

INCIDENCIA DE LOS TRATAMIENTOS HIDROREPELENTES EN LA DURABILIDAD Y RESISTENCIA MECÁNICA EN MATERIALES CERÁMICOS DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO DEL URUGUAY

Mussio Gianella, Romay Carola, Mussio Graciela, Gepp Magdalena
Instituto de la Construcción, Facultad de Arquitectura, Udelar - Edil Hugo Prato 2314, Montevideo
patología-ice@farq.edu.uy, stabili@farq.edu.uy

Palabras clave: ladrillo cerámico, hidropelente, conservación patrimonial

RESUMEN

Gran parte del patrimonio arquitectónico del Uruguay, especialmente el edificado durante los siglos XVIII y XIX, ha sido construido utilizando ladrillos cerámicos macizos de fabricación artesanal, caracterizados por su gran heterogeneidad y elevada porosidad. Estos aspectos explican las patologías habitualmente detectadas en estos materiales, a partir de las cuales es esperable una disminución de su durabilidad y resistencia mecánica a lo largo del tiempo.

En el marco de un proyecto de investigación que desarrollan conjuntamente las Facultades de Arquitectura y de Ingeniería de la Universidad de la República, enfocado en la evaluación de las propiedades de durabilidad y resistencia mecánica de edificios en mampostería cerámica de carácter patrimonial, aplicando técnicas no destructivas, se ha evaluado el deterioro de dos clases de ladrillos sometidos a dos diferentes procesos de envejecimiento acelerado. Esto ha permitido evaluar cómo se afectan sus características cuando se encuentran en su estado natural o bajo la protección de un tratamiento hidropelente.

Los resultados obtenidos muestran con relación a las características de durabilidad analizadas, que el desempeño de los ladrillos tratados con hidropelente resulta significativamente mejor que el de los ladrillos sin tratamiento. Sin embargo, esta tendencia no se corresponde con la evolución de la respuesta mecánica, que difiere de acuerdo a la propiedad analizada, el tipo de ladrillo, la presencia o ausencia de hidropelente y el método de envejecimiento. Asimismo, en un análisis comparativo de los resultados con las características mecánicas y de durabilidad de una muestra de ladrillos históricos de más de 130 años de edad, puede advertirse claramente que la calidad de estos últimos resulta, a pesar de su larga edad, muy competitiva respecto a ladrillos de reciente fabricación.

INTRODUCCIÓN

Durante los siglos XVIII y XIX prevaleció en el desarrollo edilicio del Uruguay el empleo de la mampostería cerámica como alternativa tecnológica para materializar tanto los

componentes constructivos estructurales como de cerramiento y circulación (fachadas, tabiques, escaleras, etc.). Los ladrillos cerámicos artesanales de grandes dimensiones, (inicialmente traídos desde Buenos Aires y más tarde fabricados en grandes cantidades en los hornos de campo locales) aplicados con morteros de toma de arena y cal constituyeron en este sentido los materiales de construcción más comunes y de mayor difusión.

Esto explica el protagonismo de estos materiales en relación a los bienes que integran el acervo arquitectónico de esos siglos, el cual está integrado por un número significativo de edificios declarados de valor patrimonial a través de la figura de Monumento Histórico Nacional o Bien de interés municipal, en virtud de sus atributos arquitectónicos, formales, históricos y urbanos entre otros. Esta circunstancia, sumada a la edad de estos edificios y su estado de conservación ha desencadenado lógicamente en los últimos años el interés por determinar los procedimientos idóneos para su restauración y conservación, los cuales necesariamente requieren conocer las características físico-mecánicas que determinan su respuesta frente a las condiciones de servicio y los agentes agresivos que causan procesos patológicos. Para el caso de los ladrillos estas características resultan fuertemente influenciadas por su gran heterogeneidad y porosidad, derivadas fundamentalmente del método artesanal aplicado en su fabricación.

El estudio de estas características ha sido incorporado a los objetivos de diversos trabajos de investigación que actualmente lleva adelante el instituto de la Construcción de la Facultad de Arquitectura en conjunto con los institutos de Estructuras y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería, en la órbita de la Universidad de la República. Estos trabajos están dirigidos en particular al estudio a través de técnicas no destructivas y convencionales de algunas propiedades de durabilidad y resistencia mecánica, consideradas representativas de su desempeño. Se incluyen en este sentido ladrillos históricos extraídos de edificios declarados de valor patrimonial actualmente en proceso de intervención y ladrillos de reciente fabricación, disponibles en plaza y potencialmente aplicables como piezas de restitución en edificios patrimoniales.

