

# EVALUACIÓN DEL PATRIMONIO CONSTRUIDO



**Manual de Ensayos Simples**



**EDITADO POR**

A. ELENA CHAROLA

JORGE OTERO

PAULA T. DEPRIEST

ROBERT J. KOESTLER





# EVALUACIÓN DEL PATRIMONIO CONSTRUIDO



**Manual de Ensayos Simples**



# EVALUACIÓN DEL PATRIMONIO CONSTRUIDO



**Manual de Ensayos Simples**



**EDITADO POR**

A. ELENA CHAROLA

JORGE OTERO

PAULA T. DEPRIEST

ROBERT J. KOESTLER

Una Contribución del Smithsonian al Conocimiento



**Smithsonian**  
*Scholarly Press*

WASHINGTON, D.C.  
2021

Publicado por SMITHSONIAN INSTITUTION SCHOLARLY PRESS  
P.O. Box 37012, MRC 957  
Washington, D.C. 20013-7012  
<https://scholarlypress.si.edu>

Copyright de la compilación © 2021 por Instituto Smithsonian

Los derechos a todos los textos e imágenes en esta publicación, incluyendo la cobertura y los diseños interiores, son propiedad del Instituto Smithsonian, de los autores contribuyentes o por terceras personas.



Esta publicación tiene licencia bajo el Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

Foto de ladrillos en la cubierta por “jack” en Unsplash.com

#### **Datos de Catalogación de la Biblioteca del Congreso**

Names: Charola, A. Elena, editor. | Smithsonian Institution Scholarly Press, issuing body.

Title: Built heritage evaluation : manual using simple test methods = Evaluación del patrimonio construido : manual de ensayos simples / edited by A. Elena Charola [and three others].

Other titles: Evaluación del patrimonio construido : manual de ensayos simples | Smithsonian contribution to knowledge.

Description: Washington, D.C. : Smithsonian Scholarly Press, 2021. | Series: A Smithsonian contribution to knowledge = Una contribución del Smithsonian al conocimiento | Spanish title from separate title page. | Includes bibliographical references.

Identifiers: LCCN 2021028639 | ISBN 9781944466473 | ISBN 9781944466480 (paperback)

Subjects: LCSH: Historic preservation—Handbooks, manuals, etc. | Building materials—Evaluation—Handbooks, manuals, etc. | Testing—Equipment and supplies—Handbooks, manuals, etc.

Classification: LCC NA105 .B855 2021 | DDC 720.288—dc23 | SUDOC SI 1.60:B 86  
LC record available at <https://lccn.loc.gov/2021028639>

ISBN: 978-1-944466-47-3 (digital); 978-1-944466-48-0 (impreso)

Fecha de publicación (en línea): 3 de septiembre del 2021

∞ El papel utilizado en esta publicación corresponde a los mínimos requerimientos del American National Standard for Permanence of Paper for Printed Library Materials Z39.48-1992.

# CONTENIDO

Prefacio	vi
Agradecimientos	viii
Como Usar Este Manual <i>A. Elena Charola</i>	ix
<b>1. EXAMINANDO LA SUPERFICIE: MICROSCOPÍA SIMPLE</b>	<b>1</b>
<i>Jorge Otero y A. Elena Charola</i>	
<b>2. INVESTIGANDO PROBLEMAS DE SALES: TIRAS REACTIVAS PARA DETECTAR LA PRESENCIA DE IONES</b>	<b>8</b>
<i>A. Elena Charola y Jorge Otero</i>	
<b>3. EVALUACIÓN DE LA COHESIÓN DE SUPERFICIES: ENSAYOS CON CINTA SCOTCH</b>	<b>14</b>
<i>Jorge Otero y A. Elena Charola</i>	
<b>4. INSPECCIÓN DEL DETERIORO DIFERENCIAL: ABSORCIÓN DE AGUA CON EL TUBO RILEM</b>	<b>19</b>
<i>A. Elena Charola y Jorge Otero</i>	
<b>5. COMPATIBILIDAD DE MATERIALES: VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DEL VAPOR DE AGUA</b>	<b>24</b>
<i>Jorge Otero y A. Elena Charola</i>	
<b>6. TRES ENSAYOS EN SECUENCIA PARA EVALUAR MATERIALES: COEFICIENTE DE ABSORCIÓN CAPILAR DE AGUA, INMERSIÓN TOTAL Y CURVAS DE SECADO</b>	<b>30</b>
<i>A. Elena Charola y Jorge Otero</i>	
Apéndice: Bibliografía de Recursos Sugeridos y Otras Lecturas <i>A. Elena Charola</i>	40
Referencias Citadas	46

# PREFACIO

La idea de este manual resultó de nuestras interacciones con colegas en Latino América, una región en la que hay pocos recursos para la preservación del patrimonio arquitectónico, y donde los conservadores generalmente no reciben experiencia práctica durante su capacitación. Con la esperanza de asistir a nuestros colegas en regiones de escasos recursos en todo el mundo, hemos creado esta publicación: un manual que reúne simples ensayos para evaluar el estado de conservación del patrimonio arquitectónico. Conservadores, arquitectos, arqueólogos y otros profesionales del patrimonio, encontrarán útiles los métodos presentados para examinar y evaluar la condición de materiales de construcción, así como para elegir productos de conservación y restauración que sean apropiados, no perjudiciales, y que no interfieran con tratamientos subsiguientes.

Uno de los puntos problemáticos del patrimonio arquitectónico es que la manutención regular es frecuentemente no tan “regular” sino aleatoria. Podemos pensar que las estructuras históricas son resilientes y perennes pues han sobrevivido tanto tiempo. Sin embargo, estas estructuras pueden desarrollar problemas urgentes en cualquier momento: canaletas que fallan, morteros que se desintegran, bloques de piedra que se rajan. El problema principal es que los edificios históricos son tan familiares que ya no se “ven” aún por el personal responsable de su protección. Conservadores profesionales necesitan un entrenamiento para observar los pequeños cambios, aun cuando son graduales, antes de llegar a un punto de daño/deterioro catastrófico. En este punto, la solución del problema es mucho más costosa e intrusiva que si se hubiese detectado antes y tratado inmediatamente. Los ensayos presentados aquí son herramientas importantes para el “monitoreo” del edificio y la temprana detección de problemas.

Por ejemplo, consideramos una estructura histórica de ladrillos. Con los años, el mortero de cal en las juntas se erosiona y se remienda con un mortero de cemento. Este último, siendo un material menos poroso, incrementa el contenido de agua en los ladrillos acelerando su deterioro, especialmente si están sujetos a ciclos de hielo-deshielo en el invierno. Este deterioro del ladrillo se podría haber reducido, e incluso evitado, si el mortero hubiera sido reemplazado con una formulación similar a la original, que era compatible con el ladrillo. El cambio a un mortero de cemento fue lo que originó el deterioro. El problema es ahora mucho más serio que la erosión original del mortero de cal.

El objetivo de este manual es presentar métodos de ensayos simples y útiles para conservadores que no tienen acceso a laboratorios especializados en el análisis y evaluación de materiales de construcción y su deterioro o en



la evaluación de tratamientos de conservación. Los tests presentados sirven para una evaluación preliminar del material, su condición y su performance, especialmente cuando está expuesto al mayor factor de deterioro para el patrimonio construido: el agua. En muchos casos en que no hay un deterioro importante, los resultados de estos tests deberían ser suficientes para desarrollar una manutención a largo plazo que es fundamental para la protección del edificio o monumento.

Esperamos que el presente manual será útil para los responsables de la primera evaluación de problemas en conservación y preservación del patrimonio construido.

**A. Elena Charola**

*Smithsonian Institution,  
Museum Conservation Institute,  
Suitland, Maryland, USA.*

**Jorge Otero**

*Universidad de Granada, Facultad de Ciencia,  
Departamento de Mineralogía y Petrología,  
Granada, Spain*

**Paula T. DePriest**

*Smithsonian Institution,  
Museum Conservation Institute,  
Suitland, Maryland, USA.*

**Robert J. Koestler**

*Smithsonian Institution,  
Museum Conservation Institute,  
Suitland, Maryland, USA.*

# AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros colaboradores que contribuyeron con su experiencia durante las varias etapas de preparación de esta publicación. En primer lugar, al Arq. Marcelo L. Magadán (Magadán y Asociados, Buenos Aires, Argentina) por sus valiosas sugerencias; al Dr. José Delgado Rodrigues (Oficial Principal de Investigación (retirado) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal), por sus comentarios útiles que mejoraron esta publicación; y especialmente, a la Prof. Teresa Rivas de la Universidad de Vigo, España, por el uso de los laboratorios para llevar a cabo algunos ensayos presentados en este manual y por sus comentarios.

Todas las fotografías del manual fueron tomadas por Jorge Otero, y todos los gráficos fueron creados por Jorge Otero o A. Elena Charola.

Correspondencia: Dr. Jorge Otero, [jorgeotero@ugr.es](mailto:jorgeotero@ugr.es) o [jorge.otero.h@gmail.com](mailto:jorge.otero.h@gmail.com).

# CÓMO USAR ESTE MANUAL

## A. ELENA CHAROLA

El objetivo de este manual es el de presentar y describir simples ensayos para evaluación de materiales de conservación por parte de profesionales de escasos recursos, proporcionando métodos para caracterizar la condición de dichos materiales en edificios históricos. Los ensayos fueron seleccionados en base a su simplicidad y disponibilidad, pensando especialmente en países donde pocas instituciones se ocupan de la conservación del patrimonio construido y donde escasos laboratorios pueden realizar los análisis necesarios para evaluar la condición de un edificio o monumento importante.

Este breve manual describe diferentes herramientas y ensayos que se usan rutinariamente para caracterizar los citados materiales, tales como piedra, ladrillo, morteros o adobe. Estos métodos son simples y requieren un mínimo de suministros e instrumentación. Algunos pueden llevarse a cabo en el campo; otros necesitan un laboratorio básico. Hay varias opciones de microscopios portables dependiendo del tipo de material a ser evaluado: microscopios digitales; simples microscopios ópticos; o un microscopio económico recientemente desarrollado basado en un microscopio de papel (“Foldscope”). En el caso de las sales, aunque la información cuantitativa requiere de análisis en un laboratorio, la presencia de las mismas en un edificio o monumento se puede evaluar directamente usando simples tiras de papel que pueden detectar diferentes cationes o aniones. Las tiras pueden proveer una concentración preliminar del anión o catión para determinar si hay un problema y para detectar la fuente de contaminación.

Los capítulos que siguen incluyen algunos ensayos estandarizados. Por ejemplo, el ensayo del “Scotch Tape” (ASTM 4214-97, 1997), desarrollado en el Centro Internacional para el Estudio de la Preservación y Restauración del Patrimonio Cultural (ICCROM), evalúa la superficie del material para determinar si está sana o si se está desagregando. Una tira de cinta adhesiva se adhiere a la superficie y luego se quita y se pesa. El incremento en peso corresponde a la cantidad de material de superficie retenida e indica el grado de deterioro de la superficie. Es muy útil para evaluar si un tratamiento mejoró la condición de la superficie. El Tubo de RILEM sirve para determinar la absorción de agua in situ (RILEM Test Method No. II.4, 2015). El ensayo de la transmisión de vapor de agua (siguiendo la norma ASTM E 96/E 96M, 2005) ha sido muy simplificado. Este ensayo evalúa la velocidad del vapor de agua que pasa por una muestra de piedra lo que indica cuán permeable es, así como su capacidad de servir como una barrera para la humedad, lo que

es importante especialmente cuando se considera aplicar un tratamiento de superficie, tal como una pintura o un hidro-repelente. Este ensayo se puede usar para evaluar la eficacia de un tratamiento superficial comparando los resultados antes y después del tratamiento.

Finalmente, tres ensayos standard se usan secuencialmente: el coeficiente de absorción (RILEM Test No. II-6, 1980); inmersión total (ASTM C67-00, 2000; ASTM C97/C97M-09, 2009) y curva de evaporación (RILEM Test No. II-5, 1980). El material se somete primero a una absorción capilar, seguido de una inmersión total en agua por 24 horas; luego se deja secar hasta que haya perdido toda el agua absorbida. El incremento de peso durante la absorción capilar puede servir como una estimación de la cantidad de agua que el material puede absorber cuando esté expuesto a una lluvia constante. La velocidad de pérdida de peso durante el secado es una indicación de la susceptibilidad del material a deterioro por biocolonización, acumulación de sales y otros factores.

Estos simples ensayos sirven para que los conservadores puedan evaluar las condiciones de los edificios y monumentos, sin necesidad de estudios y equipos costosos, para su preservación.

# 1. EXAMINANDO LA SUPERFICIE: MICROSCOPIA SIMPLE

**JORGE OTERO Y A. ELENA CHAROLA**

Al examinar un edificio para determinar la condición de su superficie, es importante poder examinarlo a varias magnificaciones, dependiendo de la naturaleza de su deterioro. Para ello, microscopios son necesarios y que incluyen lupas; qué tipo de magnificación es necesaria depende del sustrato a evaluar.

Cualquier sistema de magnificación puede ser útil para examinar pequeños detalles de un objeto y además puede servir para identificar los principales minerales en una roca, determinar el tipo de deterioro, así como para evaluar la condición del material examinado. La selección del instrumento depende del tipo de material examinado. Para el caso de materiales de construcción, un estereomicroscopio o un microscopio digital son los más útiles.

Hay varios tipos de microscopios, y pueden ser clasificados por su tipo. El más básico es una lupa que sólo tiene una lente para magnificar la imagen. Las lupas tienen un rango de magnificación entre 3x a 25x, y algunas pueden incluir una fuente de luz para iluminar el área examinada, y en general no son muy caras.

El microscopio más útil y relevante en el campo de la conservación, es posiblemente un microscopio estereoscópico, que permite observar el objeto a magnificaciones mayores, generalmente entre los 10x y 200x. Recientemente, se han desarrollado microscopios digitales que son portátiles, con un rango de magnificación similar, pero que tienen la ventaja de poderse llevar al edificio para tomar las fotos que se guardan directamente a una computadora o a un smartphone. Últimamente, Foldscope Inc. ha desarrollado un "microscopio de papel" que es muy económico y eficiente, así como portable y duradero.

Tanto los microscopios ópticos como los digitales, son útiles en el campo de la conservación pues ayudan a caracterizar materiales, evaluar su condición y monitorear los procesos de deterioro en sustratos históricos,

ya sea en el edificio como en el laboratorio. Los tipos de microscopios y sus características se presentan en la Tabla 1.

**TABLA 1.1.** Propiedades de los diferentes tipos de instrumentos con magnificación. La marca (✓) indica la magnificación(es) para un instrumento dado; también se aplica a otras propiedades, tales como: PC: indica que se puede conectar a una computadora; Micrografía: que puede tomar fotos; un guión (—) indica que la magnificación o propiedad no está en ese instrumento; \$ indica costo relativo.

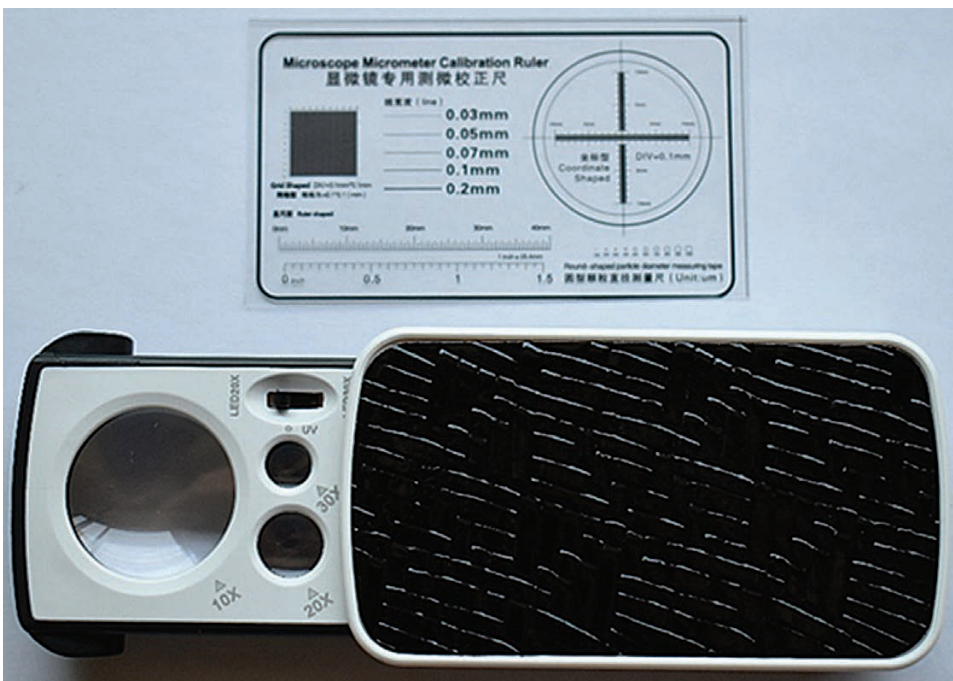
Tipo de instrumento	Usual magnificación					Otras propiedades			Costo <sup>a</sup>
	2×	10×	50×	100×	200×	Portable	PC	Micrografía	
Lupa	✓	✓	—	—	—	✓	—	—	\$
Microscopio digital	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	\$\$\$
Estéreo microscopio	✓	✓	✓	✓	✓	—	—	✓	\$\$\$
Foldscope	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓	\$

<sup>a</sup>\$ = barato; \$\$\$ = caro.

