006). Esta proporción es importante ya que los agregados pueden afectar la capacidad de carga, resistencia y permeabilidad.

La forma de los agregados influye significativamente en las características porosas del mortero. En el caso de los que tienen forma angular tienden a generar un menor volumen de microporos en la mezcla (Santos et al., 2018), esto se debe considerar durante el proceso de dosificación de los morteros para asegurar las propiedades óptimas y una mayor durabilidad. Al utilizar agregados livianos en los morteros puede existir la reducción de la conductividad térmica pero al mismo tiempo se puede tener una disminución en las propiedades mecánicas (Longo et al., 2020). Nunca se debe utilizar cal sin agregado, ya que esto puede provocar fisuras (Garate, 2002).

El agua desempeña un papel crucial de mezclas de morteros, su calidad y cantidad deben ser cuidadosamente controladas para garantizar la integridad y durabilidad del producto final. El agua que se utiliza debe estar limpia y libre de partículas que contaminar o debilitar los morteros, ya que un exceso de agua puede provocar la separación de los ingredientes de la mezcla, aumentando la porosidad y disminuyendo la resistencia del mortero (Garate, 2002). Aunado a que una hidratación adecuada permite una mejor adherencia (Salamanca, 2001).

Los morteros deben poseer una combinación equilibrada de propiedades para cumplir con los requisitos de las construcciones, por lo que es fundamental que tengan resistencia mecánica, ser trabajables para su aplicación y tener una mínima retracción durante el secado, ya que el exceso puede provocar grietas y debilitar la estructura (Salamanca, 2001).

Es fundamental tener el conocimiento detallado de los materiales que componen a los morteros, ya que influye significativamente en sus propiedades y rendimiento. Lo que se busca es que los morteros tengan buenas características, sean fácilmente aplicados de manera eficiente y uniforme (Lizarazo y Claisse, 2009).

Aplicaciones de la cal en la construcción sostenible

Recubrimientos, aplanados o revocos

Los revocos, recubrimientos o aplanados de mortero tienen como función principal proporcionar una superficie uniforme y nivelada para recibir acabados finales, al tiempo que absorbe las irregularidades de los elementos que se van a cubrir (figura 2). Además de este propósito estético, el mortero también cumple una función protectora al resguardar los elementos de la construcción contra daños externos y agentes atmosféricos (figura 3). La versatilidad del mortero permite su composición con una variedad de materiales, incluyendo cemento Portland, cal, arcilla y yeso según las necesidades específicas del proyecto y las características requeridas del recubrimiento. Esta combinación de funciones prácticas y estéticas convierte al mortero en un elemento esencial en la construcción, garantizando la integridad y la estética de las estructuras edificadas.

Figura 2. *Cubre las irregularidades*



Fuente: foto de Elena Navarro (2018).

Figura 3. *Perdida de juntas en el muro por falta de aplanado*



Fuente: foto de Elena Navarro (2018).

Los recubrimientos actúan como *aplanado de sacrificio*, ya que es el que está en el exterior, protegiendo la estructura, pero estos son susceptibles al deterioro del tiempo por lo que es necesario restaurar o renovar la estructura (Garate, 2002), esto contribuye a que los edificios puedan tener mayor durabilidad y les da estética.

Los morteros de cal utilizados en recubrimientos presentan características únicas, su lento fraguado y elasticidad contribuyen a prevenir la formación de grietas, mientras su propiedad hidrófuga permite que los muros respiren, de esta forma se evita la acumulación de humedad en el interior de la estructura, además no produce sales que pueden dañarla (Garate, 2002), comúnmente conocido como salitre, que tiene la tendencia de migrar hacia el exterior.

La dosificación de los morteros para los recubrimientos es muy importante, ya que puede dañar los resultados finales y, por lo tanto, acortar la vida útil (Santos et al., 2019).