Las propiedades de durabilidad consideradas se relacionan con la tasa inicial de absorción, la absorción total y la permeabilidad, mientras que entre las propiedades de resistencia mecánica han sido tenidas en cuenta la resistencia a compresión, la resistencia a la penetración y la dureza superficial. En todos los casos las determinaciones experimentales fueron obtenidas siguiendo los procedimientos normativos que rigen cada uno de los ensayos correspondientes. La muestra de ladrillos de reciente fabricación fue sometida en laboratorio a dos diferentes procesos acelerados de envejecimiento considerando los ladrillos en dos condiciones: en su estado natural y tratados con una protección en base a la aplicación de un producto hidropelente.

Los resultados experimentales alcanzados permiten evaluar la incidencia del deterioro provocado en las condiciones de laboratorio para cada uno de los tipos de ladrillos y comparar las mismas con el estado de conservación de ladrillos históricos. Complementariamente permiten establecer valores de referencia de estos materiales, los cuales a pesar de su extensa aplicación se fabrican y comercializan sin control técnico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales empleados refieren a ladrillos cerámicos macizos de producción artesanal, moldeados a mano y cocidos en hornos de campo, designados como: ladrillos colorados (LC), ladrillos plateados (LP) y ladrillos históricos (LH). Los dos primeros fueron escogidos teniendo en cuenta que el método de producción se asemeja a las condiciones de fabricación históricamente aplicadas en el país.

En el caso de LC y LP las piezas fueron adquiridas en Barracas de materiales de construcción que declararon haber adquirido los mismos a hornos de campo del departamento de Maldonado, en las proximidades de la ciudad de San Carlos. Los ladrillos LH por su parte fueron extraídos por el equipo de investigación de muros de carga del edificio Asilo Larrañaga construido entre 1873 y 1875, donde se construye actualmente la sede de la Facultad de Comunicación de la Universidad de la República; y del ala oeste en remodelación del Hospital Maciel cuya construcción se presume de la década de 1870. En la figura 1 pueden observarse las características de los diferentes ladrillos. La muestra de ensayo se compuso de 24 ladrillos LC, 24 ladrillos LP y 6 ladrillos LH. Estas cantidades responden al número de ejemplares requeridos por las normas de referencia aplicadas para las diferentes determinaciones, para el caso de LC y LP.

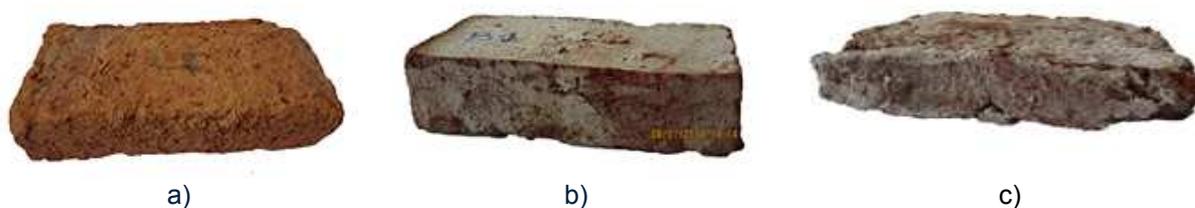


Figura 1: Diferentes ladrillos estudiados: a) LC, b) LP, c) LH

La tabla 1 señala las características dimensionales promedio de LC, LP y LH determinadas según la norma UN-EN 772-16 [1].

Tabla 1: Dimensiones LAC, LAP y LH (valores promedios).

Ladrillo	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)
LC	232	121	54
LP	235	115	53
LH	240	123	51

Para el tratamiento de protección se aplicó hidrorrepelente en base a resina de silicona incolora, vehiculizada en agua, de densidad 1,015kg/l, aplicada a pinceleta en dos capas sucesivas en todas las caras.

Para simular el envejecimiento, la muestra de ladrillos LC y LP fue sometida a dos procesos diferentes, [2]. El primero de ellos se basó en la implementación de ciclos sucesivos de hielo-deshielo, de 24 h de duración cada uno, manteniendo una temperatura de $-25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 8 h y $15^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 16 h. El segundo se basó en la implementación de ciclos sucesivos de humedad-sequedad, de 24 h de duración, manteniendo sumergidos en agua a temperatura de laboratorio los ladrillos durante 8 h y secando los mismos a $105^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 16 h.