## Equipamiento

### Lupa

En la práctica de conservación, una lupa es imprescindible cuando se examina un edificio o estructura para determinar la naturaleza del material, tal como tipo de piedra, ladrillo, etc., la cohesión superficial, o problemas de



**FIGURA 1.1.** Lupa con aumentos de 10×, 20× y 30× (M20, Fancii Optics).

deterioro como ser rajaduras, ampollas o costras, así como la identificación de colonización biológica o la presencia de sales en la superficie. Una lupa es una lente convexa que se utiliza para obtener una imagen magnificada de detalles de un objeto (Figura 1.1).

La mayor magnificación se obtiene, generalmente, poniendo la lente muy cerca del ojo y manteniendo esta distancia constante a fin de obtener el mejor foco, que en general es una distancia de 25 cm (Hecht, 1987: 186-188). Una lupa típica tiene una magnificación entre 2× y 10×, teniendo el ojo humano 1×. Por ejemplo, un objeto de 7 cm a una magnificación de 2× aparece como de 14 cm. Esto es una magnificación pequeña, en comparación con otros microscopios; pero puede ser muy útil para observar pequeños detalles, de aproximadamente 0.63 cm en superficie, que a simple vista no se alcanzan a distinguir.

### **Microscopio Digital**

El microscopio digital es una variación del microscopio óptico tradicional; pues usa lentes pero funciona como una cámara digital que envía la imagen a un monitor, a veces mediante el software en la computadora o en un smartphone. Un sistema de microscopio digital típicamente incluye cuatro componentes:

1. Módulo óptico del microscopio;
2. Módulo de adquisición de datos;
3. Procesador de imágenes digital; y,
4. Módulos de control del software.

La imagen digital se obtiene combinando la microscopía óptica con la tecnología digital del procesamiento que se puede ver en la pantalla de la computadora o de un smartphone gracias al software. Los microscopios digitales pueden ser muy baratos, como los microscopios USB, o pueden ser microscopios digitales inalámbricos. Las principales diferencias entre un microscopio USB y los más sofisticados, están basadas en tres factores:

1. Calidad de la imagen, que depende tanto de la lente, del sensor y del número de píxeles colectados;
2. El número de posibles aumentos; y,
3. El software para el procesamiento de la imagen digital.

Este último es el punto más débil de los microscopios digitales más baratos, ya que usan un software sencillo que sólo puede grabar la imagen mientras que los microscopios digitales más avanzados están provistos de un software que tiene varias funciones útiles, tales como la escala de magnificación, comparación de imágenes, etc.



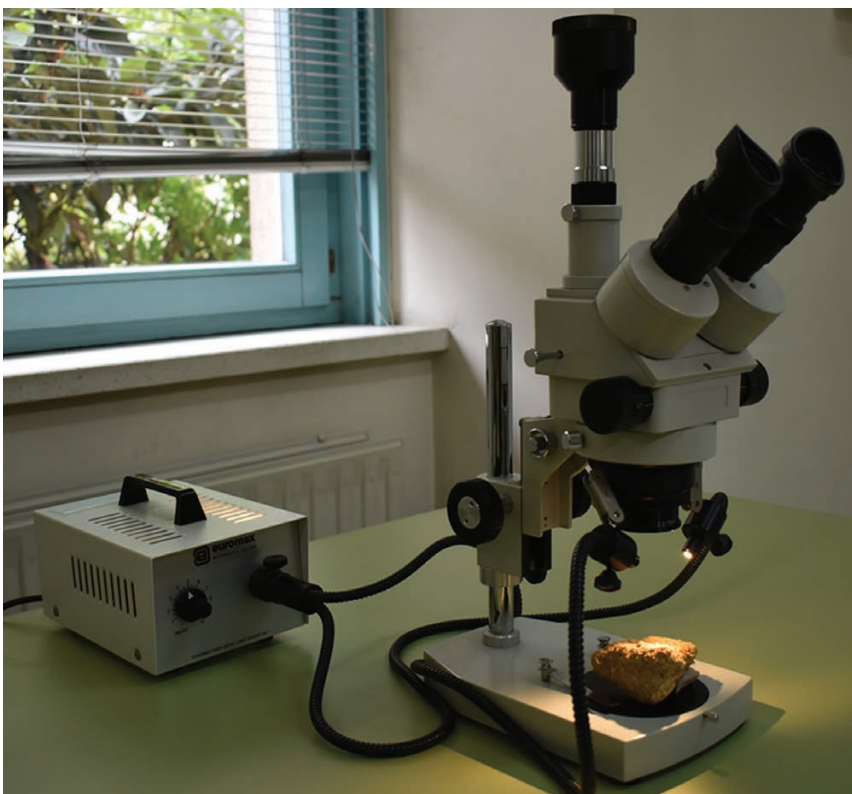
**FIGURA 1.2.** Microscopio digital conectado a una computadora. (Jiusion digital portable microscope).

Los microscopios digitales son fáciles de utilizar, y las imágenes se pueden archivar y procesar secuencialmente con la tecnología digital. La magnificación puede ser controlada por el usuario, desde  $10\times$  a  $200\times$ , en algunos con una muy buena resolución. Esto es una ventaja para aplicaciones en la conservación, pues puede servir para identificar minerales constituyentes de la piedra, o para detectar procesos de deterioro, entre otros. Además, son portables y se pueden llevar al edificio para tomar las fotos directamente (Figura 1.2).

### **Microscopio Estereoscópico**

En la práctica de conservación, el microscopio estereoscópico se utiliza para observar detalles de objetos y cualquier tipo de anomalías que puedan presentar. Eso se aplica también a materiales de construcción y sus procesos de deterioro (Figura 1.3). El microscopio usa luz visible y tiene un sistema de lentes para generar varias imágenes a diferentes magnificaciones. El objeto se coloca sobre la platina y la imagen se observa a través de las lentes oculares que, por su construcción, tienen la ventaja mostrar el objeto en tres





**FIGURA 1.3.** Ejemplo de un microscopio estereoscópico (Euromex zoom 4.5x-7x microscopio estereoscópico).

dimensiones. Estos microscopios tienen varias lentes con distinto aumento y en general llegan desde 200× a 300×.

En conservación, las magnificaciones más comunes van desde 10× a 200×, de modo que pequeños detalles (entre 0.3 mm a 3 μm) en la superficie de una piedra se pueden observar, lo que resulta útil para la identificación de la piedra, mortero u otro material de construcción. También sirve para estimar el diámetro de los poros, la cohesión de agregados o la identificación de deterioro tales como ampollas, eflorescencias y colonización biológica. Una cámara fotográfica puede documentar las imágenes, que se llaman micrografías. Estos microscopios no son portables de modo que hay que obtener una muestra para poder examinarla.

### **Microscopio de Papel**

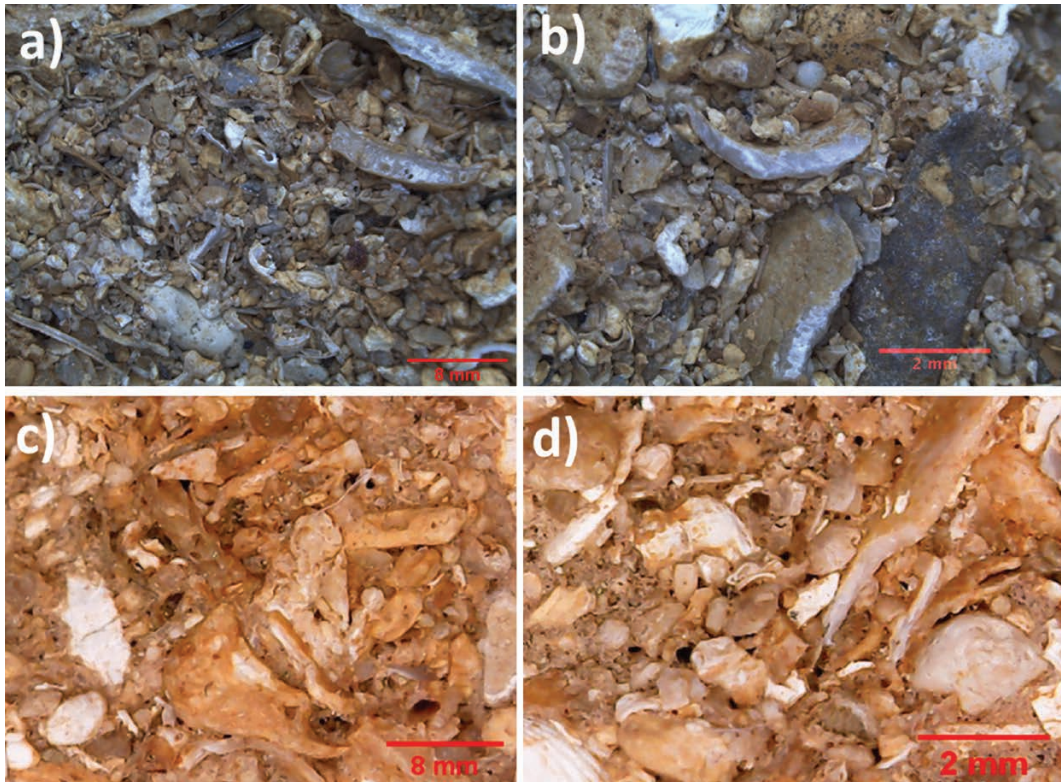
Una variación del microscopio óptico fue desarrollada en la Universidad de Stanford (California, EEUU) usando papel como el material constitutivo para sostener el sistema óptico. El microscopio de papel o Foldscope, fue creado por Foldscope Instruments Inc.<sup>®</sup>, es un microscopio óptico “muy accesible” que tiene que ser ensamblado a partir de una hoja perforada de cartulina,

que incluye una lente esférica, un sistema de iluminación basado en una luz LED mediante una batería/pila de reloj que provee la energía necesaria, y un difusor plano. El costo de producción de cada uno de estos microscopios es de aproximadamente US\$1, tiene buena calidad y es un sistema de bajo costo para ciencias médicas y biológicas en comunidades en todo el mundo.

La imagen se obtiene por luz transmitida a través del material examinado que debe ser translúcido. La magnificación tiene un rango de 2× a 140×, es portátil, y las imágenes obtenidas se pueden guardar mediante una conexión a una cámara fotográfica o a un teléfono (smartphone) mediante un clip magnético. En conservación, sólo es útil para observar materiales translúcidos, tales como material biológico o secciones petrográficas.

## Ejemplo

Cuando se observa una estructura o construcción, se utiliza una lupa, y si es posible, un microscopio digital. La Figura 1.4 muestra fotos que fueron tomadas a dos magnificaciones (10× y 30×) con un microscopio estereoscópico y uno digital de la misma muestra de piedra, una calcarenita, a fin de comparar las fotografías obtenidas. El examen realizado con el microscopio estereoscópico (Figuras 1.4a, 1.4b) muestra una buena resolución para ambas magnificaciones (10× y 30×) pudiéndose observar que la biocalcarenita está compuesta fundamentalmente por bioclastos y fósiles esqueléticos de organismos acuáticos, tales como bivalvos, gastrópodos, rodolitos, equinodermos y briozoos. También se observaron litoclastos carbonáticos y algunos granos de cuarzo unidos por una micrita cálcica. El examen con el microscopio digital, muestra una resolución y calidad de imagen significativamente menor que la del estereomicroscopio. Además, dependiendo de la calidad de luz del LED del microscopio digital, origina ciertos cambios de colores, en este caso un tinte amarillento-anaranjado, como se ve en las Figuras 1.4c y 1.4d. No obstante, este microscopio puede ser muy útil para observar la morfología de los minerales de la piedra, tales como los fósiles esqueléticos, cuarzo y calcitas (Figura 1.4c), así como rajaduras, huecos, o granos adheridos a la matriz (Figura 1.4d). Se debe tener en cuenta que el microscopio digital es portable, haciéndolo muy útil para un primer examen de un edificio.



**FIGURA 1.4.** Comparación de fotos tomadas a través de un microscopio estereoscópico (Euromex zoom 7x-4.5x microscopio estereoscópico) con una cámara digital (Nikon DS-Fi1), línea superior, izquierda 10x y derecha 30x; y con un microscopio digital (Jiusion Digital portable microscope) línea inferior, izquierda aproximadamente 10x y derecha aproximadamente 30x, de la misma muestra de biocalcarenia.

## 2. INVESTIGANDO PROBLEMAS DE SALES: TIRAS REACTIVAS PARA DETERMINAR LA PRESENCIA DE IONES

**A. ELENA CHAROLA Y JORGE OTERO**

Los materiales de construcción frecuentemente contienen sales; detectar su presencia es fundamental para identificar la causa del deterioro observado. Muchas de ellas pueden tener diferentes orígenes (Charola, 2000; Bläuer y Rousset, 2014; Charola y Bläuer, 2015); algunas pueden ser inherentes al material mismo, como es el caso de aquellas depositadas en ambiente marino o cerca de una zona anegadiza. Los materiales creados por el hombre también las contienen, por ejemplo, el cemento Portland que libera cantidades importantes de hidróxidos de sodio o potasio, sulfatos y carbonatos; mientras que los morteros de cal dolomítica pueden generar hidróxido de magnesio, carbonatos o bicarbonatos (Bläuer Böhm y Jaegers, 1997); en tanto que algunos ladrillos, si no fueron apropiadamente quemados, pueden contener sulfato de sodio (Charola y Rørig-Dalgaard, 2019); todas ellas solubles en agua.

Una vez que los materiales inorgánicos porosos forman parte de un edificio o estructura, las infiltraciones de agua, tales como la humedad ascendente, o sea agua que sube desde el suelo que contiene sales, las transfiere a la mampostería, de modo que con el tiempo las sales se acumulan en ella. Los edificios también pueden haber sido utilizados como depósitos de sales, como ser la sal común, como ocurrió en el pequeño ahumadero en Colonial Williamsburg en los EEUU (Livingston y Taylor, 1998); o si parte de una estructura fue utilizada como establo para caballos o ganado, de modo que tanto nitratos como sulfatos de sus desechos se acumularon en sus paredes.

Las sales pueden penetrar en una estructura desde el suelo por humedad ascendente, por polución aérea, o por el uso de sales de deshielo en el invierno, ya que son capaces de disolverse en agua. Al decrecer la cantidad de agua en el edificio, las sales cristalizan e inducen tensiones en la piedra, mortero o

ladrillo. Como el edificio está sujeto a lluvias y períodos secos, la repetición de disolución y precipitación aumenta e incrementa el deterioro inicial causado por sales, que además, migran dentro de la estructura dependiendo de las condiciones atmosféricas (Charola, 2000).

Es importante identificar las sales presentes en el material del edificio considerado. En general, las sales más comunes son: cloruro de sodio (NaCl, halita), o sea la sal común, que también se utiliza, entre otras, como sal de deshielo; el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , sulfato de calcio dihidrato), resultado de la reacción del sulfato en la polución aérea con el calcio presente en la piedra o el mortero; los nitratos, como ser nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ) o de sodio ( $\text{NaNO}_3$ ) que se forman por la actividad biológica. Hay, además otras sales, como ser silvita (KCl, cloruro de potasio), sulfato de sodio (hidratado o anhidro) o epsomita, el sulfato de magnesio hepta-hidrato. Una lista más completa de las sales más comunes se presenta en la Tabla 2.1.

