

Origen, Acción y Daños Causados por Presencia de Sales en Materiales de Construcción.

Origin, Action and Damages caused by presence of salts in construction materials.

Origem, Ação e Danos Causados pela Presença de Sais em Materiais de Construção.

Andrea Carolina Ajiaco Parra

Estudiante. Facultad de Ingeniería Civil.
Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja.
Correo electrónico: andrea.ajiaco@usantoto.edu.co. Tunja – Colombia.

César Santiago Barrera Barrera

Estudiante. Facultad de Ingeniería Civil.
Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja.
Correo electrónico: cesar.barrera@usantoto.edu.co. Tunja – Colombia.

Thalia Isabella Ulloa Barón

Estudiante. Facultad de Ingeniería Civil.
Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja.
Correo electrónico: thalia.baron@usantoto.edu.co. Tunja – Colombia.

Resumen

Este documento recopila información bibliográfica acerca del origen, acción y daños que las sales ocasionan en los materiales usados en ingeniería civil. Se realiza una aproximación a conceptos tales como: sales, cristalización de sales, eflorescencias en mampuestos cerámicos, depósitos de sales, eflorescencias más frecuentes y una recopilación de los principales daños causados por las sales en los materiales de construcción como lo son la alveolización, el fracturamiento, disgregación, corrosión por cloruros y ataques por sulfatos. Finalmente se muestran una serie de ejemplos de caso en los que las presencias de sales han provocado daños en materiales de construcción y rocas. Se llegó a la conclusión de que los materiales de construcción son susceptibles al deterioro por presencia de sales, ya sea en ataques químicos por la interacción de sulfatos y cloruros con los materiales, como en ataques físicos principalmente por la cristalización e hidratación de sales presentes en los poros de los materiales; son aquellos que presentan un mayor coeficiente de absorción capilar y mayor porosidad.

Palabras clave: *Sal, sulfatos, cristalización de sales, daños, materiales de construcción.*

Abstract

This document collects bibliographic information about the origin, action and damages that salts cause in the materials used in civil engineering. An approach is made to concepts such as: salts, crystallization of salts, efflorescence in ceramic masonry, salt deposits, more frequent efflorescence and a compilation of the main damages caused by salts in building materials such as alveolization, fracturing, disintegration, corrosion by chlorides and sulphate attacks. Finally, a series of case examples are shown in which the presence of salts has caused damage to construction materials and rocks. It was concluded that the construction materials are susceptible to deterioration by the presence of salts, either in chemical attacks by the interaction of sulfates and chlorides with the materials, as in physical attacks mainly by the crystallization and hydration of salts present in the pores of the materials; are those that have a higher coefficient of capillary absorption and greater porosity.

Key Words— *Salt, Sulfates, Salt Crystallization, Damage, Construction Materials.*

Para citar este artículo: Ajiaco-Parra, AC. Barrera-Barrera, C.S (2017). "Origen, acción y daños causados por la presencia de sales en materiales de construcción". In *L'esprit Ingénieux*. Vol. 8, pp. 52-67.

Resumo

Este documento coleta informações bibliográfica sobre a origem, ação e danos que os sais causam nos materiais utilizados na engenharia civil. Uma aproximação é feita para conceitos como: sais, cristalização de sais, eflorescência em alvenaria de cerâmica, depósitos de sal, eflorescência mais frequente e uma compilação dos principais danos causados por sais em materiais de construção como alveolização, fraturação, desintegração, corrosão por cloretos e ataques por sulfatos. Finalmente, uma série de exemplos de casos é mostrada em que a presença de sais causou danos a materiais de construção e rochas. Concluiu-se que os materiais de construção são suscetíveis à deterioração pela presença de sais, seja em ataques químicos pela interação de sulfatos e cloretos com os materiais, como em ataques físicos principalmente pela cristalização e hidratação de sais presentes em os poros dos materiais; são aqueles que apresentam maior coeficiente de absorção capilar e maior porosidade.

Palavras-chave: Sal, Sulfatos, Cristalização De Sais, Danos, Materiais De Construção.

INTRODUCCIÓN

Entender el deterioro de los materiales de construcción causados por agresiones físicas, químicas, mecánicas o biológicas es de gran importancia en la labor de ingenieros civiles, debido a que somos responsables de la integridad física de las edificaciones y obras civiles que desarrollemos, por cuanto representan la seguridad y conservación de vidas humanas.

En las rocas, concretos y mampostería se dan en gran medida deterioro por la presencia de sales que junto a factores ambientales como los vientos y el agua dan origen a los procesos de meteorización y erosión.

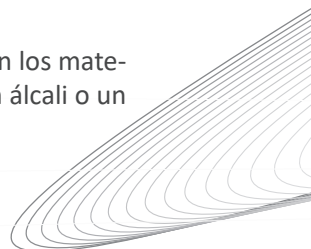
La humedad junto con las sales, son los principales factores en las patologías estructurales o de los materiales de construcción, debido a que estas se van acumulando en las juntas, muros o en el acero. Analizar el origen de las sales y de la humedad, conlleva varios estudios, debido a que la complejidad en las eflorescencias o en el sistema capilar del material, se debe hacer de forma minuciosa. Para saber el comportamiento de los materiales de construcción se debe conocer su composición, la porosidad del material la cual es de suma importancia, ya que por los poros se propaga la migración de soluciones salinas al interior del material.

El presente trabajo tiene como objetivo recopilar información que ayude a entender el origen, la acción y los daños que pueden ocasionar las sales en los materiales de construcción y en la integridad física de las estructuras de roca, mampostería y concreto reforzado.