Antes de iniciar los ciclos, la mitad de los ladrillos LC y LP fue tratada con el producto hidrorrepelente y mantenida en laboratorio por 24 h. En esta condición se realizó la caracterización inicial determinando tasa inicial de absorción (UNE-EN 772-11 [3]), absorción (UNE 67027 [4]), permeabilidad (NCh 2256/1[5]), dureza superficial y resistencia a la penetración. Al finalizar los ciclos se determinaron estas mismas características y se evaluó adicionalmente la resistencia a compresión según la norma UNE-EN 772-1 [6].

La dureza superficial fue determinada aplicando un martillo de rebote marca PROCEQ, tipo L, que aplica una energía equivalente a la tercera parte del equipo diseñado para hormigón. A los efectos de aplicar el impacto sobre el canto de los ladrillos, estos fueron inmovilizados aplicando sobre ellos un valor mínimo de precompresión. La resistencia

a la penetración fue evaluada utilizando el equipo Windsor Pin marca James Instrument, modelo W-P 2000. consistente en un dispositivo mecánico que utiliza un resorte para introducir un clavo de acero en el mampuesto, provocando la formación de una cavidad, cuya profundidad una vez determinada utilizando un micrómetro, es interpretada como la resistencia a la penetración del material [7]. En este caso, igual que con el esclerómetro el disparo fue realizado sobre el canto de los ladrillos precomprimidos. El ensayo de resistencia a compresión se realizó con maquina de carga clase 1, de capacidad máxima 100 tonf. La permeabilidad por su parte fue determinada utilizando los tubos karsten que definen un área de contacto con el mampuesto equivalente a 4,9 cm². La figura 2 muestra la aplicación de los diferentes equipos durante los ensayos.

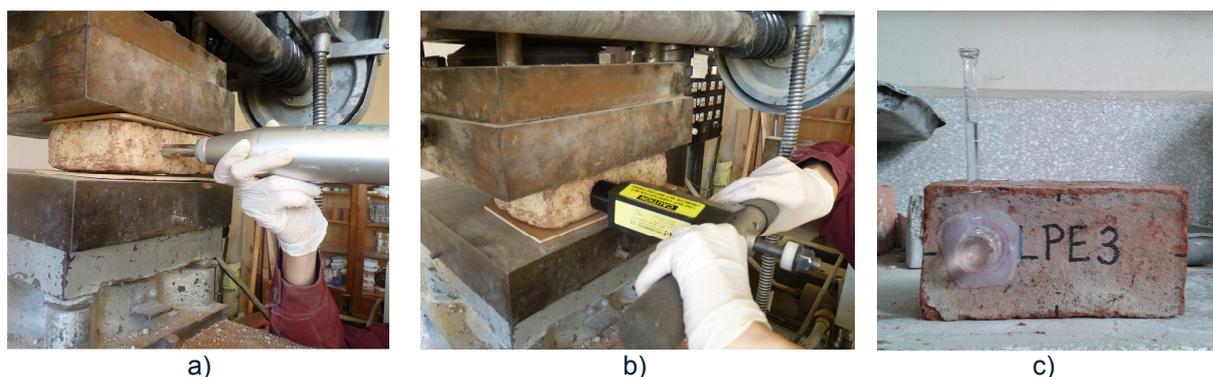


Figura 2: Ejecución de ensayos: a) dureza superficial (esclerómetro), b) resistencia a la penetración, (Windsor Pin) y c) permeabilidad (tubo karsten).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización de los ladrillos LP, LC y LH en relación a las propiedades físicas: tasa inicial de absorción (indicador de la capilaridad), absorción y permeabilidad (solo para LC y LP), se presentan en las tablas 2 y 3, a partir de los valores promedio obtenidos de la muestra ensayada y en las figuras 3 y 4.

Tabla 2: Caracterización inicial y final: tasa inicial de absorción, absorción.

Ciclos humedad sequedad	Tasa inicial absorción kg/(m ² .min)		Absorción (%)	
	inicial	final	inicial	final
LC sin tratar	8,21	9,01	23,4	23,9
LC tratado	1,27	0,68	13,6	15,1
LP sin tratar	4,63	4,88	22,6	20,1
LP tratado	0,21	0,13	14,9	13,2
Ciclos hielo deshielo	inicial	final	inicial	final
LC sin tratar	6,58	7,60	21,0	24,2
LC tratado	0,59	0,06	15,5	14,7
LP sin tratar	1,45	1,91	18,7	18,1
LP tratado	0,21	0,18	16,0	15,2

Tabla 3: Caracterización inicial y final: permeabilidad (valores acumulados).