**TABLA 2.1.** Las sales más comunes que se encuentran en mampostería deteriorada, y en morteros de cemento o en concreto deteriorado.

Mineral	Fórmula química	Denominación
<b>En mampostería deteriorada</b>		
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de calcio dihidrato
Tenardita	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	Sulfato de sodio
Mirabilita	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de sodio decahidrato
Epsomita	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de magnesio heptahidrato
Halita	NaCl	Cloruro de sodio
Silvita	KCl	Cloruro de potasio
Nitrato de potasio	$\text{KNO}_3$	La mezcla de estas dos sales es el llamado Salitre
Nitrato de sodio	$\text{NaNO}_3$	
Brushita	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Fosfato ácido de calcio dihidrato
Hidromagnesita	$3\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Carbonato e hidróxido de Mg trihidrato
Termonatrita	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Carbonato de sodio monohidrato
Natrón	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Carbonato de sodio decahidrato
Calcita	$\text{CaCO}_3$	Carbonato de calcio
<b>En morteros de cemento u hormigón</b>		
Aftitalita	$\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$	Sulfato de potasio y sodio
Trona	$\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Bicarbonato y carbonato de sodio dihidrato
Ettringita	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de calcio y aluminio hidrato

## Equipamiento

Las tiras reactivas para detectar distintos iones operan de una manera similar a las tiras de pH. Son prácticas, pues aparte de identificar la presencia de un anión o catión, dependiendo de la tira utilizada, dan un valor semicuantitativo de su concentración. Existen tiras reactivas para diversos iones, tales como cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{=}$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ).

En general, los cationes son más fáciles de identificar que los aniones, pues los más comunes son sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ). Una manera fácil de clasificarlos es “probando”, con la punta de la lengua, unos granos de eflorescencia para determinar si es cloruro de sodio (sal común) o si es una sal de magnesio, que tiene un gusto amargo. El sulfato de magnesio tiene la particularidad de formar varios hidratos, comenzando con por un mono-hidrato, luego un tetra-hidrato, un penta-hidrato, un hexa-hidrato, antes de llegar al hepta-hidrato, la epsomita. De modo que la eflorescencia cambia de un día para otro, aparece y desaparece de acuerdo con las condiciones atmosféricas.

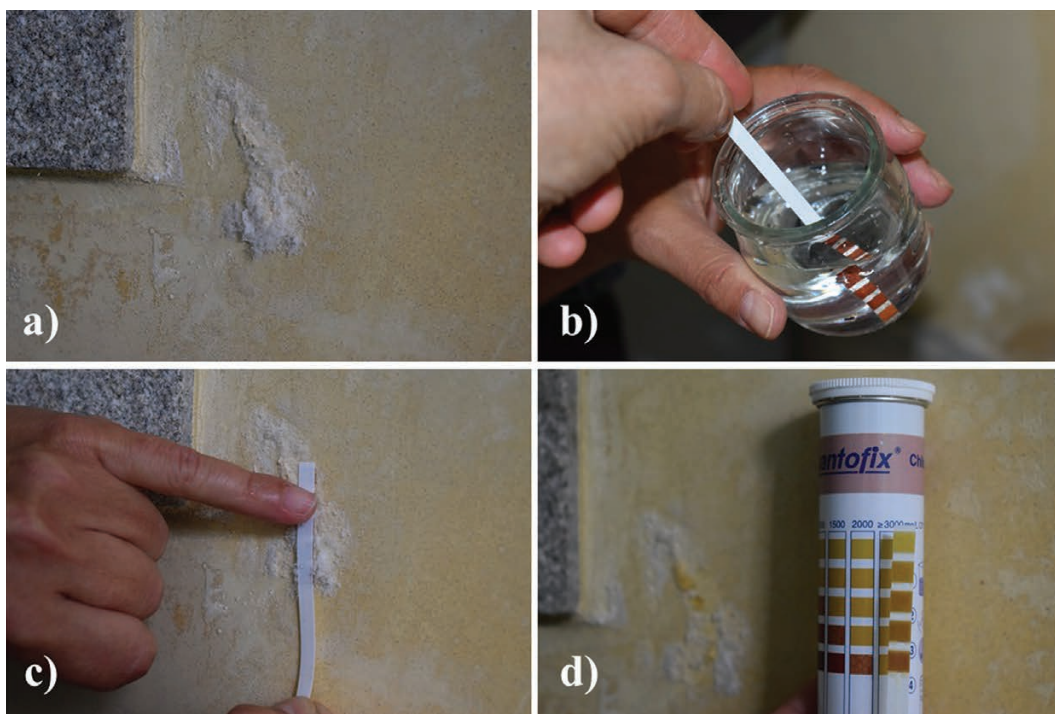
La presencia de sal tiene que ser evidente en el edificio como una eflorescencia, y esto depende de las condiciones ambientales: si el día es muy húmedo, las sales se vuelven a disolver y no se las ve. Por lo tanto, es importante monitorear el sitio tanto en días secos como en húmedos, ya que la eflorescencia aparece y desaparece en función de la condición de humedad relativa. Para determinar que anión está presente, se usan las tiras aniónicas, y las más útiles son las que identifican los cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{=}$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). A veces aparecen fosfatos, pero no son muy comunes, y la presencia de iones amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) tampoco es común.

Las tiras reactivas no son baratas, y las más útiles son las que sirven para determinar aniones, que requieren ensayos de laboratorio para detectarlas. Los aniones más comunes son: cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{=}$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Cada tira reactiva tiene un rango de concentración (mg/L) para cada ión y depende también de la marca de la tira reactiva. Por lo tanto, su uso se recomienda para identificación en los ensayos in-situ, aunque también, y si es necesario, se pueden usar en el laboratorio para la determinación semicuantitativa para una muestra dada.

## Ensayos en Campo

Para detectar la presencia de sal, una de las opciones es humedecer la tira reactiva y aplicarla sobre la eflorescencia (Figura 2.1a-c). Una alternativa es





**FIGURA 2.1.** (a) Eflorescencia de sales en una pared; (b) La tira reactiva para cloruros se moja antes del ensayo; (c) Luego se aplicó la tira húmeda sobre la eflorescencia; (d) Control del contenido de cloruros con la concentración aproximada dada por comparación con la referencia en el tubo de las tiras. La escala de concentraciones en el tubo corresponde a 0, 500, 1000, 1500, 2000 y  $\geq 3000$  mg/L de iones cloruro, y hay que encontrar el rango de color más parecido al color adquirido por la tira, que en este caso fue de aproximadamente 2000 mg/L. Esto corresponde a 2 g/L de iones cloruro en solución que es una cantidad importante.

la de tomar una muestra de la eflorescencia sobre una placa de vidrio o placa de Petri, agregarle una gota de agua destilada e insertar la tira reactiva en la solución dejándola por algunos minutos hasta que ésta deje de cambiar de color. En ese momento se compara el color adquirido con la escala de concentración en la caja de las tiras; el resultado es sólo una aproximación, pues no se conoce la concentración de la solución preparada.

## Determinación Semiquantitativa en Laboratorio

Para obtener una evaluación de la concentración de sal, es necesario tomar con cuidado una muestra de la eflorescencia del edificio o monumento. Para este tipo de determinaciones es necesario tener una muestra que se pueda pesar, al menos 0.5 g de la eflorescencia, o 1 g, si también contiene polvo del material en deterioro. Los puntos para seguir se detallan abajo.

1. Al pesar la muestra no hay que olvidar de sustraer el peso del vidrio o placa. Se vierte en un vaso de precipitado pequeño y se disuelve en agua. (Si la

muestra contiene también restos de la superficie pulverulenta de la piedra/revoque/ladrillo, sólo la sal se disuelve dejando un residuo en el fondo del vaso. Si éste es el caso, la muestra debe ser dejada en el agua por lo menos una hora, con agitación periódica).

2. Esta solución se lleva hasta un cierto volumen, por ejemplo, 10 ml, 50 ml, etc., tanto en una probeta o en un matraz volumétrico, dependiendo de la precisión necesaria. Se debe tomar nota de este volumen que contiene todos los iones de la muestra.
3. Se toma una alícuota de esta solución en un pequeño vaso de precipitado y se sumerge la tira reactiva, o, alternativamente, gotas de la solución se aplican directamente sobre la tira (leer las instrucciones para cada tipo de tira reactiva).
4. Una vez que el color se desarrolló, la concentración del ion determinado estará dada por comparación con la escala de colores en la caja de las tiras reactivas. Hay que tener en cuenta que algunas tiras reactivas dan la concentración del ion mismo, como ser  $\text{NO}_3^-$  mientras que otros lo dan como un compuesto, como ser NaCl. Además, algunos dan la concentración en mg/L, equivalentes a ppm, partes por millón, o en g/l.

La concentración del ión en la muestra se calcula de la siguiente manera (donde  $V_{\text{solución}}$  corresponde al volumen total de la solución preparada):

$$\text{Ion (g/g)\%} = \frac{\text{Valor de la tira (mg/L)} \times V_{\text{solución}} \text{ (L)} \times 100}{\text{Peso}_{\text{muestra}} \text{ (g)} \times 1,000 \text{ mg/g}}.$$

Si la concentración del ion medido es muy alta, se prepara una solución diluida de la original ( $V_{\text{dil}}$ ). En este caso el volumen de la alícuota ( $V_{\text{alícuota}}$ ) que se usa para preparar la nueva solución tiene que ser incluido en el cálculo, teniendo en cuenta que ese volumen tiene que ser medido exactamente. así como el volumen de la solución diluida ( $V_{\text{dil}}$ ) final. Se usa una alícuota de esta dilución para aplicarlo sobre la tira reactiva.

$$\text{Ion (g/g)} = \frac{\text{Valor de la tira (mg/L)} \times V_{\text{soln}} \text{ (L)} \times V_{\text{dil}} \text{ (ml)}}{V_{\text{alícuota}} \text{ (ml)} \times \text{Peso}_{\text{muestra}} \text{ (g)} \times 1,000 \text{ mg/g}}.$$

*Nota: Técnicamente, una alícuota corresponde a parte de una cantidad que la divide sin dejar un residuo; por lo tanto, 5 es una alícuota de 15. En general, significa que se mide un volumen más pequeño de uno más grande. Para el uso general de las tiras, no hace falta que sea una alícuota medida, pero en el caso de tener que preparar una dilución, es necesario conocer exactamente el volumen de la alícuota, así como el volumen original de la solución y de la dilución.*



## Observaciones Finales

Las tiras reactivas para los distintos iones sirven para identificar la presencia de sales solubles en la superficie de una estructura al confirmar la presencia de los aniones y/o cationes.

No identifican la sal presente. Para ello se necesita de un procedimiento de laboratorio, tal como microscopía, o difracción de Rayos X, pero puede dar una estimación de la concentración de los iones presentes. La identificación de la presencia de sales es fundamental para identificar las causas del deterioro observado.

# 3. EVALUACIÓN DE LA COHESIÓN DE SUPERFICIES: ENSAYOS CON CINTA SCOTCH

**JORGE OTERO Y A. ELENA CHAROLA**

El ensayo con la Cinta Scotch (*Scotch Tape Test*) sirve para determinar el deterioro superficial de la piedra o el ladrillo, así como para evaluar la efectividad de un tratamiento de consolidación. Este test, también llamado ‘ensayo de descamación’ fue introducido en el campo de la conservación por G. Torraca y P. Mora en los años 1960 (Torraca y Mora, 1965) y fue muy utilizado por más de 60 años en la evaluación del estado de conservación de edificios. El método evalúa la cantidad de material que queda adherido a la cinta Scotch, y en general se lleva a cabo antes y después de aplicar un tratamiento de conservación, o sobre piedra/ladrillo deteriorados y sanos. El ensayo sigue la norma ASTM D3359-02 y las recomendaciones dadas por Drdácý et al. (2012). El objetivo principal de este ensayo es evaluar la cohesión superficial de la piedra, ladrillo o revoque, pues da una noción del deterioro de la superficie. También sirve para comparar distintos niveles de intemperismo en una misma estructura. Esta información es crítica para evaluar la efectividad de posibles tratamientos de conservación en cohesionar las áreas desintegradas.

Este simple ensayo se basa en una tira de cinta adhesiva de doble-faz, previamente pesada, que se aplica a la superficie a evaluar, asegurándose que esté totalmente adherida, y luego quitándola. El polvo y granos de la superficie quedan adheridos a la cinta, que se vuelve a pesar, expresándose el resultado en  $\text{mg/cm}^2$ . Varias tiras de la cinta deben ser aplicadas en áreas diferentes, de modo de obtener un número representativo de datos. Es importante llevar a cabo los ensayos en varias áreas de la zona a evaluar, ya que, si se aplica en el mismo lugar, el material recogido en la segunda aplicación será obviamente menor. El material desprendido se puede analizar por pesada siguiendo la norma ASTM D3359-02, o por examen visual, utilizando un microscopio digital o estereoscópico (capítulo 1), para evaluar

el número y tipo de partículas recogidas, siguiendo la norma ASTM 4214-97. Esta alternativa es una buena aproximación para evaluar el deterioro o para confirmar la eficacia de un tratamiento de conservación.

## Equipamiento

- Cinta adhesiva doble-faz, preferentemente de 2 cm de ancho
- Balanza con sensibilidad de  $\pm 0.001$  g
- Papel milimetrado
- Cajas apropiadas o bolsas plásticas con cierre a presión para llevar las tiras preparadas al sitio, y luego del ensayo, las mismas tiras con el polvo y los granos pegados para ser llevadas a pesar
- Si no se tiene una balanza, las tiras se pueden examinar visualmente con un microscopio digital o estereoscópico, para su evaluación.

## Procedimiento

### Preparación de las Tiras de Cinta

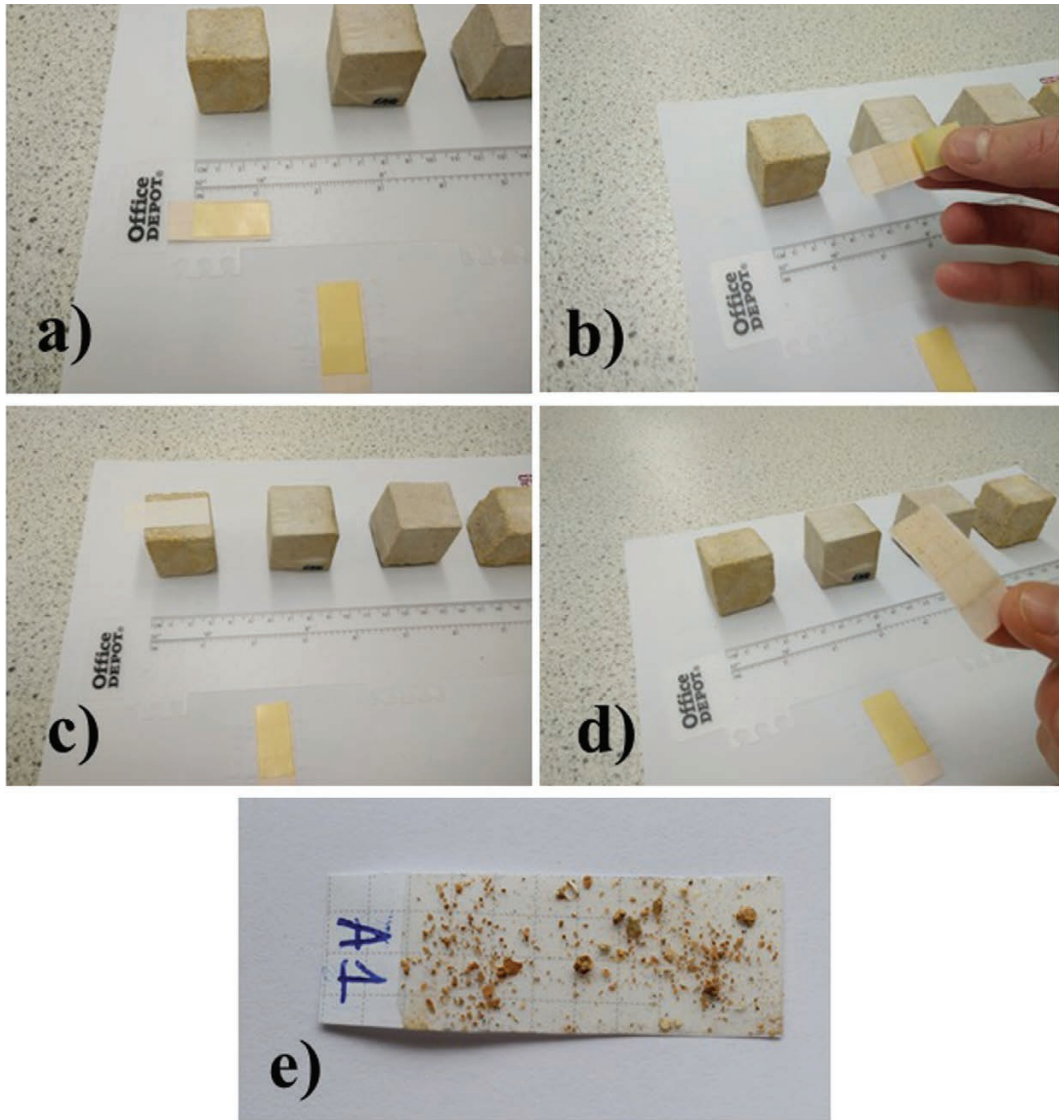
Las tiras de cinta se preparan de la siguiente manera:

1. Las tiras de cinta adhesiva doble-faz se cortan del rollo y deben corresponder al menos a  $8 \text{ cm}^2$ , siendo la recomendación que la tira sea de  $4 \times 2 \text{ cm}$ . Al menos 9 tiras se deben preparar para cada tipo de condición a evaluar de modo de obtener un promedio representativo. Todas las tiras deben tener exactamente las mismas dimensiones.
2. Un lado de la cinta adhesiva se pega al papel milimetrado, dejando el otro lado con la cinta papel adhesiva, y tanto la cinta como el papel cuadriculado se cortan dejando 1 cm extra del en la punta de la tira, que se utilizará para manipular la tira (ver Figura 3.1a). Como el papel milimetrado tiene escala, todos los espacios libres deben presentar las mismas dimensiones. Dejar la segunda banda protectora de la cinta, descartándose la banda protectora retirada.
3. Las 9 tiras se colocan todas juntas en una bolsa plástica con un buen cierre, o en una caja hermética, y se pesan al miligramo. El valor se divide por 9 y por la superficie de la tira, como ser  $8 \text{ cm}^2$ . Como todas las tiras son exactamente igual en tamaño, también lo son en peso. Considerar que hay otras maneras y tamaños de tiras recomendadas (Drdácky et al., 2012; Drdácký y Slízková, 2015; Drdácký et al., 2015).