APROXIMACIÓN CONCEPTUAL

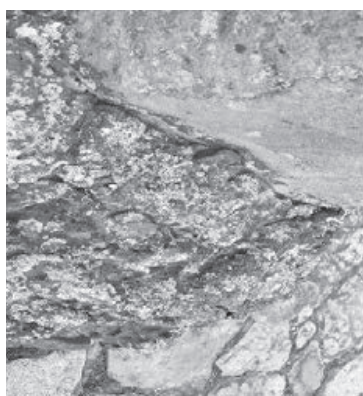
a. Sales

"Las sales forman un grupo muy importante de sustancias con particular interés en los materiales de construcción. Son el resultado de la reacción química entre un ácido y un álcali o un ácido y un metal" (Addleson, 2001)

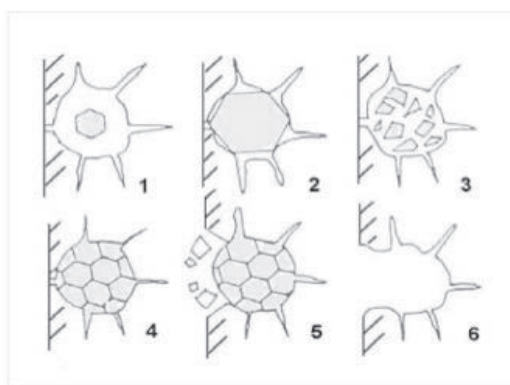


b. Cristalización de sales.

“La cristalización de sales es uno de los mecanismos de alteración más importantes y agresivos que puede sufrir un material, especialmente poroso” (Lopez Arce, 2012). “Si en el interior de un material poroso existe una solución salina, el fenómeno de cristalización en los espacios capilares es inevitable, lo cual genera una presión sobre las paredes o a lo largo de la estructura del propio material”. (Becerra Becerra & Gilberto Costa, Especificaciones de uso de rocas ornamentales con base en ensayos de alteración acelerada, 2008). Existen dos tipos de sales cristalizadas en función del lugar donde se presentan: “puede ocurrir en la superficie causando las típicas eflorescencias o en el interior de su masa causando la sub-eflorescencia que puede provocar un notable deterioro” (Irassar & Batic, 2010) (Figura 1).



(a)



(b)

FIGURA 1. (A) EFLORESCENCIAS MONOLITO POZO DE DONATO (TUNJA); B) SUBEFLORESCENCIAS
Fuente. (a) Autores; (b) recuperado de <http://vgatec.blogspot.com.co/2011/12/eflorescencias-en-fachada.html>

c. Eflorescencias

(Becerra, 2009) define las eflorescencias como “cristales de sales que se forman en la superficie de los materiales pétreos por evaporación” de igual forma cita que la formación de las eflorescencias “está directamente relacionada con la ascensión capilar”. Las eflorescencias tienen un aspecto de manchas de color blanca. La presencia de las mismas puede ser en varios tipos de rocas, pero (Becerra, 2009) afirma que “son mucho más frecuentes en rocas porosas con rápido flujo capilar.

Existen dos tipos de eflorescencias:

Eflorescencia Primaria Se origina debido a la humedad presente en obra o recién terminada. Este tipo de eflorescencias se presentan casi en todas las obras, pero desaparece a los pocos meses.

Eflorescencia Secundaria Estas eflorescencias se encuentran en obras o construcciones antiguas, debido a condiciones desfavorables a las que está sometida la estructura, ya sea por la alta porosidad del material, elevada humedad, defectos constructivos, etc. Estas patologías son inevitables y no desaparecen si no se les da un trato ingenieril.

La aparición de eflorescencias se ve influenciada por distintos fenómenos físico-químicos entre los que (Rincon & Romero, 2000) destaca:

- Equilibrios químicos de las disoluciones de sales.
- Distribución heterogénea de las sales solubles en el interior del material.
- Estructura de la red capilar de porosidad:
- Grado de saturación acuosa de la red de poros.
- Configuración geométrica del conjunto y microestructura de la porosidad.
- Condiciones ambientales de humedad, temperatura, velocidad del aire, etc.

La capacidad de absorción de agua del material determina el tiempo de formación de eflorescencias, en el que se puede evidenciar que los materiales con alta capacidad de absorción eflorescen más rápido que los de baja absorción. “El valor mínimo para producirse eflorescencias es de una Capacidad de absorción del agua (CAA) = 6%” (Rincón 2000). Relacionadas al deterioro en materiales de construcción “las sales pueden proceder del terreno y ascender por humedad o agua capilar, penetrando en los poros de los materiales” (Lopez Arce, 2012).

“Las rocas más susceptibles a la meteorización por cristalización de sales son aquellas con mayor porosidad y coeficiente de adsorción, con mayor número de micro-poros y propiedades mecánicas bajas” (Lopez Arce, 2012)

Adicional a esto (Lopez Arce, 2012) afirma que las sales pueden proceder del mismo material de construcción; para el caso de las sales presentes en ladrillos, pueden deberse al mortero en este caso pueden provenir del árido utilizado, el cemento, al igual que de los aditivos químicos. El material al estar compuesto por sales en su proceso de fabricación, condiciona con mayor facilidad la formación de eflorescencias, lo que se debería analizar en toda el área del material antes de implementar en una construcción, ya que en su debido proceso puede presentar composición de sales que no estaban previstas.

Algunos materiales de construcción están compuestos por sulfato de sodio, sulfato potásico y sulfato magnésico, los cuales deben estar distribuidos proporcionalmente para evitar que el sulfato sódico eflorzca más fácilmente y genere así mismo sobre el sulfato magnésico que se precipite con mucha facilidad.

Fuentes de Manchas y Eflorescencias Los áridos y el agua empleados para las distintas mezclas utilizadas en la construcción, pueden contener sales solubles; Estas mezclas tienen en muchos de los casos aditivos que pueden ser fuente directa de manchas o potenciar la aparición de eflorescencias.