En la región de Morelia, Michoacán se cuenta con arena volcánica, la cual es basalto, este material es excelente para los morteros con cal sin ningún aditivo. Una dosis recomendada, para los aplanados o recubrimientos que van de 1 a 2.5 centímetros, sería:

Tabla 1. Dosificación de morteros de cal para recubrimiento grueso

Cementante	Agregado	Proporción en volumen	Proporción de obra	
			Bulto 25 kg	Botes de 19 l
Cal de construcción	Arena volcánica	2:5	1	5

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Dosificación de morteros de cal para recubrimiento fino

Cementante	Agregado	Proporción en volumen	Proporción de obra	
			Bulto 25 kg	Botes de 19 l
Cal de construcción	Arena volcánica cernida	2:4	1	4
Para cerrar el poro de el recubrimiento fino se utilizó cal +agua				

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. *Obra con aplanado de morteros de cal. Morelia, Michoacán*



Fuente: foto de Elena Navarro (comunicación personal, 2023).

Figura 5. *Aplicación de aplanado grueso con morteros de cal. Morelia, Michoacán*



Fuente: foto de Adrián Hernández (comunicación personal, 2024).

Figura 6. *Recubrimiento fino con mortero de cal en estado endurecido*



Fuente: foto de Elena Navarro (comunicación personal, 2024).

Figura 7. *Recubrimiento fino de mortero de cal recién colocado*



Fuente: foto de Adrián Hernández (comunicación personal, 2024)..

Los recubrimientos de cal pueden ser colocados en distintos materiales de construcción que van desde tabique rojo, tabicón, block, adobe, ladrillo mecanizado y piedra, se recomienda aplicarlos con herramientas planas para asegurar que puedan asimilar las irregularidades (Garate, 2002).

Figura 8. Colocación de mortero de cal en muro de mampostería de piedra



Fuente: foto de Elena Navarro (2017).

Figura 9. Colocación de mortero de cal en muro de block



Fuente: foto de Elena Navarro (2017).

Figura 10. Colocación de mortero de cal en muro de abobe



Fuente: foto de Elena Navarro (2017).

Figura 11. Colocación de mortero de cal en muro de tabique mecanizado



Fuente: foto de Elena Navarro (2017).

Juntas

Los morteros de cal, por su características de adherencia, trabajabilidad y flexibilidad, son utilizados también para pegar piezas, es decir, para junteado. Estas juntas sirven como conexión entre las piezas y por la flexibilidad puede absorber y adaptarse a los movimientos que pueden tener los elementos constructivos, esto para no perder la durabilidad y estabilidad de la estructura (Guerrero, 2013).

Al igual que los morteros para recubrimientos, los de junteado deben tener buena dosificación. En morteros con arena volcánica se ha probado la siguiente dosificación:

Tabla 3. *Dosificación de mortero de cal para colocar mampostería*

Cementante	Agregado	Proporción en volumen	Proporción de obra	
			Bulto 25 kg	Botes de 19 l
Cal de construcción	Arena volcánica	2:4	1	4

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. *Pegado de tabique rojo y tabicón*



Fuente: foto de Adrián Hernández (2024).

Figura 13. *Colocación de mampostería con morteros de cal para cisterna*



Fuente: foto de Adrián Hernández (2024).

Estabilización de arcilla

Como parte de la sostenibilidad, el uso de los materiales que se pueden considerar no aptos para la construcción está la arcilla, la cal puede ayudar a mejorar a los suelos que se encuentran en el lugar de construcción que son deformables y plásticos, haciéndolos aptos para su utilización, mejorando su resistencia, reduce la contracción, se tiene mayor trabajabilidad y, el más importante, reduce el índice de plasticidad (Bauzá, 2014).

Esta técnica permite la reutilización del terreno en construcción de infraestructura y mejorando terrenos para la construcción (Sampedro, 2014). Por lo que se está revalorando la técnica pero para ello se debe considerar el tipo de arcilla y se recomienda realizar la prueba de Eades y

Grimm para conocer el porcentaje exacto de cal que es necesario para aprovechar su mejoramiento al máximo (Navarro et al., 2022).