### Aplicación de las Cintas

El ensayo de la tira Scotch se aplica in-situ de la siguiente manera:

1. Seleccionar el área del edificio donde se han de aplicar; ésta debe estar seca y razonablemente limpia antes de su aplicación. Como las medidas pueden estar influenciadas por la humedad relativa, para poder comparar los resultados de sucesivos ensayos, las condiciones ambientales deben ser similares.



**FIGURA 3.1.** Aplicación del ensayo en laboratorio. a) A uno de los lados de la tira se le pega el papel cuadrulado con 1-cm<sup>2</sup> extra en la punta (a la izquierda de la tira); b) Se quita la tira protectora del otro lado; c) La tira se aplica a la superficie del material; d) La tira se quita de la superficie con las partículas adheridas; e) Detalle de los granos adheridos a la tira Scotch.

2. Se quita la segunda banda protectora de la tira Scotch (que se guarda en la bolsa) y se aplica a la superficie del material (Figura 3.1b y 3.1c). Una vez que está adherida a la superficie, se recomienda aplicar con un dedo una presión uniforme repitiéndolo hasta 6 veces para asegurarse una completa adhesión; es importante que la presión aplicada sea similar en todas las tiras.
3. Después de aproximadamente 1 minuto, se quita la tira tirando de la punta del papel cuadrulado con cuidado y con una tensión uniforme de modo de no perder el polvo o los granos adheridos; se sugiere remover la tira a razón de 10 mm/s y con un ángulo de 90° (Drdäcký et al., 2015).

4. Una vez que se quitó completamente, la tira se coloca en la caja o la bolsa plástica con buen sello (Figura 3.1d). Este procedimiento se repite para las 9 tiras y todas se guardan en la misma caja o bolsa.
5. Todas las 9 tiras con la bolsa (o caja), y los agregados adheridos y el papel protector, se vuelven a pesar y se comparan con el peso inicial. La diferencia de peso corresponde al material que fue retirado de la superficie del edificio.

## Resultados y Presentación de Datos

Los datos iniciales se comparan con los obtenidos después de un tratamiento, o luego de un período largo, como un año, a fin de evaluar cualquier cambio, y se presentan de la siguiente manera (Tabla 3.1).

**TABLA 3.1.** Aplicación de la cinta adhesiva a la superficie de una arenisca erosionada antes y después de un tratamiento consolidante. Las tiras miden 4 × 2 cm (8 cm<sup>2</sup>);  $\Delta W$  (%) = (valor inicial - valor post-tratamiento) × 100 / (valor inicial); n/a indica que no hay medida.

Condición de la superficie	Material retirado	
	(mg/cm <sup>2</sup> )	$\Delta W$ (%)
Arenisca sin tratar	84.59	n/a
Arenisca consolidada	21.90	74.11

El porcentaje de cambio en peso ( $\Delta W$ %) se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta W (\%) = \frac{(\text{Valor inicial} - \text{Valor postratamiento}) \times 100}{\text{Valor inicial}}$$

Cuando se aplican varios tratamientos, los datos se presentan como en la Tabla 3.2.

**TABLA 3.2.** Aplicación de la cinta adhesiva a una arenisca deteriorada, y luego sobre tests realizados con tres tratamientos de consolidación: Tetraetil orto-silicato (TEOS); una resina Acrílica; e, Hidroxi-apatita. Nueve cintas fueron aplicadas a cada tratamiento. Cada tira medía 4 × 2 cm (8 cm<sup>2</sup>), dando un total de 72 cm<sup>2</sup> para todas las tiras.

Muestra de tratamiento	Peso de la bolsa plástica o caja		Diferencia de peso (mg)	Material retirado (mg/cm <sup>2</sup> )
	Antes (g)	Después (g)		
Arenisca sin tratar	0.421	0.914	493	6.84
Tratada con TEOS	0.416	0.557	141	1.96
Tratada con resina Acrílica	0.428	0.685	257	3.57
Tratada con Hidroxi-apatita	0.425	0.483	58	0.80

*Fecha y hora:*<sup>a</sup>

*Condiciones climáticas: temperatura, HR, viento, etc.*<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Datos adicionales que deben ser recogidos para una mejor evaluación de los ensayos.

A fin de comparar las condiciones antes y después del tratamiento, los datos se presentan como muestra la Tabla 3.3.

**TABLA 3.3.** Aplicación de la tira adhesiva a una arenisca intemperizada, y luego de ser tratada con tres consolidantes;  $\Delta W$  (%) = (valor inicial - valor post-tratamiento)  $\times$  100 / (valor inicial); n/a indica que no hay medida; TEOS = tetraetil orto-silicato.

<b>Muestra de tratamiento</b>	<b>Material retirado (mg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\Delta W</math> (%)</b>
Arenisca intemperizada	6.84	n/a
Tratada con TEOS	1.96	71.72
Tratada con resina Acrílica	3.57	47.81
Tratada con Hidroxiapatita	0.80	88.30

En este ejemplo, la arenisca tratada con hidroxiapatita resultó en el menor número de partículas recogidas (reducción 88.3%), seguidas por las tratadas con TEOS (71.79%), y la resina acrílica (47.81%). Esto sirve para evaluar la consolidación potencial de tratamientos a aplicar y su efectividad en incrementar la cohesión superficial de las áreas desintegradas. Este ensayo también puede ser útil para comparar el nivel de meteorización entre diferentes áreas.

De no haber una balanza con la sensibilidad requerida (al mg), las tiras pueden ser examinadas visualmente mediante un microscopio digital o uno estereoscópico (capítulo 1). La evaluación es sólo aproximada, pero sirve para una primera estimación de la condición superficial de la piedra, y es particularmente útil para comparar áreas tratadas con diferentes productos protectivos o consolidantes.

# 4. INSPECCIÓN DEL DETERIORO DIFERENCIAL: ABSORCIÓN DE AGUA CON EL TUBO RILEM

**A. ELENA CHAROLA Y JORGE OTERO**

El principal objetivo de este ensayo es determinar la velocidad de absorción capilar de la superficie de un edificio, ya que esto ayuda en la evaluación del contenido de humedad de los materiales con los que está revestido. Este ensayo se utiliza para una primera evaluación de la estructura a fin de determinar su estado de desgaste o deterioro. El ensayo del tubo RILEM se puede realizar tanto en el edificio como en laboratorio, sobre muestras tratadas preliminarmente, para verificar que el tratamiento no afecte significativamente la absorción capilar. Eventualmente, si se aplica un tratamiento de conservación, se deberían repetir los ensayos para confirmar que la absorción capilar no haya sido alterada significativamente. (RILEM es el acrónimo de Reunion Internationale des Laboratoires D'Essais et de Recherches sur les Materiaux et les Constructions).

La determinación de la absorción capilar de agua por superficies de edificios o monumentos se puede llevar a cabo utilizando el tubo RILEM o de Karsten (Wendler y Snethlage, 1989). Esto permite comparar la condición de la piedra, revoques o mampostería del edificio, ya que el intemperismo, en general, no es homogéneo. Este ensayo se suele realizar en varias áreas de la superficie del edificio que presentan diferente grado de meteorización y que se pueden comparar con una superficie en buen estado. En general, las superficies que tienen una absorción capilar de agua más rápida corresponden a las que han sufrido más intemperismo. Este ensayo también se puede utilizar para verificar medidas de protección, tal como la aplicación de un consolidante, un hidro-repelente o simplemente evaluar una intervención de limpieza.

## Equipamiento

El RILEM test No. II.4 (RILEM Commission 25, 1980:200-204) utiliza un tubo de vidrio o de plástico que se aplica a la superficie de piedra o mampostería a evaluar, llenándolo de agua. Originalmente contenía 4 ml de agua, que luego se modificó a 5 ml. El tubo de vidrio se puede obtener en línea tanto como parte de un equipo, por ejemplo, Test kit de RILEM Absorción de Agua, o directamente de otros sitios, a precios razonables. La cantidad de agua absorbida a baja presión en un tiempo dado permite comparar el estado de distintas piedras o mampostería. Existen dos variantes del tubo: uno para superficies verticales y otro para horizontales. El tubo se adhiere a la superficie utilizando una plastilina, y luego se llena con agua desionizada, tomándose el tiempo que ésta tarda en ser absorbida por el sustrato, como se detalla luego.

Para superficies horizontales, el borde inferior de la parte cilíndrica que posee un diámetro de 2.5 cm y una altura de 2.5 cm, se adhiere a la piedra. El tubo tiene un diámetro de 0.84 cm, y una altura de 10.8 cm en la sección graduada. En la parte superior del tubo tiene una abertura cónica para facilitar su llenado con agua. El tubo que se aplica en superficies verticales, tiene las mismas dimensiones (para un diagrama ver los diseños en RILEM Test Method No. II.4, 2015). El tubo está graduado en mililitros (ml) desde 0 en la parte superior a 5 ml cerca de la base.

## Procedimiento

Para realizar el ensayo se necesita:

- Tubo(s) RILEM;
- Plastilina hidro-repelente;
- Cronómetro o reloj con segundero;
- Dispensador de agua desionizada.

Es importante que la superficie a la cual se quiere adherir el tubo esté seca, no presente disgregación superficial, o tenga un depósito de polución. Para adherir el tubo, se debe colocar un aro de plastilina sobre las superficies planas de la base del tubo, teniendo cuidado de no introducirla en el área interior destinada a alojar el agua, ya que, de lo contrario, esta reducirá la capacidad generando un resultado erróneo del ensayo. Una vez que el tubo se adhirió a la pared (Figura 4.1), se llena con agua desionizada hasta la graduación 0 en el tope del tubo, y se toma nota del tiempo. Debe asegurarse que no haya ninguna pérdida de agua alrededor de la base del tubo. Se debe apuntar el tiempo que tarda el material en absorber 1 ml, 2, 3, 4, 5 ml, lo que completa el ensayo. Al menos tres mediciones se deben realizar en la misma área del edificio de manera de obtener un valor promedio de la velocidad de





**FIGURA 4.1.** Tubos RILEM instalados sobre dos cubos de muestra a efectos de compararlos. La aplicación es similar cuando se aplica directamente a un edificio.

absorción. Una vez que se terminó el ensayo, el tubo y la plastilina se quitan con cuidado del paramento. Es importante remover el máximo posible del exceso de plastilina de la pared.

En algunas instancias, la piedra puede tardar más tiempo en absorber el agua, en cuyo caso se pueden usar las graduaciones menores de cada mililitro del tubo. La velocidad de absorción de agua depende de la naturaleza y condición del material que se está evaluando.

## Resultados y Presentación de Datos

Los datos se deben tomar y ordenar como se muestra en la Tabla 4.1:

**Tabla 4.1.** Absorción de agua registrados durante el experimento y cálculo de la velocidad de absorción de agua.

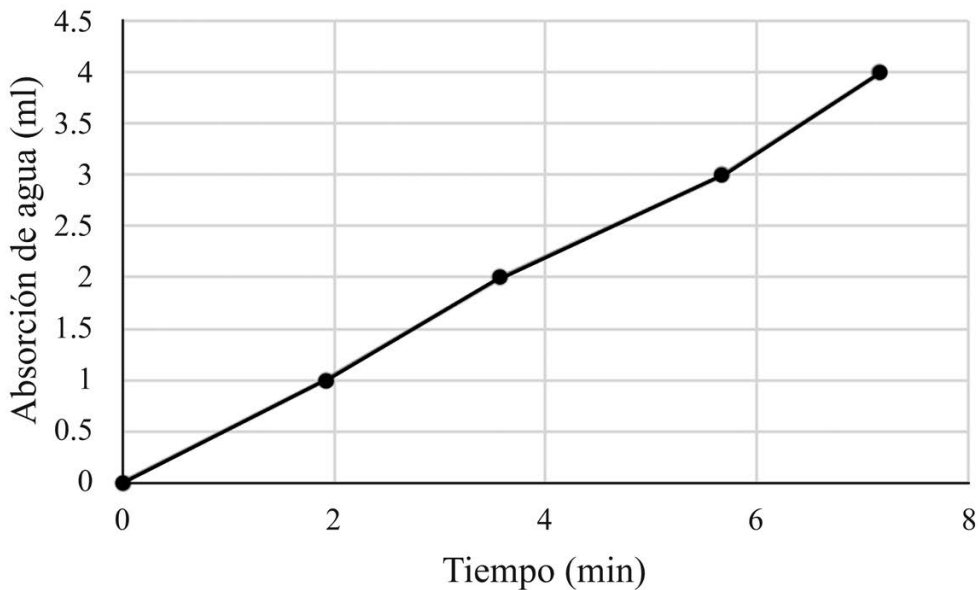
Volumen absorbido (ml)	Tiempo		Velocidad de absorción del agua (ml/min)
	transcurrido	Tiempo (min)	
1	1 min, 55 sec	1.92	0.52
2	3 min, 34 sec	3.57	0.56
3	5 min, 40 sec	5.67	0.53
4	7 min, 10 sec	7.16	0.56
Promedio	[No calculado]	[No calculado]	0.54

Fecha y hora:<sup>a</sup>

Condiciones climáticas: temperatura, HR, viento, etc.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Datos adicionales que deben ser recogidos para una mejor evaluación de los ensayos.

Los datos se pueden graficar, absorción de agua en función del tiempo, como se muestra en el gráfico de la Figura 4.2.



**FIGURA 4.2.** Gráfico de los datos obtenidos. La pendiente de la recta corresponde a la velocidad de absorción de agua.

La pendiente también se puede estimar usando la siguiente fórmula:

$$\text{Pendiente} = \text{Velocidad de Absorción de Agua} = \frac{\text{volumen final (ml)}}{\text{tiempo final (min)}} \cdot$$

Para el ejemplo en la Figura 4.2, el volumen final (4 ml) se divide por el tiempo final (7.16 min) lo que corresponde a una pendiente aproximada de 0.56 ml/min, que es una aproximación al valor calculado en base a todos los datos de la Tabla 4.1 (0.54 ml/min).