Las sales más frecuentes, así como las propiedades son las siguientes:

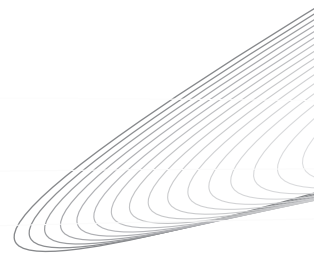


TABLA 1. SALES MÁS FRECUENTES EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

SAL	PROPIEDADES	SOLU. (gr/100ml)
CaCO ₃	Aspecto de velo blanco (exudación). Proviene de la carbonatación de cal. No peligrosa	0,0014
K ₂ CO ₃	Producidas por la carbonatación de álcalis libres del cemento. No peligrosas	112,0
CaSO ₄	Poco soluble, pero susceptible de expansionar por formación de ettringita con los aluminatos del cemento.	0,209
Na ₂ SO ₄	Soluble, fácilmente cristizable con expansión. Muy peligrosa. Proviene de distintas fuentes que se estudian a continuación.	19,5
K ₂ SO ₄	Soluble, fácilmente cristizable. Viene de las mismas causa que la anterior.	12,0
MgSO ₄	Soluble, fácilmente cristizable. Se presenta con escasa frecuencia. Todos los sulfatos solubles pueden dar lugar a la formación de ettringita.	26,0
NaNO ₃ KNO ₃	Constituyen el salitre. Solubles, fácilmente cristizables. Proviene de materia orgánica en descomposición. Son muy poco frecuentes.	
NaCl	Soluble, fácilmente cristizable. Proviene de suelos o ambientes marinos. No peligrosa	35,7
CaCl ₂	Soluble, deliquescente. Proviene de aditivos o de reacciones del NaCl con la cal del mortero. Ataca a los pigmentos y favorece la formación de mohos.	59,5
BaCO ₃	Ambas son muy poco solubles por lo que se utilizará	2,2x10 ⁻³
BaSO ₄	En la fabricación de ladrillos con el fin de desplazar la formación de aquellas sales más solubles.	2,2x10 ⁻⁵

Fuente. Recuperado de (Osuna Marcos, 1998)

“Cualquiera de las sales solubles citadas que se halle presente en la obra de ladrillo puede producir eflorescencias. Salvo algunos casos específicos de contaminación exterior, lo normal es que las eflorescencias provengan del ladrillo, del mortero o de ambos, aunque como veremos los primeros tienen grandes probabilidades de ser los principales causantes de las eflorescencias.” (Osuna Marcos, 1998)

d. Eflorescencias en mampuestos cerámicos

Las eflorescencias en los mampuestos cerámicos se presentan y se visualizan como manchas blancas debido a depósitos salinos, que aparecen en la superficie. Dado que las sales se depositan en la superficie por estar ésta más expuesta a la evaporación, resulta que los ladrillos con mayor porosidad o texturas más abiertas son los que tienen mayor tendencia a eflorescer. De manera que cuando un ladrillo presenta una capacidad de absorción de agua nula, prácticamente no presenta eflorescencias (Rincon & Romero, 2000); esta patología se produce de forma periódica a lo largo de la vida de los productos cerámicos.

Las eflorescencias que se presentan en el material cerámico, muchas de las veces es causada por los defectos del material de juntas, lo cual produce una acumulación progresiva de las sales. Dicha clase de defectos, como un cambio de color, por ejemplo, puede llevar a una pérdida de las características iniciales del material de juntas o incluso de las prestaciones del material cerámico. “Un solo defecto del material de juntas puede permitir que el agua se filtre por debajo del mortero de agarre en puntos localizados, provocando el deterioro de la junta y reduciendo la durabilidad del revestimiento cerámico, proceso que será tanto más rápido, cuanto más agresivo sea el medio y la presencia de sales.” (Silvestre & De Brito, 2007)

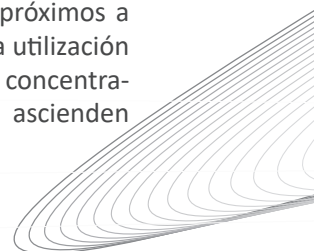
Las eflorescencias se encuentran constituidas por diferentes componentes como el sulfato de sodio, calcio, potasio, cloruros, nitratos alcalinos y magnesio. Las sales se originan a partir de la acumulación que por lo general aparecen en la superficie del ladrillo, tanto después del secado como de la cocción de las piezas. Después de la cocción pueden aparecer también sulfo-aluminatos y carbonatos alcalinos (Rincon & Romero, 2000). La aparición de esta patología también se puede presentar en áreas limitadas del ladrillo.

“Los contenidos de sales solubles son del orden del 2% o más (K^+ , Na^+ , Mg^+ , Ca^+ , SO_4^{2-} , Cl^-). Se conoce la composición de muchas eflorescencias dándose como presentes las sales más diversas: Na_2SO_4 , K_2SO_4 , $CaSO_4$, $FeSO_4$, $CaCO_3$, Na_2CO_3 , $NaCl$, $KAl(SO_4)_2$, $NaAl(SO_4)_2$, $Al_2(SO_4)_3$, silicato sódico y compuestos de vanadio, molibdeno, cromo, níquel, manganeso, etc. La formación de sulfatos solubles en los ladrillos por reacción con los gases sulfurosos de los secaderos y de los hornos ha sido motivo de amplias investigaciones habiéndose llegado a las siguientes conclusiones: La presencia de anhídrido sulfuroso en la atmósfera durante el secado y la cocción de los ladrillos puede ser la causa de graves problemas de eflorescencias ya que se forman los correspondientes sulfatos

alcalinos que dar lugar a estas; los materiales que en forma natural no eflorescen, pueden hacerse eflorescentes por cocción en atmósfera sulfurosa. Si además de cocer en atmósfera sulfurosa, se seca el producto en la misma atmósfera el problema de la eflorescencia puede agravarse considerablemente; La presencia de agua no es necesaria para que se verifiquen las reacciones entre el SO_2 y la arcilla, pero si la atmósfera sulfurosa se pone en contacto con la arcilla cuando ésta aún contiene humedad, la tendencia a la eflorescencia aumenta. Esto es debido a la formación de ácido por reacción con el agua. Este ácido puede actuar fácilmente sobre sustancias insolubles para dar lugar a sulfatos solubles. Las eflorescencias más abundantes se han obtenido con las probetas que entraron muy húmedas en el secadero que contenía gases sulfurosos: Cuando las arcillas contienen como impurezas carbonatos de calcio o de magnesio, muestran gran tendencia a aumentar su contenido en sulfatos por cocción en atmósferas sulfurosas. Las arcillas que contienen estas impurezas pueden dar ladrillos muy eflorescentes si se cuecen en las mencionadas atmósferas. El carbonato de magnesio en las materias primas es especialmente peligroso a este efecto; La presencia de estos gases sulfurosos se debe generalmente a los combustibles utilizados, como el fuel y el carbón, en el proceso de secado y de cocción” (Osuna Marcos, 1998).

f. Eflorescencias provenientes de suelos

Otra fuente no menos importante son las sales solubles en el suelo, debido a que se considera una fuente ilimitada para efectos de la contaminación de la obra. Unos de los factores que contribuyen a esta patología es la lluvia, las humedades de obra y los productos de lavado y protección. “Hay suelos, como los esquistos y ciertas pizarras, los cercanos a zonas industriales y los próximos a explotaciones agrarias con amplia utilización de abonos, que presentan alta concentración de sulfatos solubles. Estos ascienden



por capilaridad a través de los muros de fundación y se evaporan en las zonas expuestas al aire, dando lugar a eflorescencias y criptoflorescencias. De este tipo son también las producidas por nitratos procedentes de abonos y humus orgánico o las producidas por cloruros, en terrenos salinos” (Osuna Marcos, 1998).