Esta técnica también puede ser aprovechada para la creación de BTC (Bloque de tierra comprimida), mejoramiento de adobes y pisos de tierra, ya que con sus características antes mencionadas puede durar más a las inclemencias del tiempo y la humedad.

En las figuras 14 y 15 se puede apreciar el comportamiento de la arcilla proveniente del lago de Zirahuén, Michoacán. Esta arcilla tiende a expandirse hasta disgregarse, mientras que a la que se le colocó cal conserva su forma, por lo que contrarresta la expansión natural de la arcilla y contribuye a mantener la integridad estructural.

Figura 14. *Izquierda cubo de arcilla natural, derecha cubo de arcilla estabilizada con cal sumergidos en agua*



Fuente: foto de Elena Navarro (2019).

Figura 15. *Izquierda cubo de arcilla natural, derecha cubo de arcilla estabilizada con cal después de una semana sumergida en agua*



Fuente: foto de Elena Navarro (2019).

La técnica de utilización implica mezclar el suelo natural con un porcentaje específico de cal, asegurándose previamente de lograr una mezcla homogénea. Posteriormente, se coloca esta mezcla en capas de no más de 30 centímetros de espesor, las cuales son compactadas para asegurar una adecuada estabilidad y resistencia en la construcción, no se debe olvidar hidratar mientras se mezcla y se compacta para obtener mejores resultados.

Figura 16. *Suministro y mezclado de la cal*

Fuente: foto de Elena Navarro (2016).

Figura 17. *Incorporación de humedad*

Fuente: foto de Elena Navarro (2016).

Recubrimiento mineral

También conocido como *pintura a la cal*, es una aplicación de cal que se utiliza para cubrir superficies, se caracteriza por su economía y simplicidad, al requerir solo dos ingredientes. Sin embargo, un inconveniente reportado por los usuarios es que puede dejar residuos de cal en polvo al ser tocado, lo que ha llevado a que no sea tan aceptado en la actualidad. Para evitar este problema, se recomienda utilizar cal de alta pureza o cal química con un grado de pureza del 90% o 95%, ya que al ser más fina tiende a adherirse mejor a la superficie, reduciendo la probabilidad de dejar residuos al tacto.

Para preparar la mezcla es importante verter el agua primero y luego agregar la cal en polvo gradualmente, asegurándose de mezclar hasta que no queden grumos presentes. Además, es posible añadir pigmentos, comúnmente utilizados para el concreto, para darle color al recubrimiento. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los colores resultantes serán más colores pasteles que intensos debido a lo blanco de la cal.

Tabla 4. *Recubrimiento mineral*

Cal química o de alta pureza 90 o 95% en polvo	Agua	Pigmento de color
9 kilos 10 litros		Se recomienda colocar menos de 150 gramos

Fuente: elaboración propia.

Al igual que los aplanados, los recubrimientos a base de cal se encuentran expuestos al rigor del medioambiente, lo que inevitablemente conlleva a su deterioro con el tiempo. Sometidos a la acción de la intemperie, la radiación solar, la humedad y otros factores ambientales, estos recubrimientos requieren renovación o reemplazo periódico para mantener su funcionalidad y apariencia óptimas. Es esencial realizar inspecciones regulares y llevar a cabo mantenimiento preventivo para prolongar la vida útil del recubrimiento y evitar daños mayores en la estructura subyacente

Impermeabilizante base cal

Técnica milenaria, esta implica la mezcla de cal con jabón de pan (también conocido como jabón amarillo o de lavandería), piedra lumbre y agua. El jabón, debido a su efecto de saponificación, contribuye a tapar los poros de la superficie, al igual que la piedra lumbre, mientras que la cal penetra en los pequeños poros, creando una barrera impermeable. Este enfoque, aunque antiguo, ha demostrado ser efectivo para proteger las estructuras de la humedad y la infiltración de agua, contribuyendo así a su durabilidad y conservación a lo largo del tiempo.