Si el material no es muy absorbente, como ser una piedra densa o si la superficie tiene una costra, la absorción inicial puede ser muy lenta, lo que puede ser engañoso respecto a la capacidad de absorción de agua. Una forma de estimar esto, es tomando una lectura cada 5 min. hasta llegar al límite de los 5 ml. En este caso, los datos se presentan como en la Tabla 4.2. Es claro que la absorción no tiene un ritmo regular, y se puede estimar que la superficie tiene menor absorción.

**TABLA 4.2.** Datos obtenidos para el caso de un material muy denso.

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Volumen absorbido (ml)</b>	<b>Velocidad de absorción (ml/min)</b>
5	1.2	0.24
10	3.7	0.37
15	4.35	0.29
Promedio	[No calculado]	0.30 ml/min

*Fecha y hora:*<sup>a</sup>

*Condiciones climáticas: temperatura, HR, viento, etc.*<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Datos adicionales que deben ser recogidos para una mejor evaluación de los ensayos.

# 5. COMPATIBILIDAD DE MATERIALES: VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DEL VAPOR DE AGUA

**JORGE OTERO Y A. ELENA CHAROLA**

El principal objetivo de este ensayo es el de comparar materiales de construcción, tales como piedra, ladrillo o morteros, así como productos protectores, como hidro-repelentes o pinturas, a fin de seleccionar un producto que tenga una permeabilidad al vapor de agua similar al del material de obra (Hern y Snethlage, 1992; DeFreece y Charola, 2007; Galván et al., 2014; Liu y Charola, 2014). Este punto es crítico, pues la situación ideal es que el tratamiento protector, tal como pintura o un revoque, tenga una velocidad de transmisión de vapor de agua lo más similar al del material al que se aplica.

La velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA) de un material es crítica para determinar la resistencia a la evaporación de agua cuando el material está mojado, ya sea por absorción capilar del suelo o por la aplicación de un tratamiento protector que puede reducir la evaporación del agua líquida. Cuando el material retiene humedad, se pueden generar problemas en el interior del edificio, mientras que facilita la biocolonización en el exterior. El ensayo que se presenta sirve para evaluar este problema, y permite comparar la permeabilidad del material mismo, y del material con una aplicación de pintura o un hidro-repelente.

Este ensayo puede realizarse de dos maneras, el llamado “método húmedo” o el “método disecante” (ASTM E 96/E 96M - 05). El método que se describe aquí es el “método húmedo” donde un disco del material a ensayar, un ladrillo, piedra, etc., se sella sobre un vaso de precipitado con una cierta cantidad de agua. El vaso se coloca en un ambiente cerrado y seco mediante un disecante, como ser un gabinete pequeño, y se lo pesa regularmente para controlar el cambio de peso, a medida que el vapor de agua pasa a través de la muestra y es absorbido por el material disecante.

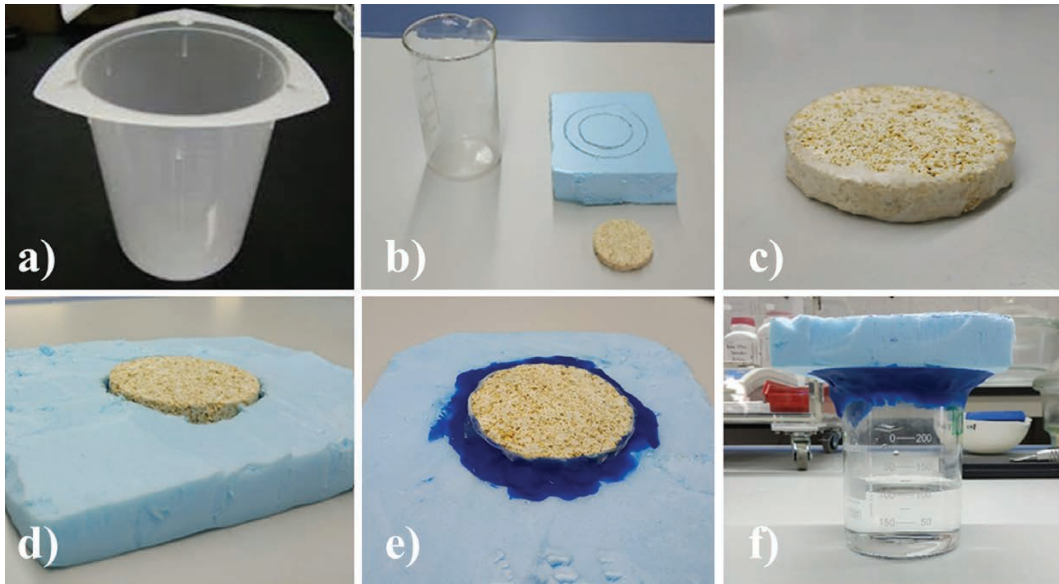
## Equipamiento

- Vasos de precipitado plásticos de 300 ml; o con tres puntas de 250 ml, teniendo un diámetro de 7.5 cm, y con una pequeña saliente casi 0.5 cm del borde, y 0.2 cm de ancho donde se puede colocar la muestra (Jacob y Weiss, 1989).
- Balanza con sensibilidad al  $\pm 0.01$  g.
- Estufa para secar las muestras y el gel de sílice.
- Agua desionizada.
- Un material impermeable o maleable: en el experimento descrito, se utilizó una plancha de poliuretano con un espesor de 4 cm, para mantener el disco sobre el vaso de precipitado. Se usó Parafilm para sellar la circunferencia del disco, y una masilla para sellarlo al poliuretano y al vaso de precipitado.
- Una caja de plástico impermeable, suficientemente grande como para acomodar todas las muestras a ensayar, y con una tapa que la cierre herméticamente, a fin de mantener las muestras a una humedad relativa cerca de 10% HR utilizando gel de sílice secado por 24 horas en un horno a cerca de 30°C hasta peso constante. También se puede utilizar arroz secado en las mismas condiciones que el gel de sílice.
- Un higrómetro para monitorizar cualquier cambio en la caja; alternativamente, un indicador de humedad de cartón, tal como el de SCS 4HIC100 rom Digikey Electronics (<https://www.digikey.com/products/en?keywords=SCS%204HIC100%20>, fecha de acceso 18 June 2020). Tomar note que la temperatura también debe ser constante durante la prueba.
- Se cortan los discos de las muestras de acuerdo al vaso de precipitado a utilizar en el ensayo: para el vaso de 300 ml, se corta un disco de 1 cm de espesor y un diámetro de 5.3 cm (ver Figura 5.1b). Si se usa el de tres puntas de 250 ml, un disco de 1.9 cm de espesor y 6.9 cm de diámetro (ver Figura 5.1a).

*Nota: Alternativamente, los discos se pueden cortar al tamaño de la boca del vaso de precipitado y los bordes de los discos se forran con parafilm, y luego se usa cera para sellarlos a la boca del vaso (Jacob y Weiss, 1989). Cuando se comparan diferentes materiales, o materiales tratados con un producto de conservación (pintura, hidro-repelente, etc.), todos los discos deben tener el mismo espesor y diámetro para poder compararlos. Se sugiere que el ensayo se lleve a cabo con tres muestras por cada tipo de material a fin de para poder compararlos.*

## Procedimiento

1. Antes de comenzar el ensayo, el gel de sílice o el arroz se deben secar en un horno por 24 horas. Una vez seco, el material se introduce en la caja impermeable a fin de mantener una humedad relativa, HR, de aproximadamente 10%.
2. Todos los discos cortados deben ser medidos (tanto espesor como diámetro), marcados y pesados. Es importante que el disco esté completamente seco cuando se pesa.



**FIGURA 5.1.** Equipamiento para el ensayo de transmisión de vapor de agua. (a) Vaso de tres puntas de plástico que tiene un borde sobre el que se puede acomodar la muestra (Jacob y Weiss, 1989). (b) Vaso de precipitado de vidrio, disco de calcarenita, y trozo de poliuretano a cortar. (c) Disco con los bordes sellados con Parafilm. (d) Disco insertado en la plancha de poliuretano. (e) Disco insertado en el poliuretano y sellado con plastilina. (f) Vaso con agua y sellado con la muestra en el poliuretano.

3. En el experimento descrito, el soporte para el disco fue cortado de una lámina de poliuretano, con el mismo diámetro de la muestra (Figura 5.1b). La circunferencia del disco se sella con Parafilm o un material plástico (Figura 5.1c).
4. El disco se coloca dentro del espacio cortado en la lámina de poliuretano (Figura 5.1d) y el espacio entre el disco y el poliuretano se sella con plastilina (Figura 5.1e).
5. El vaso de precipitado se llena con 100 mL de agua desionizada y el disco en la lámina de poliuretano se asegura sobre el vaso (Figura 5.1f). Controlar que la plastilina selle completamente el espacio entre el vaso y el poliuretano. Una vez que el vaso está listo, se rotula, se pesa y se coloca en la caja impermeable y se tapa. Se toma nota del tiempo.
6. El vaso se pesa regularmente, p.ej., cada 6 o 12 horas, dependiendo de la muestra. El peso del vaso decrece a medida que el experimento progresa indicando la cantidad de agua que pasó por el material (p.ej., piedra/ladrillo/mortero) del medio ambiente húmedo dentro del vaso al medio ambiente seco de la caja (aproximadamente 10% RH). El ensayo termina cuando se obtiene una pendiente constante para la reducción de peso (Figura 5.2).
7. Se prepara una tabla con los siguientes datos: tiempo (horas), peso (g), pérdida de peso (g) y pérdida de peso por área ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ).

La pérdida de peso depende de la naturaleza y condición del material considerado. Materiales como piedra, ladrillo o morteros, son muy permeables

de modo que el ensayo es más corto que para materiales menos porosos. En general, al menos 5 o 6 medidas deben ser tomadas para obtener un valor de la Velocidad de Trasmisión del Vapor de agua. Este punto se explica con más detalle en la sección siguiente.

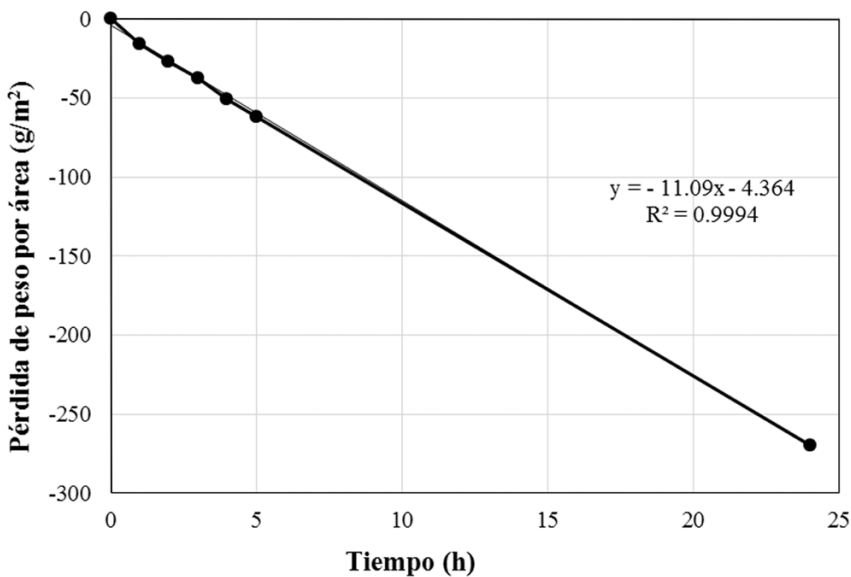
## Resultados y Presentación de Datos

Los datos colectados se presentan como se muestra en la Tabla 5.1 y los datos obtenidos se grafican como se muestra en la Figura 5.2.

**TABLA 5.1.** Datos de la pérdida de agua (por peso) con el tiempo obtenidos para el disco de calcarenita mostrado en la Figura 5.1. El peso corresponde a una sola muestra como ejemplo. Peso original del disco = 35.57 g. Diámetro del disco = 5.3 cm (0.053 m).

Tiempo (horas)	Peso (g)	Pérdida de peso (g)	Pérdida de peso por área (g/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>
0	285.377	0	0
1	285.342	-0.035	-15.7
2	285.316	-0.061	-27.4
3	285.293	-0.084	-37.7
4	285.264	-0.113	-50.7
5	285.239	-0.138	-61.9
24	284.776	-0.601	-269.7

<sup>a</sup>La superficie (A, en m<sup>2</sup>) se calculó con la fórmula standard,  $A = \pi r^2$ .



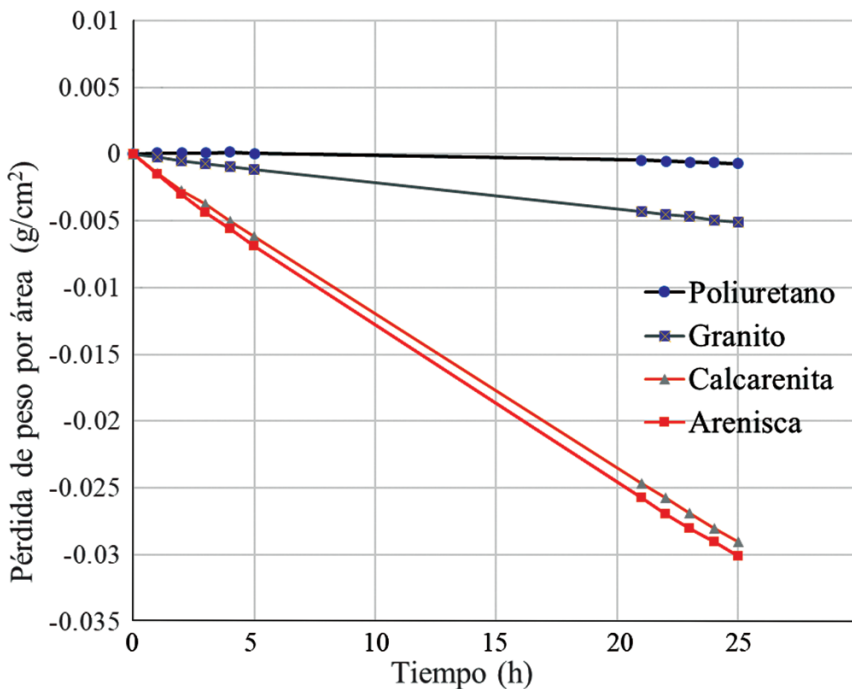
**FIGURA 5.2.** Velocidad de Trasmisión de Vapor de Agua para la calcarenita. La ecuación de la pendiente se obtiene por el software Trendline (Microsoft Excel®) dando un valor de -11.09 para la línea.

La Velocidad de Transmisión del Vapor de Agua (VTVA) está dada por la pendiente de la línea obtenida, en este caso es de 11.09 g/m<sup>2</sup>h y con un factor  $R^2$  de 0.9994 indicando que los datos son consistentes. El factor  $R^2$  corresponde a la proporción de variancia de la variable dependiente que se puede predecir de la variable independiente. Cuánto más cerca de 1, mayor es la correlación entre variable dependiente e independiente.

La pendiente y los valores de  $R^2$  también se pueden obtener directamente de los valores dados en la Tabla 5.1, utilizando el software de Excel, lo que requiere indicar los datos a utilizar, en este caso corresponden a la ordenada Y (pérdida de peso por área) y a la abscisa X (tiempo en horas). En este caso la función  $R^2$  se calcula separadamente.

Este ensayo es importante pues sirve para comparar diversos productos protectores, tales como pinturas, hidro-repelentes, etc., que se evalúan como posibles tratamientos a fin de identificar el producto que mínimamente modifica la VTVA del sustrato pues es crítico mantenerla similar.

Como ilustración, tres muestras de diferentes piedras se compararon: la mencionada calcarenita, que es una caliza que contiene más del 50% de detritos calcáreos del tamaño de granos de arena (0.0625 a 2 mm de diámetro); una arenisca, constituida fundamentalmente por granos de arena, y un granito, utilizando para cada piedra tres muestras y los resultados



**FIGURA 5.3.** Comparación del VTVA para las tres piedras: calcarenita, arenisca, y un granito. La lámina de poliuretano también fue incluida para confirmar que es impermeable.



fueron promediados. Para complementarlo, se incluyó la VTVA de la lámina de poliuretano que se había usado en el ensayo, a fin de evaluar su impermeabilidad. La Figura 5.3 muestra los resultados gráficos de estos ensayos y la Tabla 5.2 presenta la comparación entre la VTVA de los diversos materiales.