“Un buen ejemplo de ello es la ciudad de Adelaide en el Sur de Australia, construida básicamente sobre una antigua salmuera y fundada en 1836. Existen miles de edificios afectados por sales y cientos han sido tratados con ayudas de patrimonio de su ayuntamiento. El ascenso de agua capilar puede alcanzar en sus fachadas hasta 1.5m de altura. El total de sales solubles medidos por CI indica que la concentración de sales disminuye con la altura, como es lógico, puesto que ascienden desde el terreno”. (Lopez Arce, 2012). Las sales que se presentan en forma de eflorescencias o que se encuentran mezcladas con los materiales son principalmente cloruro sódico, sulfato sódico y nitratos. Los morteros y ladrillos que se estudiaron muestran el alto contenido de cloruros y nitratos que la piedra, la cual está formada por más sulfatos, después del mortero por ser más poroso.



FIGURA 2. ASCENSO DE AGUA POR CAPILARIDAD. IGLESIAS ST. JOHNS, ADELAIDE, AUSTRALIA (A). MARCA SOBRE LA FACHADA (B). CONCENTRACIÓN DE SALES SOLUBLES ANALIZADAS POR CI EN ALTURA Y PROFUNDIDAD. FUENTE. RECUPERADO DE LÓPEZ, P. DAÑOS POR CRISTALIZACIÓN DE SALES. INSTITUTO DE GEO CIENCIAS (CSIC-UCM),2007.

g. Velos

Son los depósitos salinos que se forman en los mampuestos cerámicos en el momento de su fabricación y desempeño en las estructuras. Estos velos al paso del tiempo van acumulando las sales que son arrastradas por el agua y se pueden distinguir debido a que las anomalías son permanentes. Se presentan 3 tipos de velos:

Velos de Secado. El secado se produce por la acción del aire natural y este se acumula en forma de sales en los materiales de construcción sin alguna forma específica.

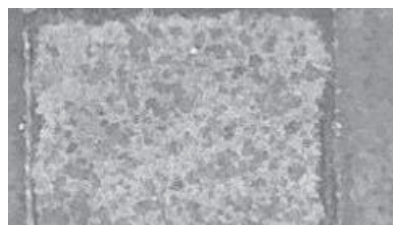


FIGURA 3 VELOS DE SECADO
Fuente. Recuperado de Mejía, S. Origen de las Eflorescencias. 2013.

Velos de Secadero. El secado se produce por la acción del aire industrial y este se acumula en forma de sales, sobre las arcillas que han sido mecanizados. “Estas eflorescencias que aparecen en la masa cruda o verde, cuando la arcilla es moldeada, se somete al proceso de se-

cado previo a la cocción” (Rincon & Romero, 2000). La aparición de eflorescencias está influida por la atmósfera de secadero.



FIGURA 4 VELOS DE SECADERO.
Fuente. Recuperado de Mejía, S. Origen de las Eflorescencias. 2013.

Velos de Horno. “Es la eflorescencia que aparece una vez cocido el ladrillo por la aparición de la denominada “capa de reacción” que se produce por la interacción entre la capa salina original y los componentes composicionales y micro estructurales del ladrillo” (Rincon & Romero, 2000). En la formación de esta patología hace parte la composición química y la textura. La interacción de la atmósfera del horno, si contiene SO_2 , son las responsables de la aparición.



FIGURA 5 VELOS DE HORNO.
Fuente. Recuperado de Mejía, S. Origen de las Eflorescencias. 2013.

Depósitos de Sales

Depósitos de Silicatos (White Scum) Estos depósitos se producen por la insuficiente pre-humectación al momento de limpiar o ser lavados estos mampuestos. El mortero al ser disuelto con el ácido, es absorbido lo cual se forman sales de silicatos.



FIGURA 6. DEPÓSITOS DE SILICATOS.
Fuente. Recuperado de Mejía, S. Origen de las Eflorescencias. 2013.

Depósitos de Carbonato de Calcio. Las causas que contribuyen a la formación de chorreaduras de carbonato de calcio, pueden ser molduras, bases, espuma de respaldo u otros materiales de construcción.



FIGURA 7. DEPÓSITOS DE CARBONATO DE CALCIO EN MUROS DE LA IGLESIA LAS NIEVES (TUNJA)
Fuente. Autores

Salitre o nitro de pared

Nombre tradicionalmente dado a las eflorescencias, se refiere principalmente a la cristalización de sales formadas por $NaNO_3$ y $KaNO_3$. “En la Antigüedad, las eflorescencias se formaban por la descomposición en el suelo de material orgánico conteniendo nitrógeno o por defectuosos sistemas de alcantarillado en las edificaciones antiguas se designaban con los nombres de “salitre” o “nitro de pared”. En la actualidad es raro que estas sales nitrogenadas aparezcan en obras de ladrillos y, en tal caso, sólo pueden apare-

cer en cercanías de establos o estercoleros” (Rincon & Romero, 2000)

Eflorescencias más frecuentes

Eflorescencias de sulfato Magnésico (SO_4Mg). Es la eflorescencia más destructora, ya que se manifiesta como un desmoronamiento superficial que avanza progresivamente hacia el interior del ladrillo. Esta sal se encuentra como:

- Solución en el agua de mar.
- $\text{SO}_4\text{Mg} \cdot \text{H}_2\text{O}$ monohidrato (Kieserita o reichardita)
- $\text{SO}_4\text{Mg} \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ (Sal de Epsom o de Sedlitz, epsomita).
- Sales dobles con SO_4Na_2 .