	Permeabilidad inicial (ml)						Permeabilidad final (ml)					
	5min	10min	15min	20min	30min	60min	5min	10min	15min	20min	30min	60min
LC s/tratar	76,8	104,0	125,0	146,4	185,7	246,4	32,1	57,1	82,1	107,1	146,4	242,9
LC tratado	1,1	2,1	2,9	3,7	6,5	10,4	10,71	21,43	32	42,9	60,7	110,7
LP s/tratar	18,0	25,0	32,0	37,5	53,6	67,3	10,7	21,4	32,1	39,3	60,7	110,7
LP tratado	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

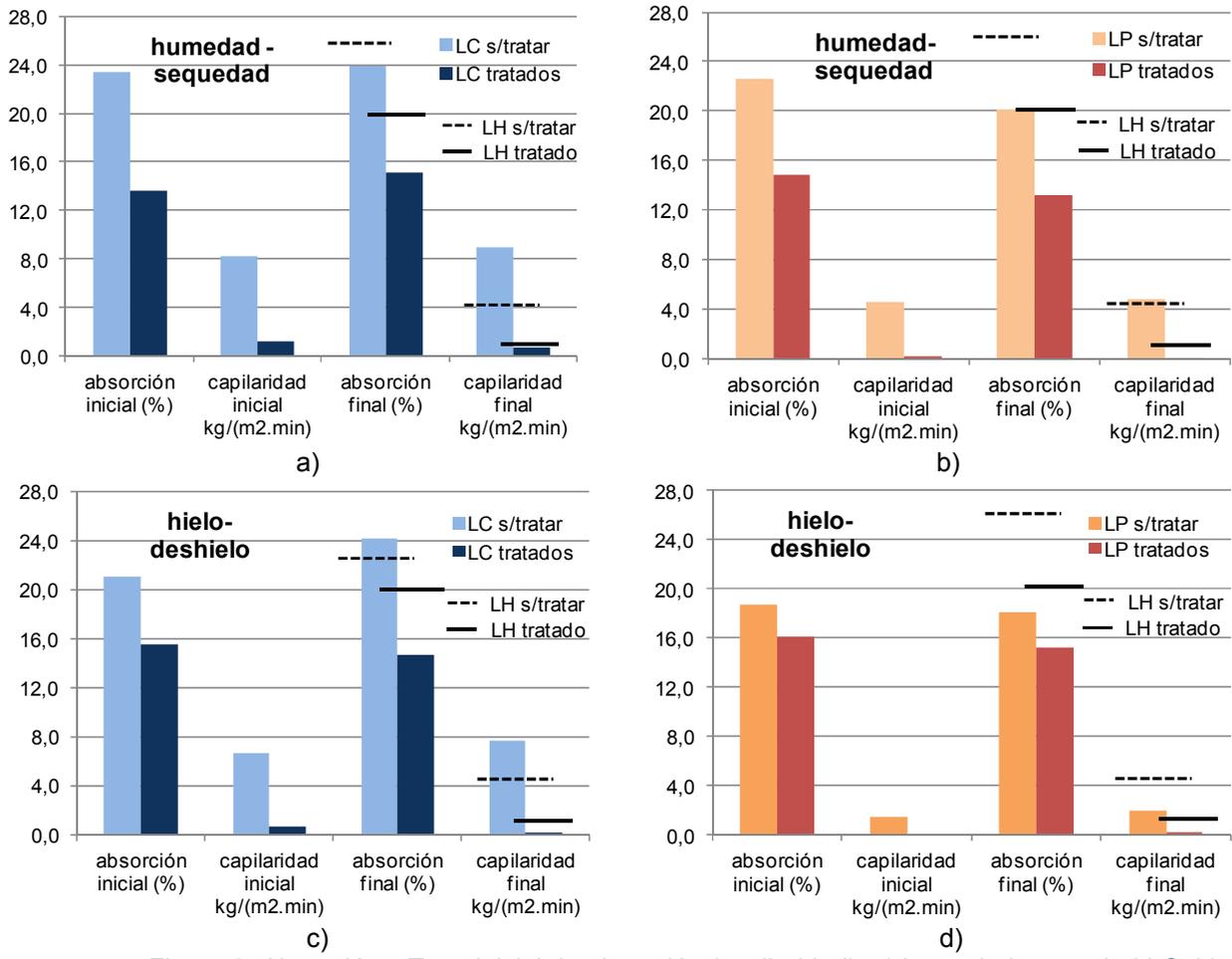


Figura 3: Absorción y Tasa inicial de absorción (capilaridad): a) humedad sequedad LC, b) humedad sequedad LP, c) hielo deshielo LC y d) hielo deshielo LP.