**TABLA 5.2.** Velocidad de Transmisión de Vapor de Agua (VTVA) obtenida de la pendiente de las líneas adquiridas, y el factor  $R^2$  de las pendientes, que es una medida estadística de la aproximación de los datos a la línea de regresión.

<b>Muestra</b>	<b>VTVA (g/m<sup>2</sup>h)</b>	<b>Factor <math>R^2</math></b>
Calcarenita	11.09	0.9994
Arenisca	10.67	0.9993
Granito	1.54	0.9636
Poliuretano	0.25	0.9697

# 6. TRES ENSAYOS EN SECUENCIA PARA EVALUAR MATERIALES: COEFICIENTE DE ABSORCIÓN CAPILAR DE AGUA, INMERSIÓN TOTAL Y CURVAS DE SECADO

**A. ELENA CHAROLA Y JORGE OTERO**

Uno de los requisitos fundamentales en la preservación del patrimonio arquitectónico es la compatibilidad de materiales, ya que la incompatibilidad conduce al daño de los componentes originales como, por ejemplo, cuando se usa el cemento Portland en morteros o en revoques de construcciones en ladrillo. También los materiales utilizados para completar construcciones en piedra y aún hormigón, pueden introducir problemas por su incompatibilidad (Weinstein y Capen, 2014). Uno de los puntos clave para evitar los problemas mencionados es que la porosidad de los materiales debe ser similar (Binda y Baronio, 1985); por lo tanto, es crítico evaluar la compatibilidad de los materiales en función de su porosidad. Hay varios métodos para llevar a cabo esta estimación, pero resulta muy útil contar con un método práctico que puede ser utilizado aun cuando no se cuente con un laboratorio instalado.

El procedimiento que se describe está basado en una secuencia de simples ensayos, tales como la absorción de agua (UNI 10859. 2000); porosidad aparente (ASTM C67-00, 2000; ASTM C97/C97M-09, 2009), y las curvas de secado (RILEM Test Method No. II.5. 1980; DIN EN 16322, 2013). Estos ensayos fueron modificados para simplificarlos de manera que se pudieran llevar a cabo con un mínimo de equipamiento y sobre varias muestras.

La porosidad del material define como el agua, tanto líquida como en forma de vapor, circula por los poros (Charola y Wendler, 2015); la Tabla 1 muestra los varios mecanismos de transferencia de humedad por el sistema.

**TABLA 6.1.** Mecanismos de transferencia de humedad dependientes del tamaño de poro (de Charola y Wendler, 2015), donde  $\varnothing$  es el diámetro del poro.

<b>Macroporos</b>	<b>Microporos</b>			<b>Nanoporos</b>	
$\varnothing > 1 \text{ mm}$	1 mm-10 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$ -1 $\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$ -0.1 $\mu\text{m}$	100 nm-10 nm	< 10 nm
Flujo de agua líquida	Absorción capilar		Adsorción de vapor de agua y difusión superficial		
Difusión de vapor de agua			Condensación capilar		

El agua penetra en una estructura por ascenso capilar (a), comúnmente llamada humedad ascendente, desde el suelo, o por infiltración de la lluvia desde arriba (b). El ascenso capilar ocurre por la presencia de microporos con diámetros entre 1mm-1 $\mu\text{m}$ ; siendo el ascenso más rápido para los poros de menor diámetro, aunque penetre menos agua; mientras que la evaporación del agua es más rápida por poros capilares mayores.

El mecanismo de absorción para los poros más pequeños, entre 1  $\mu\text{m}$  a <10 nm, está basado en la adsorción del vapor de agua por la pared del poro formando una estructura ordenada. Este estrato atrae más humedad y el resultado es que ocurre una difusión superficial. A medida que más agua es adsorbida, los subsiguientes estratos o capas, pierden su estructura llegando a la condición de agua líquida.

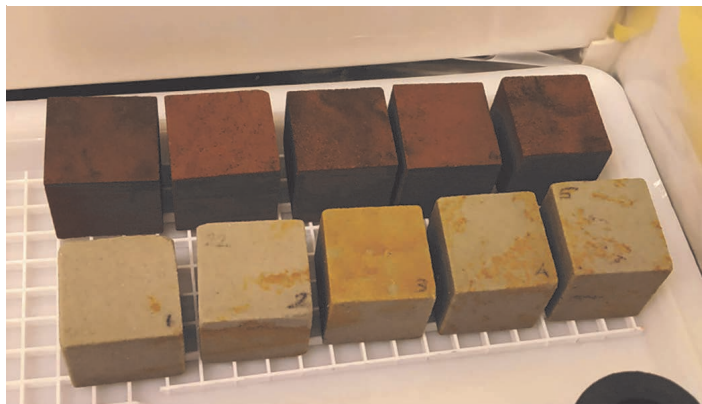
Durante el secado de la mampostería, se pueden diferenciar tres etapas: la evaporación inicial del agua que ocurre en su superficie; luego una evaporación mixta desde la superficie y desde los poros más cercanos a ella; y, finalmente, una evaporación desde el interior de la piedra.

Para evaluar el desempeño de un material, la secuencia de estos tres ensayos ayuda a determinar la absorción capilar del agua; la cantidad de agua que puede ser absorbida por inmersión total en agua, y la velocidad de secado. Esta información es crítica para comprender el comportamiento del material en presencia del agua y para obtener una noción de su porosidad.

## Metodología

En general, estos tres ensayos se llevan a cabo independientemente, pero para simplificar se los secuencia.

Las muestras deben tener una forma regular, p.ej. un cubo de 5 × 5 × 5 cm, que se deben secar en un horno a 60°C hasta peso constante (generalmente unas 24 horas). Si no se tiene una sierra para cortarlas, el mejor lugar para obtener estos cubos son los locales que tratan con mesadas de y/o baldosas de piedra.



**FIGURA 6.1.** Los tres ensayos: absorción capilar de agua (*arriba*); inmersión total (*centro*), y curvas de secado (*abajo*). Por favor notar que exceptuando el secado, los contenedores con las muestras están normalmente tapados para evitar la evaporación del agua.

En principio se deben tener tres muestras de cada tipo, es decir 3 controles, 3 muestras tratadas, etc. Cada muestra debe pesarse tomando nota de su peso. Una balanza con una sensibilidad del  $\pm 0.01$  g es suficiente.

La secuencia de los tres ensayos es la siguiente (Figure 6.1):

1. Absorción capilar de agua.
2. Inmersión total en agua.
3. Secado y curvas de evaporación.

## Equipamiento

- Horno para secar la(s) muestra(s); en emergencia se puede usar el horno de la cocina pero calibrándolo con un termómetro;
- Balanza con sensibilidad al  $\pm 0.01$  g;
- Cronómetro o reloj con segundero;
- Recipiente plástico suficientemente grande como para poder acomodar todas las muestras a ensayar, y que tenga una tapa ajustada;
- Esferas de vidrio, varillas de vidrio, papel de filtro o una esponja de algodón son necesarias para cubrir el fondo del recipiente;
- Agua desionizada;
- Vasos de precipitado suficientemente grandes como para acomodar una muestra;
- Rejillas plásticas o metálicas inoxidables para dejar seca las muestras.

Las muestras deben ser secadas en el horno a  $60^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante (generalmente unas 24 horas). Una vez que las muestras están secas conviene colocarlas en un recipiente con sílica gel para que no absorban humedad del ambiente, y se pesan en la balanza (sensibilidad  $\pm 0.01$  g) tomando nota de su peso seco.

Según lo señalado anteriormente, conviene tomar tres ejemplares de cada material, como ser, 3 para servir como control, 3 muestras tratadas con una pintura, etc.

## Procedimientos

### Coeficiente de Absorción Capilar de Agua

Una vez pesada la muestra seca ( $P_d$ ), se coloca la muestra en el recipiente plástico cuyo fondo tenga esferas o varillas de vidrio, o un bloc de papel de filtro, o un paño esponja. Se le agrega agua desionizada hasta que el nivel llegue a la base de la muestra, tomando cuidado que no toque los lados verticales de la muestra, se toma nota de este tiempo, y se tapa el recipiente. Se repite lo mismo con las otras muestras, y como teniendo más muestras que absorben agua el nivel del agua baja, es importante controlarlo regularmente y adicionar más, a medida que las muestras lo absorban.

Periódicamente es necesario pesar las muestras para registrar la velocidad de absorción; esto conviene hacerlo con una o dos muestras primero para

tener una idea del tiempo necesario. En general, el tiempo entre pesadas depende de la porosidad de la muestra. Al inicio de la absorción, se deben pesar más seguido, y luego las pesadas se pueden espaciar. Se recomienda hacer una primera prueba con una muestra de cada tipo para estimar los tiempos para las pesadas; por ejemplo, cada 5 minutos durante la primer media hora, y cada 15 minutos para la siguiente media hora, a fin de estimar el tiempo necesario para una corrida completa.

Para pesar la muestra, se saca del recipiente, se seca la base húmeda con una toalla de papel y se coloca sobre la balanza. Se hace la lectura lo más rápido posible y se pone nuevamente la muestra en el recipiente, asegurándose de cerrarlo bien. Las pesadas de repiten a intervalos apropiados.

A medida que se toman estos datos, es importante registrarlos ordenadamente, y para ello conviene hacer una tabla de seis columnas, para registrar: (1) el tiempo exacto de cada pesada; (2) el tiempo acumulativo [minutos]; (3) la raíz cuadrada del tiempo [ $\text{seg}^{0.5}$ ]; (4) peso de la muestra  $W_t$  [g]; (5) cantidad de agua absorbida hasta ese momento,  $U_t$  ( $U_t = W_t - W_d$ , donde  $W_d$  = peso de la muestra seca) [g]; y (6) la cantidad de agua absorbida por unidad de área,  $M_i$  ( $U_t/S$ ) [ $\text{g}/\text{cm}^2$ ], donde  $S$  corresponde a la base del cubo. Si es un cubo de 5-cm, correspondería a 25  $\text{cm}^2$  (Tabla 6.2).

**TABLA 6.2.** Datos de la absorción capilar de agua para una muestra (como ejemplo). Cantidad de agua absorbida por unidad de area ( $M_i$ ) =  $U_t/S$ , donde  $U_t$  = cantidad de agua absorbida (cambio de peso) y  $S$  = superficie absorbente (25  $\text{cm}^2$ ); el guión (—) = no se hicieron medidas o cálculos.

<b>Tiempo real (h)</b>	<b>Tiempo cumulative (min)</b>	<b>Raíz cuadrada del tiempo (<math>\text{seg}^{0.5}</math>)</b>	<b>Peso (<math>W_t</math>) (g)</b>	<b>Agua absorbida (<math>U_t</math>) (g)</b>	<b>Agua absorbida por unidad de área <math>M_i</math> (<math>U_t/S</math>) (<math>\text{g}/\text{cm}^2</math>)</b>
08:00	0	0	284.37	0	0
08:05	5	17.32	288.21	3.84	0.154
08:10	10	—	—	—	—

Se recomienda que tan pronto la velocidad de absorción de agua disminuya, los datos obtenidos se grafiquen para determinar si hay alguna anomalía. En la mayor parte de estos casos, esto se debe a errores en la pesada o en la medida del tiempo.

Una vez que la muestra llega al valor asintótico de absorción de agua, la muestra se deja 24 horas y se toma una última pesada ( $W_{\text{asint}}$ ). La curva de absorción capilar se obtiene utilizando los datos de  $M_i$  (ordenada) en función de la raíz cuadrada del tiempo (abscisa), que se presenta en la Figura 6.2 en “Resultados y Presentación de Datos.”

## Inmersión Total en Agua

Tan pronto se haya realizado la última pesada, la muestra se sumerge totalmente en agua desionizada en un vaso de precipitado o equivalente. Se toma nota del tiempo, y la muestra se deja sumergida por 24 horas. Al sacar la muestra, se la seca cuidadosamente de modo que no tenga exceso de agua y se pesa ( $W_{\max}$ ) tomando nota del tiempo. Este es el primer punto de la curva de secado y se utiliza para calcular la porosidad total accesible al agua a la temperatura y presión del recinto.

## Curva de Evaporación

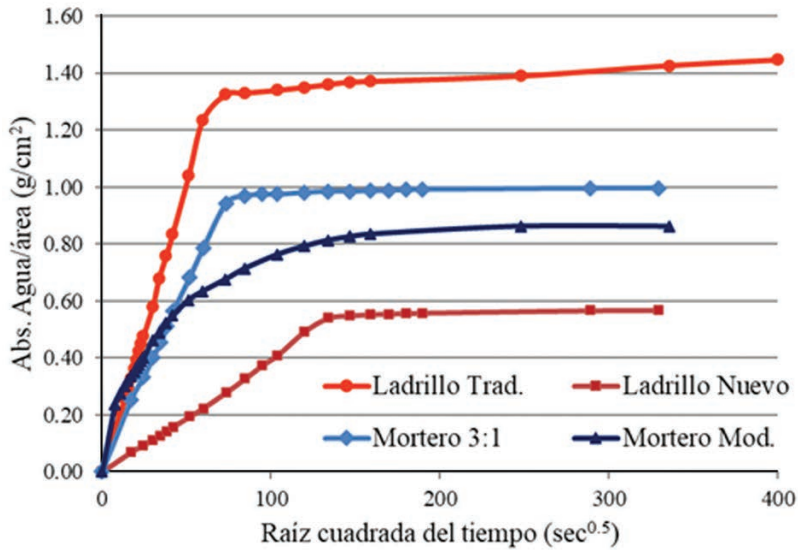
Lo más sencillo es colocar la muestra sobre la balanza para pesarla y dejarla allí por unos quince minutos a media hora, pues la rápida evaporación inicial requiere que se tomen datos rápida y regularmente, tanto del peso como del tiempo. Nuevamente se prepara una tabla con seis columnas (Tabla 6.3) para registrar el tiempo de la medida; el tiempo acumulativo tanto en minutos [min.] como en horas [h]; peso de la muestra  $W_t$  [g]; contenido de humedad  $U_t$  ( $W_t - W_d$ ) [g];  $\psi$ , contenido de humedad y ( $U_t/Vol_{\text{muestra}}$ ) [g/cm<sup>3</sup>]. El gráfico sirve para mostrar las curvas de secado en función de  $\psi$  [g/cm<sup>3</sup>] en función del tiempo [h].

**TABLA 6.3.** Datos del secado de la muestra 2 (un ejemplo). El contenido de humedad se calcula por unidad de volumen de la muestra (125 cm<sup>3</sup>);  $U_t$  = cambio de peso por el agua absorbida; el guión (—) = no se hicieron medidas o cálculos.

Tiempo	Tiempo cumulative		Peso ( $W_t$ ) (g)	Contenido de humedad ( $U_t$ ) (g)	Contenido de humedad por volumen ( $U_t/vol.$ ) (g/cm <sup>3</sup> )
	(min)	(h)			
08:00	0	0	254.52	39.93	0.31944
08:01	1	0.017	254.49	39.90	0.31920
08:02	2	0.033	254.46	39.87	0.31896
08:03	3	—	—	—	—

## Resultados y Presentación de Datos

La Figura 6.2 muestra las curvas de absorción capilar para dos ladrillos, uno producido tradicionalmente a mano, y el otro un ladrillo nuevo producido a máquina. También se muestran dos morteros, uno de cal hidráulica natural : arena (1:3), y el otro un mortero modificado con cemento Portland blanco : pasta de cal : arena (1:2:9) adicionado con un 10% de una emulsión acrílica.



**FIGURA 6.2.** Curvas de absorción capilar (cantidad de agua absorbida por unidad de área,  $M_1$ ) para un ladrillo fabricado manualmente (antiguo) y otro hecho a máquina (nuevo), un mortero de cal hidráulica natural 1:3, y un cemento Portland modificado con mortero de cal y una emulsión acrílica.

La línea recta inicial de las curvas (o sea la pendiente de la línea) corresponde al coeficiente de absorción capilar, CAC [ $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}^{0.5}$ ]. Examinando las curvas se observa que el mortero modificado cambia considerablemente la absorción de agua. Los datos se presentan en la Tabla 6.4.

**TABLA 6.4.** El coeficiente de absorción capilar (CAC) y el factor de correlación  $a$  que sirve para evaluar la linealidad de la pendiente (una línea recta tiene un factor de correlación 1); el período de tiempo usado para calcularlo; y, el contenido de agua asintótico y el tiempo aproximado necesario para alcanzarlo.