Lo que caracteriza al SO_4Mg es su gran solubilidad en agua y su alta expansión al cristalizar. En los ladrillos cocidos se puede encontrar SO_4Mg que sufre un proceso al disolverse en agua y recristalizar (Rincon & Romero, 2000).



FIGURA 8. EFLORESCENCIAS DE SULFATO MAGNÉSICO.
Fuente. Recuperado de <https://obrasyreformasedefer.com/autor/admin/>

Eflorescencias de sulfato de Sodio (SO_4Na_2).

“Esta sal provoca roturas, debido a que la eflorescencia provoca presiones resultantes sobre la microestructura del ladrillo y puede alcanzar valores del orden de $25\text{N}/\text{mm}^2$. Esta eflorescencia puede formarse después de que el ladrillo haya sido puesto en obra. Esta sal puede producir también daños microestructurales a los ladrillos cuando cristaliza y recristaliza debido a fenómenos de expansión de volumen” (Rincon & Romero, 2000)



FIGURA 9. EFLORESCENCIAS DE SODIO.
Fuente. Recuperado de Mejía, S. Origen de las Eflorescencias. 2013. Disponible en línea: <https://es.slideshare.net/SergioPap/origen-de-las-eflorescencias-octubre-16-2013>.

Eflorescencias de Vanadio. “Se presentan en forma de manchas de color verde amarillento o amarillo de azufre y no se eliminan por cepillado con las eflorescencias de sulfatos. Generalmente se deben a materias primas o combustibles” (Rincon & Romero, 2000).



FIGURA 10. EFLORESCENCIAS DE VANADIO.
Fuente. Recuperado de <https://construcciontecnicasmc.wordpress.com/2015/05/23/eflorescencias/>

Eflorescencias de Sulfato de Calcio (Yeso).

Su aspecto es más lechoso que en el sulfato de sodio. Su aspecto es de costra o capa ubicada más en los poros del ladrillo que en la superficie. Es menos soluble y el lavado puede llegar a ser difícil y puede reaparecer dando un aspecto blanzuzco o sucio al muro.



FIGURA 11. EFLORESCENCIAS DE SULFATO DE CALCIO (YESO)
Nota. Recuperado de Mejía, S. Origen de las Eflorescencias. 2013.

I. DAÑOS OCASIONADOS A MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN POR PRESENCIA DE SALES

“Ampliamente se ha aceptado que la presencia de sales solubles producen deterioro afectando materiales como metales, cerámicas, ladrillos, concreto y rocas por sus efectos de cristalización y por sus reacciones químicas con los componentes intrínsecos del material pétreo” (Tatis Castro & Barbosa Lopez, 2012). Cuando existen presencia de sales “el deterioro ocurre como consecuencia del fenómeno de cristalización que se da tanto en la superficie expuesta de la roca como en su interior donde genera sobrepresiones dependiendo del tipo y tamaño de los poros de las rocas” (Tatis Castro & Barbosa Lopez, 2012), “la presión de cristalización es el mecanismo que mayor deterioro produce durante la cristalización de las sales”

Existen varios autores los cuales afirman que existen dos tipos de mecanismos más comunes que producen deterioro en los materiales de construcción, (Grossi & Esbert, 2000) enuncia a la cristalización y la hidratación.

Con respecto a la cristalización actúa de modo que “El empuje del cristal al crecer en un poro o fisura produce tensiones locales que tienden a agrandar dichos espacios vacíos. El deterioro se produce cuando las tensiones superan la resistencia a la tracción de la roca.” (Grossi & Esbert, 2000). Según (Becerra, 2009) “Es posible observar la caída progresiva de la resistencia frente a los esfuerzos compresivos en la medida en que aumenta el número de ciclos de cristalización de sales, siendo posible determinar una tendencia decreciente continua en función del número de ciclos”; como consecuencia de la pérdida de resistencia se presenta como etapa final el fisuramiento de la roca. Por otra parte, existen sales que pueden presentar diferentes estados de hidratación, “Estas sales, una vez cristalizadas al variar las condiciones de humedad y temperatura, pueden tomar o liberar agua de hidratación. Cuando se hidratan pueden desarrollar pre-

siones en las paredes de los poros que pueden conducir al deterioro de la piedra que las contiene” (Grossi & Esbert, 2000). Adicional a esto, (Becerra, 2009) afirma que “ciertos minerales pueden tener moléculas de agua incorporadas a sus estructuras cristalinas y ser, por lo tanto, más destructivas debido al aumento de volumen en relación a sus especies anhidras”

Entre los daños específicos causados por la presencia de sales en un material se encuentran:

a. Disgregación y Descamación

Son mecanismos de erosión de rocas, según (Tena, Mandado, & García) si en dicha erosión se presenta liberación individual de granos se refiere a disgregación, por el contrario si la roca presenta separación de láminas de roca se habla de descamación, “ambos pueden ser resultado de la presión ejercida por la cristalización o hidratación-deshidratación de las sales” (Tena, Mandado, & García). Este proceso de erosión cobra importancia con la acción del viento y las condiciones micro climáticas, debido a que son “eliminadas por la acción eólica, por las ocasionales aguas circundantes o simplemente por gravedad” (Tena, Mandado, & García), dejando así al descubierto una nueva superficie de roca que posteriormente sufrirá el mismo ciclo de erosión. “Este tipo de erosión puede causar la pérdida de varios centímetros de roca en superficies expuestas” (Becerra, 2009).

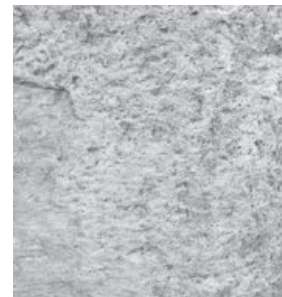


FIGURA 12. DISGREGACIÓN EN MONOLITO DE PIEDRA POZO DE DONATO (TUNJA)
Fuente. Autores

b. Alveolización

(Becerra, 2009) describe que la “alveolización es un caso especial de desintegración granular. Se produce cuando la erosión de los granos ocurre diferencialmente en la superficie de la roca”; por su parte, (Valdeon, Esbert, & Marcos, 1985) se refiere a la alveolización como “un fenómeno alterológico caracterizado por la formación y desarrollo de huecos o cavidades de diferentes tamaños y morfologías, llamados alveolos, en el seno de las rocas”. Debido al crecimiento de los cristales en fisuras y poros de la roca, la cual produce tensiones locales que afectan la resistencia de la misma. Adicional a esto (Valdeon, Esbert, & Marcos, 1985) afirma que si en el crecimiento de dichos cristales hay además fenómenos de hidratación, favorecidos por el aumento en la humedad relativa del aire, el desmoronamiento de las superficies rocosas es aún más rápido. En la figura 13 se muestran un ejemplos de alveolización.