Para llevar a cabo este proceso es necesario calentar por separado las hojuelas de jabón y la piedra lumbre hasta que se conviertan en líquido. En una cubeta de 19 litros, se vierte la mezcla de agua con cal sin grumos. Posteriormente, se agrega la piedra lumbre y luego el jabón, sin dejar de mezclar. Es importante verificar que el agua o el ambiente no estén demasiado fríos, ya que el jabón comenzará con su proceso de saponificación. Una vez realizada la mezcla, se revuelve bien y se puede tapar y guardar para su uso posterior.

Tabla 5. Impermeabilizante base cal

Cal de construcción	Agua	Piedra lumbre	Jabón de pan
6.5 kilos	10 litros ¹	500 gramos	1 pieza

Fuente: elaboración propia.

¹ La cantidad de agua para comenzar la mezclas son 10 litros pero se puede colocar hasta que la cubeta de 19 litros esté llena ya con la mezcla.

Para la aplicación de este impermeabilizante se puede emplear una escoba comercial. Es importante aplicarlo sobre una superficie virgen, es decir, sobre una losa de concreto que no haya tenido ningún otro tipo de impermeabilizante previo, para permitir que la mezcla penetre en todos los poros. Aunque no se ha realizado un estudio formal sobre su durabilidad, usuarios de casas modernas aseguran que no han necesitado dar mantenimiento a su impermeabilizante en 6 años, y que la única pérdida notable es la pérdida del color del blanco de la cal.

Conclusiones

La cal es un excelente material para la construcción ya que ofrece términos de sustentabilidad, incluyendo bajo impacto ambiental durante la producción, es fácil de adquirir y más económico en contraste con el cemento portland. Puede ser utilizada en la autoconstrucción ya que la realización es sencilla, aunque es necesario tener la dosificación correcta para aprovechar todas sus características que le proporcionan a los morteros, tales como trabajabilidad, flexibilidad, excelente adherencia y que es hidrófuga. Además de que en algunas ocasiones se puede completar con baja cantidad de cemento Portland para un endurecimiento más rápido, en el caso que se utilice un agregado como arena de río, este puede ir desde 8 a 12 kilos de cemento por un bulto de 25 kg de cal.

En la estabilización o mejoramiento de arcillas para suelo es una excelente opción para la reutilización del mismo material en las obras, además de poder convertirse en parte de la infraestructura civil, BTC, firmes de tierra y mejoramiento de adobes, proporcionando características como mejoramiento de su resistencia, el aumento de trabajabilidad, reducción de la contracción del suelo evitando fallos en el mismo y reducción en el índice de plasticidad.

Por lo que el uso de la cal en la construcción no solo es parte de nuestra historia y cultura en México, sino también es una opción efectiva para avanzar a un futuro más sustentable en la construcción.