Muestra	CAC		Tiempo (h)	Factor de correlación <sup>a</sup>	Contenido de agua asintótico ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )	Tiempo approx. (h)
	( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{0.5}$ )	( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$ )				
Ladrillo tradicional	0.00206	1.2	4	0.9994	~1.50	40
Ladrillo nuevo	0.00404	2.4	4	0.9985	0.57	10
Mortero tradicional	0.01277	7.7	1.5	0.9994	1.00	10
Mortero modificado	0.01453	8.7	0.16	0.9486	0.86	30

<sup>a</sup>El factor de correlación sirve para indicar cuán recta es la línea obtenida; el valor se obtiene cuando se grafican los datos obtenidos en Excel.



El coeficiente de absorción para el ladrillo tradicional es dos veces mayor que para el ladrillo nuevo, reflejando un mayor número de poros más grandes en el rango capilar (Table 6.1), mientras que la absorción capilar asintótica es casi tres veces mayor, confirmando una mayor porosidad.

Los morteros muestran valores más semejantes y caen dentro del rango de los obtenidos para los ladrillos. Esto se confirma con el ensayo de inmersión total que sirve para determinar la absorción de agua (%), llamada porosidad aparente (ASTM C67-00, 2000; ASTM C97/C97M-09, 2009); capacidad de absorción de agua (WAC) ( $[W_{\max} - W_{\text{seco}}] \times 100/W_{\text{seco}}$ ) (Borelli, 1999); capacidad de imbibición ( $[W_{\max} - W_{\text{seco}}]/W_{\text{seco}}$ ) y porosidad abierta (%). Esta última se calcula por la razón del volumen de poros abiertos ( $V_{\text{ab}}$ ) al volumen total de la muestra ( $V_{\text{g}}$ ). A fines prácticos se puede calcular por la cantidad de agua absorbida, dividida por la densidad del agua ( $(W_{\max} - W_{\text{seco}})/\delta$ ). Esta última se puede estimar como 1 g/cm<sup>3</sup>, que es el valor que tiene a 4°C. Los resultados se presentan en la Tabla 6.5.

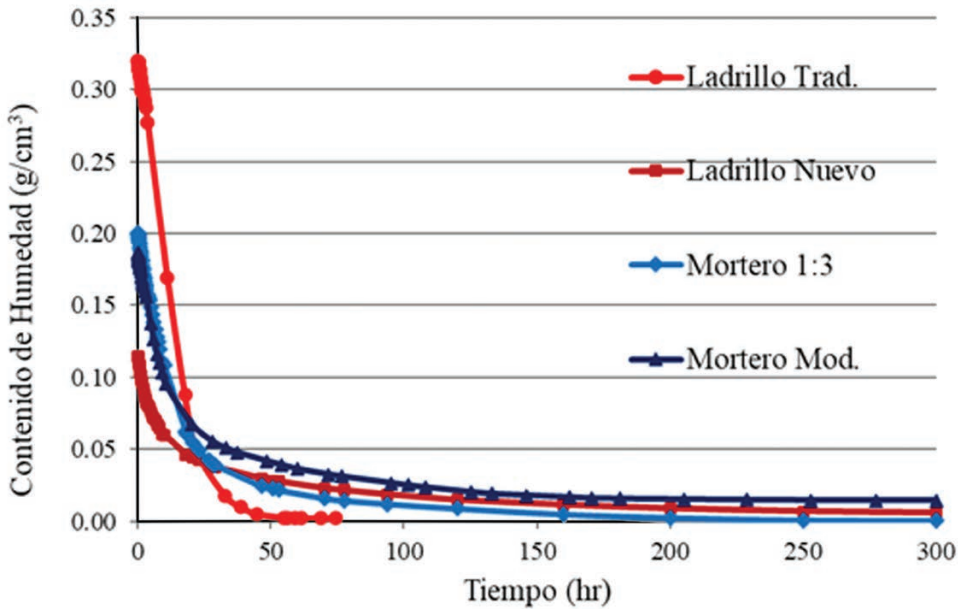
**TABLA 6.5.** Capacidad de absorción de agua (WAC, peso por peso [w/w]; % =  $[W_{\max} - W_{\text{seco}}] \times 100/W_{\text{seco}}$ ), capacidad de imbibición (CI, w/w;  $[W_{\max} - W_{\text{seco}}]/W_{\text{seco}}$ ), y porosidad abierta (v/v; % =  $[W_{\max} - W_{\text{seco}}] \times 100/d$ ) para los cuatro materiales estudiados, y donde  $W_{\max}$  = peso saturado;  $W_{\text{seco}}$  = peso seco inicial; d = densidad del agua a 4°C).

Muestra	WAC (%, w/w)	CI (w/w)	Porosidad abierta % (v/v)
Ladrillo tradicional	18.61	0.186	32
Ladrillo nuevo	4.50	0.045	11
Mortero tradicional	9.80	0.098	20
Mortero modificado	9.15	0.091	18

La porosidad abierta del ladrillo tradicional es aproximadamente tres veces la del ladrillo nuevo, mientras que los dos morteros tienen una porosidad entre estos valores. Se debe tener en cuenta que la porosidad abierta no es la porosidad total del material. Esta sólo se puede obtener saturando la muestra en agua bajo vacío. Pero en la práctica, la porosidad abierta, que es la porosidad accesible al agua bajo presión atmosférica, es suficiente ya que los materiales rara vez se saturan completamente con agua.

Las curvas de secado obtenidas del contenido de humedad y (g/cm<sup>3</sup>) en función del tiempo de secado (h), luego de la inmersión total en agua se muestran en la Figura 6.3.

Las curvas muestran que el ladrillo tradicional, a pesar de haber absorbido mucha más agua que los dos morteros y el ladrillo nuevo, es el primero en secarse confirmando la presencia de muchos más poros capilares. En dos días



**FIGURE 6.3.** Curvas de secado para el ladrillo tradicional y el ladrillo nuevo, el mortero de cal hidráulica natural y el mortero modificado de cemento Portland con cal y una emulsión acrílica.

ya estaba prácticamente seco. El mortero de cal hidráulica natural 1:3, y el ladrillo nuevo, necesitaron más de una semana en secarse, mientras que el mortero con la emulsión acrílica tardó casi dos semanas. La compatibilidad de los materiales reside en su absorción de agua, y especialmente en sus características de secado, que deben ser similares pues el deterioro ocurre preferencialmente en el material que retiene agua por más tiempo. Por lo tanto, está claro que el mortero de cal hidráulica natural (1:3) es compatible con el ladrillo moderno, mientras que el ladrillo tradicional necesita de un mortero más poroso. En general, los aditivos orgánicos, que pueden ser útiles para una consolidación, tienen la desventaja de tardar mucho más tiempo en secar.

De la curva de secado, la línea recta inicial, y la final, se puede calcular la velocidad de secado inicial y final, como se muestra en la Tabla 6.6. Los factores de correlación también se calculan para asegurarse que correspondan a la sección más recta de la curva. De la experiencia práctica, éstos deben ser  $>0.995$  para la velocidad de secado inicial, y  $>0.95$  para la recta final pues los errores durante el pesado incrementan cuando se va secando la muestra.

**TABLA 6.6.** Velocidad de secado inicial y final para los cuatro materiales; tiempos para los cuales son válidos; los correspondientes factores de correlación, así como el contenido de humedad residual en las muestras y el tiempo necesario para alcanzar estos valores.

Muestra	Velocidad	Tiem- po (h)	Factor correl. <sup>a</sup>	Velocidad	Tiem- po (h)	Factor correl. <sup>a</sup>	Humedad residual (g/cm <sup>3</sup> )	Tiem- po (días)
	secado inicial (g/cm <sup>3</sup> .h)			secado final (g/cm <sup>3</sup> .h)				
Ladrillo tradicional	-0.013	17	0.998	-1.52 E-05	18	0.946	0.002	3
Ladrillo nuevo	-0.010	3	0.995	-7.47 E-05	230	0.953	0.006	12
Mortero tradicional	-0.010	10	0.995	-6.35 E-05	220	0.946	0.001	10
Modified mortar	-0.009	10	0.997	-1.18 E-05	230	0.958	0.015	16

<sup>a</sup>Los factores de correlación se calculan via Excel de las dos secciones rectas de la curva—la parte inicial, y la parte final.

## Conclusiones

El procedimiento descrito es una manera de evaluar la absorción y evaporación del agua que son características de los materiales de construcción y para estimar la compatibilidad entre ellos. Se debe tener en cuenta que el agua se absorbe por los poros capilares en algunas horas, sobre todo si estos poros están en el rango de diámetros mayores (de aproximadamente 1 mm a 10  $\mu\text{m}$ ), como es el caso para el ladrillo tradicional. Sin embargo, la porosidad total es mayor, y puede necesitar más de un día de mojado para llegar a un valor constante del contenido de agua, mientras que el secado tarda casi tres veces más. En el caso de un ladrillo moderno, el secado tarda 24 veces más pues los poros capilares son más finos (diámetros de aproximadamente 10-0.1  $\mu\text{m}$ ) y tienden a retener la humedad, así como ocurre con el mortero hidráulico 1:3. Y para el caso del mortero modificado, el contenido de humedad al finalizar el experimento, era diez veces mayor que el del mortero 1:3. Esto se puede atribuir a que la formulación contiene cemento Portland y una emulsión acrílica.

# APÉNDICE: BIBLIOGRAFÍA DE RECURSOS SUGERIDOS Y OTRAS LECTURAS

## A. ELENA CHAROLA

Una bibliografía de publicaciones, muchas de las cuales se puede encontrar online, se incluye aquí, para la identificación de problemas potenciales y sus soluciones en caso de necesidad. Esta bibliografía incluye otros manuales y publicaciones que proveen información importante sobre el deterioro y la conservación de materiales de construcción. En particular, el *ARC Laboratory Handbook* preparado por Borrelli y Urland (1998–1999) presenta información útil, ensayos, y protocolos en las secciones sobre porosidad, sales, ligantes, evaluación del color y su medición. La bibliografía está organizada por tópico, tales como ladrillo, piedra, y otros. De la sección “Evaluación de Compatibilidad para Acciones de Conservación,” las cuatro publicaciones que se recomiendan pueden servir de guía en resolver problemas durante intervenciones de conservación. La resolución de problemas es un proceso que requiere entender la complejidad involucrada en el deterioro de materiales, así como encontrar soluciones posibles que puedan ser implementadas con los recursos disponibles.

### Adobe

- Alva Balderrama, A. 2001. The Conservation of Earthen Architecture. *Conservation. The Getty Conservation Institute Newsletter*, 16(1):4–11.
- Correia, M. 2016. *Conservation in earthen heritage assessment and significance of failure, criteria, conservation theory, and strategies*. Cambridge: Cambridge Scholars Publishing.
- Correia, M., Neves, C., Guerrero, L F., y Pereira Jijone, H., eds. 2016. *Arquitectura de tierra en América Latina*. Lisboa: Argumentum Edições.
- The Cornerstones Technical Staff. 2006. *Adobe Conservation—A Preservation Handbook*. [https://static1.squarespace.com/static/59502775cd0f68148ec1a5af/t/5b4f5b07aa4a99e4d315d59e/1531927307059/adobe\\_conservation\\_handbook\\_part\\_1.pdf](https://static1.squarespace.com/static/59502775cd0f68148ec1a5af/t/5b4f5b07aa4a99e4d315d59e/1531927307059/adobe_conservation_handbook_part_1.pdf) (accedido 2 Junio 2020).
- Viñuales, G. M. 1981. *Restauración de Arquitectura de Tierra*. Tucumán, Arg.: Instituto Argentino de Investigaciones de Historia de la Arquitectura del Urbanismo. [http://biblio.iccrom.org/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=24276&query\\_desc=kw%2Cwrdl%3A%20Adobe](http://biblio.iccrom.org/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=24276&query_desc=kw%2Cwrdl%3A%20Adobe) (accedido 2 Junio 2020).

## Arcillas

- Delgado-Rodrigues, J. 2001. Swelling Behaviour of Stones and Its Interest in Conservation. An Appraisal. *Materiales de Construcción Journal*, 51(263–264):183–195. <https://doi.org/10.3989/mc.2001.v51.i263-264.363>
- Turkington, A. V. 2005. *Stone Decay in the Architectural Environment*. Boulder, Colo.: Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/SPE390>
- Velde, B. 2012. *Introduction to Clay Minerals. Chemistry, Origins, Uses and Environmental Significance*. Amsterdam: Springer Science and Business Media.

## Biocolonización

- Caneva, G., Nugari, M.P., y Salvadori, O. 1991. *Biology in the Conservation of Works of Art*. Roma: ICCROM.
- Charola, A. E., McNamara, C., y Koestler, R. J. 2011. *Biocolonization of Stone: Control and Preventive Methods*. Proceedings from the MCI Workshop Series. Smithsonian Contributions to Museum Conservation, no.2. Smithsonian Institution Scholarly Press. <https://doi.org/10.5479/si.19492359.2.1>
- Koestler, R. J., Koestler, V. H., Charola, A. E., y Nieto Fernandez, F. E., eds. 2003. *Art, Biology and Conservation: Biodeterioration of Works of Art*. New York, NY: The Metropolitan Museum of Art.
- Pinna, D. 2017. *Coping with Biological Growth on Stone Heritage Objects*. Oakville, Ontario, Canada: Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781315365510>
- Technical Advice Notes 10. 1997. Biological Growth on Sandstone Buildings: Control and Treatment. Edinburgh: Historic Environment Scotland. <https://doi.org/10.1201/9781315365510>

## Caracterización de Materiales

- Duarte, R., I. Flores-Colen, y J. de Brito. 2011. In Situ Testing Techniques for Evaluation of Water Penetration in Rendered Facades—the Portable Moisture Meter and Karsten Tube. En *12th International Conference on Durability of Building Materials and Components*, ed. M. A. Lacasse, V. Peixoto de Freitas, y H. Corvacho, pp. 1307–1314. Porto: Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal.
- Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción. 2008. *Durabilidad y Conservación de Materiales Tradicionales Naturales del Patrimonio Arquitectónico*. Actas de las III Jornadas Técnicas, Junta de Extremadura. Cáceres, España: Intromac Publishing. <https://en.calameo.com/read/0006332350d0b8b3f0397> (accedido 10 Junio 2020).
- Odegaard, N., S. Carroll, y W. S. Zimmt. 2005. *Material Characterization Tests for Objects of Art and Archaeology*, 2d ed. London: Archetype Publications.
- Vandevoorde, D, V. Cnudde, J. Dewanckele, L. Brabant, M. de Bouw, V. Meynen, y E. Verhaeven. 2013. Validation of In Situ Applicable Measuring Techniques for Analysis of the Water Adsorption by Stone. *Procedia Chemistry* 8:317–327.

## Evaluación de Compatibilidad para Acciones de Conservación

- Delgado-Rodrigues, J. 2015. Defining, Mapping and Assessing Deterioration Patterns in Stone Conservation Projects. *Journal of Cultural Heritage*, 16:267–275. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.09.003>
- Delgado-Rodrigues, J., G. Alessandrini, y A. Bouinneau. 1997. “Procedure for Selection and Control of Cleaning Operations” En *Proceedings 4th International Symposium on the Conservation of Monuments of the Mediterranean Basin*, ed. A. Moropoulou, pp 337–344. Atenas: Cámara Técnica de Grecia.
- Delgado-Rodrigues, J., y A. Grossi. 2007. Indicators and Ratings for the Compatibility Assessment of Conservation Actions. *Journal of Cultural Heritage*, 8:32–43. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2006.04.007>
- Revez, M. J., y Delgado-Rodrigues, J. 2016. Incompatible Risk Assessment Procedure for the Cleaning of Built Heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 18:219–228. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.09.003>

## Ladrillos

- Baer, N. S., S. Fitz, y R. A. Livingston. 1998. *Conservation of Historic Brick Structures. Case Studies and Reports of Research*. Dorset [hoy Shaftsbury] UK: Donhead.
- Burgess, G. K. 1926. Fire-Clay Brick. Their Manufacture, Properties, Uses and Specifications. *Circular of the Bureau of Standards* 282. Washington, D.C.: Department of Commerce.
- Co2olBricks. *Historic Brick Masonry. Part 1: Material, Production and History*. <http://www.co2olbricks.de/> (accedido 16 Junio 2020).