FIGURA 13. (A) ALVEOLIZACIÓN EN PAÑETE DE VIVIENDA DE LA CIUDAD DE TUNJA;
(B) ALVEOLIZACIÓN EN SILLAR DE LA IGLESIA DE SANTA MARÍA
Fuente. (a) Autores; (b) Recuperada de https://www.geocaching.com/geocache/GC6RM4T_iglesia-de-santa-maria?guid=e2fff2e6-6a29-4eb9-b32a-2d3b1f28c6b2

c. Fracturamiento

“Las propiedades petrofísicas más importantes que determinan la durabilidad de la roca son el sistema poroso y sus propiedades mecánicas” (Benavente, Cueto, Martínez, & García del Cura, 2006) dentro del sistema poroso, se encuentra el sistema de fracturas internas del material. Teniendo en cuenta que “el principal mecanismo que genera daños en materiales porosos es la presión de cristalización” (Lopez Arce, 2012) se tiene que, “si la presión de cristalización es suficiente para propagar las micro fracturas se producirá una fracturación y desintegración de la roca” (Benavente, Cueto, Martínez, & García del Cura, 2006). En la figura 13 se puede evidenciar el deterioro de una alcantarilla en una ruta de la Patagonia Argentina por la presencia de un suelo con alto contenido de sal.

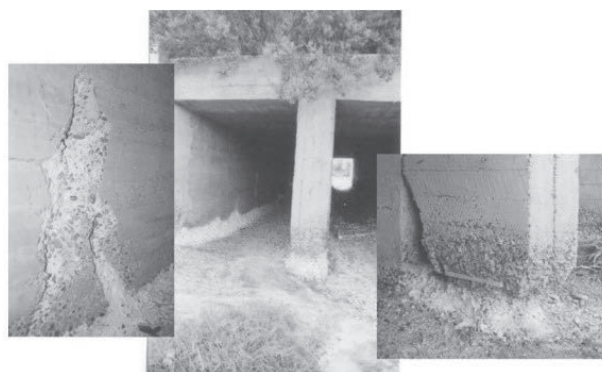


FIGURA 14. DETERIORO DE ALCANTARILLA POR FRACTURAMIENTO CAUSADO POR CRISTALIZACIÓN DE SALES
Fuente. Recuperado de (Irassar & Batic, 2010)

d. Ataques por sulfatos (concreto)

Es de gran importancia en la industria de la construcción entender el concepto de durabilidad del concreto asociado tanto a factores físicos, mecánicos como químicos, en este caso los ataques por sulfatos se relacionan con las agresiones químicas que sufre el concreto. “El ataque por sulfatos es uno de los más peligrosos para el concreto, el agente agresivo comienza por atacar los granos de Clinker hidratados, la pasta de cemento sufre cierta expansión, se torna blanda y por último se agrieta” (Garzón Pire, 2013). Los sulfatos que generan mayores ataques al concreto son sulfatos de calcio, sodio potasio y magnesio, aun cuando el ataque producido por cada uno es diferente, “en general, se admite que para concentraciones de sulfatos superiores a las 1000 ppm, comienza a apreciarse el deterioro del hormigón, aunque es a partir de una concentración de 3000 ppm cuando se produce su degradación casi total” (Mingarro, 1996).

El ataque por sulfato en el concreto es producto de una reacción química en el cual “el sulfato de sodio reacciona, principalmente con los aluminatos hidratados para formar etringita, mientras que los sulfatos magnésicos reaccionan con los silicatos dando lugar a la formación de yeso” (Mingarro, 1996), estos sólidos tienen un volumen mayor que los reactantes sólidos y las tensiones pueden producir rompimiento de la pasta y del concreto. Adicional al ataque químico al concreto, esto puede llevar a que se permita el paso de cloruros al acero de refuerzo y genere corrosión de los mismos, provocando así, una afectación mecánica del material.

e. Corrosión en el concreto por cloruros

La corrosión inducida por cloruros se presenta principalmente en ambientes marinos debido al alto contenido de ion cloruro en el ambiente. “Los iones cloruro están presen-

tes en el agua de mar, pero es posible que también los desplace el viento de la brisa marina a la zona costera y los deposite en estructuras de concreto cercanas a la línea de mar” (del Valle Moreno, 2001), el deterioro que presentan los cloruros en estructuras de concreto reforzado radican en que estos penetran por el concreto hasta llegar a la armadura de la estructura, de esta forma “los iones de cloruro libre desencadenan corrosión por picado, éstos atacan directamente la capa pasiva del acero e impiden que ésta pueda regenerarse” (Torres Gómez, Aperador, Vera, Mejía de Gutierrez, & Ortiz, 2010).

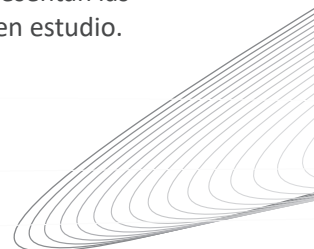
II. EJEMPLOS DE CASO

Deterioro del hormigón por cristalización de sales

Autores. (Irassar & Batic, 2010) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Objetivo. Analizar el comportamiento frente a la cristalización de sales de una serie de hormigones y analizar el progreso de deterioro.