Referencias

- Al-Jabri, K., Shoukry, H., Mokhtar, M. M. y Morsy, M. S. (2019). Thermo-physical, mechanical and microstructural properties of cementless lightweight mortar. *Advances in Cement Research*, 33(2), 1-30.
- Barba, L. (2013). El uso de la cal en el mundo prehispánico mesoamericano. En L. Barba Pingarrón y I. Villaseñor Alonso (Eds.), *La cal, historia, propiedades y usos* (pp. 21-48). UNAM.
- Barba, L. y Córdova, J. (2010). *Materiales y energía en la arquitectura de Teotihuacan*. UNAM.
- Bauzá, J. (2014). Aplicaciones de la cal en la obra civil: La estabilización de suelos arcillosos. En F. Alejandro, V. Flores, F. Blasco y J. Martín (Coords.), *La Cal. Investigación y restauración* (pp. 63-80). Universidad de Sevilla.
- Consejo Nacional de Evaluación Social de la Política de Desarrollo Social [CONEVAL]. (2018). *Estudio Diagnóstico del Derecho a la Vivienda Digna y Decorosa*. CONEVAL.
- Esperanza, K. (2018, 11 de julio). *Sector constructor genera 50% de emisiones contaminantes*. Centro Urbano. <https://centrourbano.com/2018/07/11/constructor-genera-50-contaminantes/>
- Garate, I. (2002). *Artes de la cal*. Munilla-Lería.
- Guerrero, L. (2013). *La cal y los sistemas constructivos*. En L. Barba Pingarrón y I. Villaseñor Alonso (Eds.), *La Cal. Historia, Propiedades y Usos* (pp. 49-72). UNAM.
- Infraestructura Educativa [INIFED]. (2015). *Normas y Especificaciones para estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones*. SEDATU/CONAVI.
- Lizarazo, J. M. y Claisse, P. (2009). Resistencia a la compresión y reología de cementantes ambientales. *Ingeniería e Investigación*, 29(2), 5-9.
- Longo, F., Lassandro, P., Moshiri, A., Phatak, T., Aiello, M. A. y Krakowiak, K. J. (2020). Lightweight geopolymer-based mortars for the structural and energy retrofit of buildings. *Energy & Buildings*, 225, 110352. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877882031032X>
- Navarro, E. G., Alonso, E. M. y Arroyo, J. A. (2019). La cal en México. Su historia y su presente. En E. Casanueva (Ed.), *Tercer congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la construcción* (pp. 767-772). UNAM.
- Navarro, E. G., Alonso, E. M., Ayala, L. A. y Sánchez, A. (2022, 4-9 de abril). Cal química para la estabilización de suelos arcillosos [Ponencia]. 20° SIACOT: Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, Trinidad, Cuba.
- Navarro, E. G., Alonso, E. M., Sanchez, A., Bedolla, J. A., Becerra, H., Navarro, A., González, B. y Martínez, W. (2023). Physical and Mechanical Characterization of Lime Pastes and Mortars for Use in Restoration. *Heritage*, 6(3), 2582-2600.
- Navarro, E. G., Bedolla, J., Sánchez, A., Alonso, E., Blancas, V. H., Martínez, W. y Chávez, H. (2020). High Purity Lime as an Ecologic Alternative or Construction Mortars and Pastes. *Key Engineering Materials*, 841, 188-192.
- ONU-Hábitat. (2018). *Vivienda y ODS en México*. Onu-Habitat/ INFONAVIT/ SEDATU.

- Padovnik, A. y Bokan-Bosiljkov, V. (2021). The Influence of Dry Hydrated Limes on the Fresh and Hardened Properties of Architectural Injection Grout. *Materials*, 14(9), 5585.
- Salamanca, R. (2001). La tecnología de los morteros. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, (11), 41-48.
- Sampedro, Á. (2014). Otras aplicaciones de la cal en ingeniería civil. En F. Alejandro, V. Flores, F. Blasco y J. Martín (Coords.), *La cal, investigación, patrimonio y restauración* (pp. 81-90). Universidad de Sevilla.
- Santos, A., Veiga, M. do R., Santos, A., de Brito, J. y Álvarez, J. (2018). Evolution of the microstructure of lime based mortars and influence on the mechanical behaviour: The role of the aggregates. *Construction and Building Materials*, 187(5), 907-922.
- Santos, W., Carrasco E, V., Mantilla J, N., Piancastelli E, M., Magalhães A, G., Silva F, J. y Rezende, M. (2019). Study of the effects of excessive cement of lime in mechanical properties and durability of the mortar coating. *International Journal of Development Research*, 9(9), 29923-29927.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes e Instituto Mexicano del Transporte [IMT]. (2006). *Durabilidad de la infraestructura concreto reforzado. Expuesta a diferentes ambientes urbanos de México*. IMT/SCT.
- Vitruvio, M. (2000). *Los diez libros de Arquitectura*. (J. L. Domingo, Trad.) Alianza Forma.