## Lluvia Ácida

- Charola, A. E. 1987. Acid Rain Effects on Stone Monuments. *Journal of Chemical Education*, 64:436–437.
- Charola, A. E., y R. Ware, R. 2002. Acid Deposition and the Deterioration of Stone: A Brief Review of a Broad Topic. En *Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies*, ed. S. Siegesmund, T. Weiss, y A. Vollbrecht, *Special Publication 205*, pp. 393–406. London: The Geological Society.
- Rosvall, J., y Aleby, S., eds. 1988. *Air Pollution and Conservation-Safeguarding our Cultural Heritage*, Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

## Manuales

- Del Cueto, B. 1997. *A Manual on Conservation Methodology for Historic Buildings and Structures*. U.S. Department of the Interior, National Park Service, National Center for Preservation Technology and Training Publication No. 1997-07.
- Torraca, G. 1982. *Porous Building Materials. Materials Science for Architectural Conservation*. 2nd ed. Rome: ICCROM.
- Torraca, G. 2009. *Lectures on Material Science for Architectural Conservation*. Getty Conservation Institute. Los Angeles, Ca: J. Paul Getty Trust.

Vergès-Belmin, V., ed. 2010. *Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns-Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra*. Paris: ICOMOS-ISCS. [http://iscs.icomos.org/pdf-files/spanish\\_glossary.pdf](http://iscs.icomos.org/pdf-files/spanish_glossary.pdf) (accedido 5 Junio 2020).

## Manuales incluyendo Ensayos de Laboratorio

Borrelli, E., y A. Urland. 1998-1999. *ARC Laboratory Handbook: Porosity, Salts, Binders, Colour*. Roma: UNESCO WHC-ICCROM. <https://www.iccrom.org/publication/conservation-architectural-heritage-historic-structures-and-materials> (accedido 16 Junio 2020).

Charola, A. E., y M. L. Magadán, eds. 2009. *Manual Básico de Conservación para las Misiones Jesuíticas Guaraníes-Manual Básico de Conservação para as Missões Jesuíticas Dos Guaraní*. WMF-UNESCO. <https://www.wmf.org/library?keywords=Misiones%20Jesuíticas%20Guaranies> (accedido 8 Junio 2020).

SaltWiki. <https://www.saltwiki.net/index.php/Home> (accedido 10 June 2020).

Teutonico, J. M. 1988. *A Laboratory Manual for Architectural Conservators*. Roma: ICCROM, <https://www.iccrom.org/publication/laboratory-manual-architectural-conservators> (accedido 8 Junio 2020).

## Microscopía

Adams, A. E., y W. S. Mackenzie. 1998. *A Colour Atlas of Carbonate sediments and Rock under the Microscope*, 1st ed. London. Manson Publishing. [https://archive.org/details/A\\_Colour\\_Atlas\\_of\\_Carbonate\\_Sediments\\_and\\_Rocks\\_Under\\_the\\_Microscope\\_by\\_A.\\_E.\\_Ad/page/n29/mode/2up](https://archive.org/details/A_Colour_Atlas_of_Carbonate_Sediments_and_Rocks_Under_the_Microscope_by_A._E._Ad/page/n29/mode/2up) (accedido 4 Mayo 2020).

Bläuer, C., y A. Kueng. 2007. Examples of Microscopic Analysis of Historic Mortars by Means of Polarising Light Microscopy of Dispersions and Thin Section. Special Issue, *Materials Characterization*, 58(11-12):1199-2007. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2007.04.023>

Delvigne, J. E. 1998. Atlas Micromorphology of Minerals Alteration and Weathering. *Canadian Mineralogist*, Special publication 3. Ottawa: Mineralogical Association of Canada. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers09-05/010015437.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-05/010015437.pdf) (accedido 11 Junio 2020).

Fernandes, I., M. dos Anjos Ribeiro, M. A. T. M. Broekmans, y I. Sims. 2016. Petrographic Atlas: Characterization of Aggregates Regarding Potential Reactivity to Alkalis. RILEM TC 219-ACS Recommended Guidance AAR-1.2, for use with the RILEM AAR-1.1 Petrographic Examination Method. Dordrecht: Springer. <https://www.morawa.at/annotstream/2244009480038/PDF/Fernandes-Isabel/Petrographic-Atlas-Characterisation-of-Aggregates-Regarding-Potential-Reactivity-to-Alkalis.pdf> (accedido 11 Junio 2020).

Raith M. M., P. Raase, y J. Reinhardt. 2012. *Guide to Thin section Microscopy*, 2nd ed. Bonn: RRR Publications. [http://www.minsocam.org/msa/openaccess\\_publications/Thin\\_Sctn\\_Mcrscopy\\_2\\_rdc\\_d\\_eng.pdf](http://www.minsocam.org/msa/openaccess_publications/Thin_Sctn_Mcrscopy_2_rdc_d_eng.pdf) (accedido 11 Junio 2020).

Reedy, C. L. 2008. *Thin Section Petrography of Stone and Ceramic Cultural Materials*. London: Archetype Publications.

## Morteros

- Charola, A. E., y F. M. A. Henriques. 1999. "Lime Mortars. Some Considerations on Testing Standardization." En *The Use and Need for Preservation Standards in Architectural Conservation*, ed. L. B. Sickel-Taves, pp. 142-151, STP 1355. West Conshohocken, Pa: ASTM.
- Henriques, F. M. A., A. E. Charola, V. M. Rato, y P. F. Rodrigues. 2007. Morteros de Reposición su Rol en la Conservación. Parte I. *Habitat*, 53:74-84.
- Henriques, F. M. A., A. E. Charola, V. M. Rato, y P. F. Rodrigues. 2008. Morteros de Reposición su Rol en la Conservación. Última parte *Habitat*, 54:38-42.
- Lorenzo Mora, F., y B. Carrascosa Moliner. 2016-2017. Control In Situ de la Permeabilidad de Agua en Morteros de Cal con Aditivos Orgánicos, Empleados en la Reintegración de Estucos Mayas. *Arché*, 11-12:11-18. [Valencia, España: Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia.]
- Magadán, M. L. 1999. Recuperación de Revoques Símil piedra. Un Aporte a la Conservación de Nuestro Patrimonio Arquitectónico. *Habitat*, 23:28-33. <https://notasdepatririmonio.ar/> (accedido 20 Abril 2021).
- Magadán, M. L. 2000. Ciertas Cuestiones Teóricas sobre Símil Piedra, Edificios Históricos y Restauración. *Habitat*, 31:11-15. <https://notasdepatririmonio.ar/> (accedido 20 Abril 2021).
- Magadán, M. L. 2002. "Revoques Símil Piedra. Pautas para su Conservación y Restauración." En *1º Jornada de Técnicas de Reparación y Conservación del Patrimonio*. La Plata, Buenos Aires, Argentina: LEMIT Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica. <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/110> (accedido 12 Junio 2020).
- Magadán, M. L. 2017. Pautas para Restaurar Revestimientos Símil Piedra. [Guidelines for the Restoration of Mock-Stone Renders] *Color & Textura*, 127:14-21. <https://notasdepatririmonio.ar/> (accedido 20 Abril 2021).
- Technical Advice Notes 01. 2006. Preparation and Use of Lime Mortars. Edinburgh: Historic Environment Scotland. [https://www.historicenvironment.scot/archives-and-research/publications/?currPage=1&publication\\_type=42&publications\\_type=42](https://www.historicenvironment.scot/archives-and-research/publications/?currPage=1&publication_type=42&publications_type=42) (accedido 12 Junio 2020).

## Piedra

- Delgado-Rodrigues, J. 2001. "Consolidation of Decayed Stones. A Delicate Problem with Few Practical Solutions." En *Historical Constructions*, ed. P.B. Lourenço, y P. Roca, pp. 3-14. Guimarães, Portugal: Universidad de Minho. <http://www.hms.civil.uminho.pt/events/historica2001/> (accedido 15 Junio 2020).
- Dimes, F. G., y J. Ashurst. 2007. Conservation of Building and Decorative stone. Milton Park, Oxfordshire: Routledge Publishing.
- Doehne, E., y C. A. Price. 2010. Stone Conservation: An Overview of Current Research. Technical Report. Getty Conservation Institute. Los Angeles, Calif.: J. Paul Getty Trust.
- Odgers D., y A. Henry, eds. 2012. *Stone*. En *Practical Building Conservation*, ed. Historic England. Ashgate/Routledge Publishing.



Steiger, M., A. E. Charola, y Sterflinger, K. 2011. "Weathering and Deterioration." En *Stone in Architecture*, ed. S. Siegesmund y R. Snethlage, pp. 227-316. Berlin: Springer Verlag. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-14475-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14475-2_4)

Technical Advice Notes 18. 1999. The Treatment of Graffiti on Historic Surfaces. Edinburgh: Historic Environment Scotland [https://www.historicenvironment.scot/archives-and-research/publications/?currPage=1&publication\\_type=42&publications\\_type=42](https://www.historicenvironment.scot/archives-and-research/publications/?currPage=1&publication_type=42&publications_type=42) (accedido 15 Junio 2020).

Technical Advice Notes 25. 2002. Maintenance and Repair of Cleaned Stone Buildings. Edinburgh: Historic Environment Scotland. [https://www.historicenvironment.scot/archives-and-research/publications/?currPage=1&publication\\_type=42&publications\\_type=42](https://www.historicenvironment.scot/archives-and-research/publications/?currPage=1&publication_type=42&publications_type=42) (accedido 15 Junio 2020).

Technical Advice Notes 31. 2007. Stone Masonry Materials and Skills. Edinburgh: Historic Environment Scotland. [https://www.historicenvironment.scot/archives-and-research/publications/?currPage=1&publication\\_type=42&publications\\_type=42](https://www.historicenvironment.scot/archives-and-research/publications/?currPage=1&publication_type=42&publications_type=42) (accedido 15 Junio 2020).

# REFERENCIAS CITADAS

- ASTM 4214-97. 1997. Standard Test Methods for Evaluating the Degree of Chalking of Exterior Paint Films. West Conshohocken, Pa.: ASTM International.
- ASTM C67-00. 2000. Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile. West Conshohocken, Pa: ASTM International.
- ASTM C97/C97M-09. 2009. Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone. West Conshohocken, Pa: ASTM International.
- ASTM D3359-02. 2002. Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test. West Conshohocken, Pa: ASTM International.
- ASTM E 96/E 96M-05. 2005. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. West Conshohocken, Pa: ASTM International.
- Binda, L., y G. Baronio. 1985. Alteration of the Mechanical Properties of Masonry Prisms due to Aging. En *Proceedings of the 7th International Brick Masonry Conference*, ed. T. McNeilly y J. C. Scrivener, pp. 605–616. Melbourne: University of Melbourne.
- Bläuer Böhm, C., y E. Jägers. 1997. Analysis and Recognition of Dolomitic Lime Mortars. En *Roman Wall Paintings—Materials, Techniques, Analysis and Conservation*, ed. H. Béarat, M. Fuchs, M. Maggetti y D. Paunier, pp. 223–235. Fribourg, Switzerland: Institute of Mineralogy and Petrography, Fribourg University.
- Bläuer, C., y B. Rousset. 2014. Salt Sources Revisited. En *3rd International Conference Salt Weathering of Buildings and Stone Statues*, ed. H. De Clercq, pp. 305–318. Brussels: KIK-IRPA (Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium–Institut Royal du Patrimoine Artistique).
- Borrelli, E. 1999. *Porosity. ARC Laboratory Manual*. Rome: ICCROM (International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property). 1999. <https://www.iccrom.org/themes/heritage-science/resources/publications> (accedido 21 April 2021).
- Charola, A. E. 2000. Salts in the Deterioration of Porous Materials: An Overview. *Journal of the American Institute for Conservation*, 39(3): 327–343. <https://doi.org/10.1179/019713600806113176>
- Charola, A. E., y C. Bläuer. 2015. Salts in Masonry: An Overview of the Problem. *Restoration of Buildings and Monuments*, 21(4–6): 119–135. <https://doi.org/10.1515/rbm-2015-1005>
- Charola, A. E., y I. Rørig-Dalgaard. 2019. Conservation of Brick. Grove Art Online. <https://doi.org/10.1093/oao/9781884446054.013.2000000153>
- Charola, A. E., y E. Wendler. 2015. An Overview of the Water–Porous Building Materials Interactions. *Restoration of Buildings and Monuments*, 21(2–3): 55–65. <https://doi.org/10.1515/rbm-2015-2006>

- DeFreece Emery, S. N., y A. E. Charola. 2007. Coatings on Brick Masonry: Are They Protective or Can They Enhance Deterioration? *Journal of the American Institute for Conservation*, 46: 39-52.
- DIN EN 16322. 2013. *Erhaltung des kulturellen Erbes—Prüfverfahren—Trocknungsverhalten (Preservación del Patrimonio Cultural—Ensayos para el Comportamiento Durante el Secado)*. Berlin: Deutsches Institut für Normung E.V.
- Drdácký, M., J. Lesák, K. Niedoba, y J. Valach. 2015. Peeling Tests for Assessing the Cohesion and Consolidation Characteristics of Mortar and Render Surfaces. *Materials and Structures*, 48: 1947-1963.
- Drdácký, M., J. Lesák, S. Rescic, Z. Slízková, P. Tiano, y J. Valach. 2012. Standardization of Peeling Tests for Assessing the Cohesion and Consolidation Characteristics of Historic Stone Surfaces. *Materials and Structures*, 45: 505-520.
- Drdácký, M., y Z. Slízková. 2015. In Situ Peeling Tests for Assessing the Cohesion and Consolidation Characteristics of Historic Plaster and Render Surfaces. *Studies in Conservation*, 60(2): 121-130.
- Galván, S., C. Pla, N. Cueto, J. Martínez-Martínez, M. A. García-del-Cura, y D. Benavente. 2014. A Comparison of Experimental Methods for Measuring Water Permeability of Porous Building Rocks. *Materiales de Construcción*, 64(315): e028.
- Hecht, E. 1987. *Optics*, 2nd edición. Boston: Addison Wesley.
- Hern, C., y R. Snethlage. 1992. Water Vapour Permeability of Painted Stone. En *International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, ed. J. Delgado Rodrigues, F. Henriques y F. Telmo-Jeremias, pp. 677-686. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Jacob, J., y N. R. Weiss. 1989. Laboratory Measurement of Water Vapor Transmission Rates of Masonry Mortars and Paints. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, 21(3-4): 62-70.
- Liu, Y., y A. E. Charola. 2014. Hygric Behavior of Portland Sandstone as a Function of the Applied Water Repellent Formulation. En *Hydrophobe VII—7th International Conference on Water Repellent Treatment and Protective Surface Technology for Building Materials*, ed. A. E. Charola y J. Delgado Rodrigues, pp.161-170. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Livingston, R. A., y T. H. Taylor. 1998. Diagnosis of Salt Damage at a Smokehouse in Colonial Williamsburg. En *Conservation of Historic Brick Structures*, ed. S. Baer, S. Fitz y R. A. Livingston, pp. 445-456. Shaftesbury, UK: Donhead.
- RILEM (Réunion Internationale des Laboratoires D'essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions). 1980. Recommended Tests to Measure the Movement of Water. *Materials and Construction*, 13: 175-253.
- RILEM Test Method No. II.4. 1980. Water Absorption Under Low Pressure. *Materials and Construction*, 13: 200-204.
- RILEM Test Method No. II.4. 2015. Measurement of Water Absorption under Low Pressure (Revised). <https://www.prginc.com/Building%20Evaluation/Rilem%20Method%20-%20Revised%20-%20202.pdf> (accedido 21 April 2021).
- RILEM Test Method No. II.5. 1980. Evaporation Curve. *Materials and Construction*, 13: 205-207.

- RILEM Test Method No. II.6. 1980. Water Absorption Coefficient. *Materials and Construction*, 13: 209.
- Torraca, G., y P. Mora. 1965. Fissativi per Dipinti Murali. *Bollettino*. pp. 109-132. Rome: Istituto Centrale per il Restauro.
- UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) 10859. 2000. *Beni culturali. Materiali lapidei naturale ed artificiali. Determinazione dell'assorbimento d'acque per capillarità*. Milan: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- Weinstein, R., y J. Capen. 2014. Patch to Match. Art or Science. *Papyrus*, 15(3): 38-44.
- Wendler, E., y R. Snethlage. 1989. Der Wassereindringprüfer nach Karsten-Anwendung und Interpretation der Messwerte. *Bautenschutz + Bausanierung*, 12: 110-115.