Metodología. En este estudio se evaluó el comportamiento de una serie de hormigones con adiciones minerales activas frente a la cristalización de sales, durante un periodo de 15 años en un área experimental. En total se evaluaron siete tipos de mezcla de hormigón: H1 elaborado con cemento portland normal, H3 cemento portland con adición de un 20% de ceniza volante Clase F, H4 cemento portland con 40% de adición de ceniza volante Clase F, H5 cemento portland con adición de puzolana natural clase N en un 20%, H6 cemento portland con adición de un 40% de puzolana natural Clase N, H7 cemento portland con adición de 80% en peso de escoria granulada de alto horno y H8 se utilizó cemento portland normal altamente resistente a los sulfatos. En la figura 14 se presentan las proporciones de los hormigones en estudio.



Mezcla	Materiales, kg/m ³				
	Agua	Cemento	Adición	Agregado Fino	Agregado Grueso
H1 CPN	167	314	-	703	1215
H3 20% C Volante	162	245	61	699	1209
H4 40% C Volante	158	182	121	689	1195
H5 20% Puzolana	161	246	61	702	1210
H6 40% Puzolana	159	184	123	699	1198
H7 80% Escoria	167	63	253	698	1207
H8 CPARS	163	308	-	704	1214

FIGURA 15. PROPORCIONES DE LOS HORMIGONES EN ESTUDIO
Fuente. Recuperado de (Irassar & Batic, 2010)

Principales resultados. El deterioro es mayor en los hormigones con elevado contenido de adiciones minerales activas (H7, H6, H4), debido a que presentan mayor ascensión capilar y mayor fracción de micro poros que obedece al refinamiento de los poros. Los resultados después de los 15 años se pueden apreciar en la figura 15.

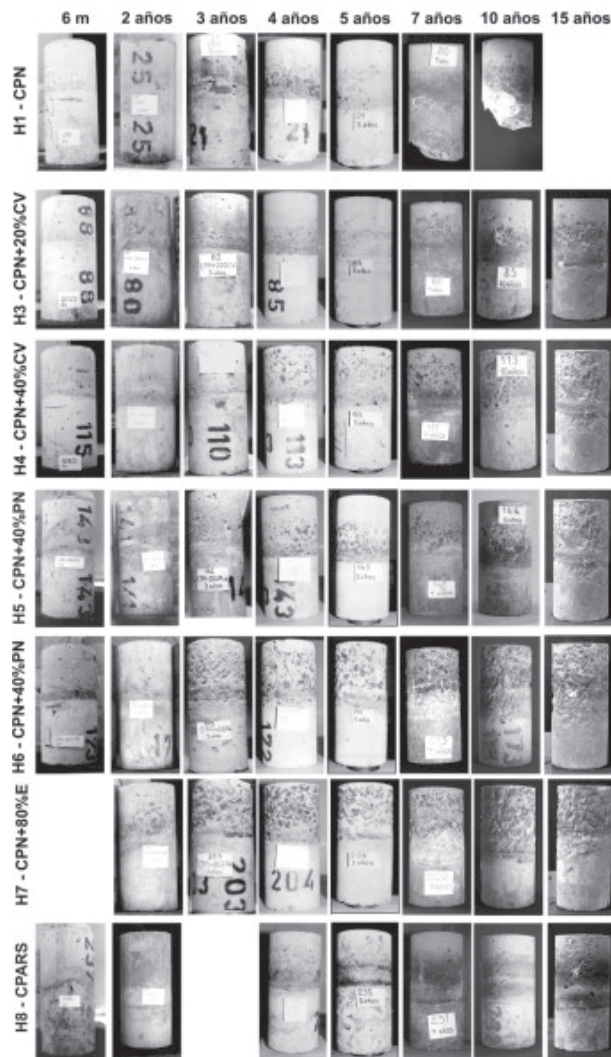


FIGURA 16. ASPECTO VISUAL DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS
Fuente. Recuperado de (Irassar & Batic, 2010)

Composición y origen de las sales en la Iglesia de San Isidoro (Úbeda)

Autores. (CAMPOS & TORRE, 2006)

Objetivo. Identificar y caracterizar las eflorescencias y subeflorescencias, así como identificar su origen para controlar su aparición.

Metodología. Se recogieron 20 muestras de sales sobre sillares y morteros de la iglesia de San Isidoro en zonas donde aparecían como eflorescencias masivas. Un primer muestreo tanto del interior como del exterior fue realizado en plena intervención del edificio (marzo de 2004) mientras que el segundo muestreo se llevó a cabo 10 meses después de que concluyeran dichas obras (marzo de 2006). Se utilizaron difracción de Rayos X y microscopio electrónico de barrido, para el análisis de las muestras.

Principales resultados. Se detectado tres tipos de agrupaciones de sales. Las primeras se han relacionado con el periodo en el que la sustitución de elementos del tejado dejó desprotegida la iglesia frente a las precipitaciones. El agua se acumuló y se infiltró libremente en la mampostería. Este hecho puntual provocó la disolución y la rápida cristalización de sales en las portadas con el ascenso de la temperatura. Las asociaciones del segundo conjunto de sales se relacionan con la presencia de diferentes tipos de morteros unidos a la presencia de humedad tanto capilar como por infiltración. Las diferencias composicionales reflejan la diversidad de morteros empleados. La tercera asociación está directamente relacionada con problemas en la canalización de aguas residuales.

Caracterización de agentes del deterioro de los monolitos de piedra arenisca del Infiernito- Colombia

Autores. (Duran ÖCAL, Cramer, & Siegesmund, 2009)

Objetivo. Caracterizar los agentes de deterioro de los monolitos de piedra arenisca del Infiernito- Colombia

Metodología. Consistió en primer lugar en la recopilación bibliográfica del área de estudio, se obtuvieron muestras del sitio, pero no propiamente de los monolitos que permitieran caracterizar las areniscas y sus patologías. Mediante el microscopio petrográfico se estudió la mineralogía de las muestras, adicionalmente estudios de porosidad, ultrasonido, resistencia, etc, mediante estos estudios se permite determinar los métodos más adecuados para la protección de los monumentos precolombinos.

Principales resultados. Los monolitos presentan formas de deterioro tales como arenización, alveolización, costras, descamaciones y disgregaciones, eflorescencias, alteraciones cromáticas superficiales. En la figura 16 se presentan algunas de las evidencias de las patologías presentes en los monolitos del Infiernito.

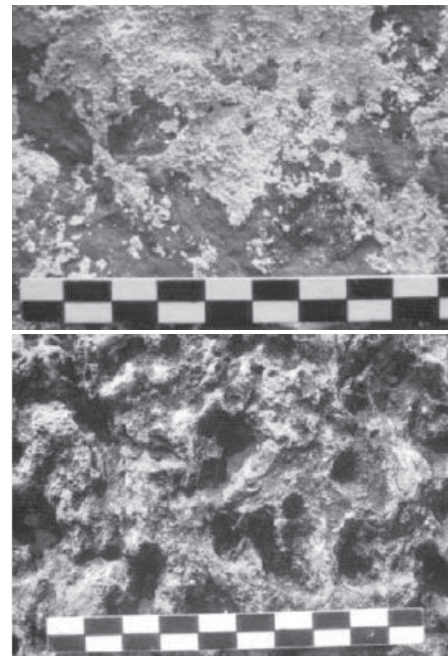


FIGURA 17. DETERIORO PRESENTE EN LOS MONOLITOS DEL INFIERNITO Fuente. Recuperado de (Duran ÖCAL, Cramer, & Siegesmund, 2009)

V. CONCLUSIONES

La acción de las sales como factor de deterioro se presenta mayormente en aquellos materiales que se caractericen por tener gran porosidad y absorción capilar.

Las sales presentes en los materiales tienen origen tanto en factores ambientales (suelo, aire, agua); como en la composición de los mismos y en muchos casos su agresión se debe a interacciones químicas entre los materiales los cuales dan lugar a la modificación de su estructura mineralógica provocando así el surgimiento de sales como el yeso y la etringita, las cuales al ser sales expansivas provocan el fracturamiento interno por la sobrepresión ejercida en los poros de los mismos.

La presencia de sales representa un factor de deterioro grande tanto en rocas como en materiales de construcción usados en ingeniería civil, generando tanto agresiones físicas, representadas en proceso de alveolización, fracturamiento, disgregación y descamación inducidas por la formación de criptoflorescencias (subeflorescencias) al interior de los poros del material; como químicas entre las cuales se encuentran el ataque por sulfatos siendo de las más representativas y la corrosión del concreto reforzado por presencia de cloruros.

REFERENCIAS

Addleson, L. (2001). Materiales para la construcción: Aspectos físicos y químicos de la materia y estructura de los materiales (Vol. 1). Barcelona: Reverté S.A.

Becerra Becerra, J. E. (2009). Avaliação da susceptibilidade aos processos de degradação dos calcários ornamentais da Formação La Tampa, usados na construção civil de Medellín-Colômbia. Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Belo Horizonte.

Becerra Becerra, J. E., & Gilberto Costa, A. (2008). Especificaciones de uso de rocas ornamentales con base en ensayos de alteración acelerada. Ingeniería Investigación y Desarrollo I2+D, 6(1), 30-38.

Benavente, D., Cueto, N., Martínez, J., & García del Cura, M. A. (2006). Durabilidad de rocas dolomíticas brechoides frente a la cristalización de sales. MACLA, 6, 89-92.

Campos, M., & Torre, M. D. (2006). Composición y origen de las sales en la Iglesia de San Isidoro (Übeda). MACLA, 119-122.

Chlor Rid. (s.f.). Chlor Rid Products. Obtenido de https://www.chlor-rid.com/spanish/links/Salts_Spanish_Sales_Solubles_y_su_Impacto_en_la_corrosion.pdf

Del Valle Moreno, A. (2001). El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado. Publicación técnica - Instituto Mexicano del Transporte, 1-65.

Duran Ocal, A., Cramer, T., & Siegesmund, S. (2007). Caracterización de agentes del deterioro de los monolitos de piedra arenisca del Infiernito-Colombia. En C. N. Atómica, Arqueometría Latinoamericana: Segundo Congreso Argentino y Primero Latinoamericano (págs. 413-419). Argentina.

Garzón Pire, W. (2013). Estudio de durabilidad al ataque de sulfatos del concreto con agregado reciclado. Bogotá.

Grossi, C. M., & Esbert, R. M. (2000). Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales. Revisión bibliográfica. 44(235), 15-30.

Irassar, E. F., & Batic, O. R. (2010). Deterioro del hormigón por cristalización de sales. VI Congreso Internacional Sobre Patología y Recuperación de Estructuras. Córdoba.

Lopez Arce, P. (2012). Daños por cristalización de sales. En Universidad Complutense de Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, & Universidad de Alcalá, La con-

- servación de los geomateriales utilizados en el patrimonio (págs. 97-105). Madrid: Programa Geomateriales. Obtenido de Daños por cristalización de sales: http://digital.csic.es/bitstream/10261/46797/1/Curso_Geomateriales_97_105.pdf
- Mingarro, M. (1996). Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico. Madrid: Editorial Complutense S.A.
- Osuna Marcos, J. J. (1998). Estudio general sobre las eflorescencias en obra. Madrid.
- Pancorbo, F. J. (2011). Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación. Barcelona: Marcombo S.A.
- Rincon, J., & Romero, M. (2000). Fundamentos y clasificación de las eflorescencias en ladrillos de construcción. *Materiales de construcción*, 50(260), 63-69.
- Silvestre, J., & De Brito, J. (2007). Análisis estadístico de los defectos de juntas cerámicas. *Materiales de Construcción*, 57(285), 85-92.
- Tatis Castro, R. D., & Barbosa Lopez, A. L. (2012). Enfoque químico del deterioro y biodeterioro de rocas calcáreas confrontantes de monumentos patrimoniales de importancia histórica y cultural. *Luna Azul*, 36, 247-284.
- Tena, J. M., Mandado, J. A., & García, J. A. (s.f.). Influencia de la recristalización de sales en los procesos de meteorización subaerea en El Valle del Ebro. Universidad de Zaragoza, 189-200.
- Torres Gómez, R., Aperador, W., Vera, E., Mejía de Gutierrez, R., & Ortiz, C. (2010). Estudio de la corrosión del acero embebido en concreto AAS sometido a cloruros. *DYNA*, 52-59.
- Valdeon, L., Esbert, R. M., & Marcos, R. M. (1985). La alveolización y otras formas de alteración desarrolladas sobre las areniscas del palacio de Revillagigedo de Gijón (Asturias). *Materiales de Construcción*, 35(200), 41-48.