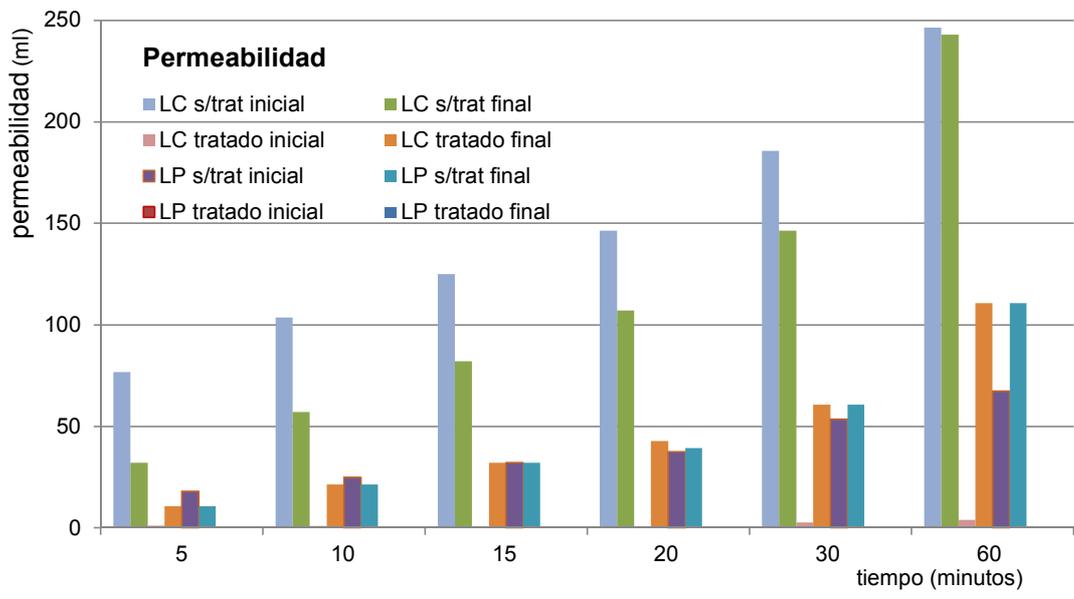


Figura 4: Permeabilidad inicial y final

A partir de estos resultados puede observarse que:

- con relación a la Absorción, en todos los casos, antes y después del envejecimiento se advierte que los valores alcanzados fueron significativamente menores para los ladrillos

tratados con hidrorrepelente frente a los no tratados. En el estado inicial los ladrillos LP muestran una relación (ladrillo sin tratar/ladrillo tratado) de 1/0,72. Para el caso de los ladrillos LC esta relación es mayor y equivale a 1/0,66. En el estado final los ladrillos LP mantienen una relación (ladrillo sin tratar/ladrillo tratado) de 1/0,66 para los sometidos a ciclos sequedad humedad y de 1/0,84 para los sometidos a hielo deshielo; mientras que para los ladrillos LC estas mismas relaciones alcanzan valores de 1/0,63 y 1/0,61. De esto puede inferirse que el ciclo sequedad humedad vuelve más acusada la diferencia entre ladrillos tratados y sin tratar en los ladrillos LP, lo que no puede afirmarse para LC dado el similar comportamiento detectado en ambos procesos de envejecimiento.

En valores absolutos en el caso de ladrillos LC ambos procesos de envejecimiento provocaron un aumento de la absorción para los ladrillos sin tratar. Sin embargo los ladrillos tratados y sometidos a hielo deshielo muestran una reducción de la absorción de 5%.

- con relación a la Tasa inicial de absorción también resulta significativamente menor en el caso de los ladrillos tratados respecto a los sin tratar en su estado inicial, tanto para LP como para LC. La relación alcanzada es de 1/0,06 y 1/0,12 respectivamente. Superados los ciclos de envejecimiento la relación alcanza para los ladrillos LP sometidos a ciclos sequedad humedad el valor de 1/0,02 y de 1/0,10 en el caso de ciclos hielo deshielo. En idénticas condiciones para los ladrillos LC los valores respectivos son de 1/0,08 y 1/0,10. Se advierte así que la diferencia de comportamiento entre ladrillos tratados y sin tratar es más acusada para LP sometidos a humedad sequedad y menos acusada para hielo deshielo respecto de la condición inicial. Para LC el comportamiento diferenciado entre ladrillos sin tratar y tratados es más acusado para ciclos humedad sequedad que para hielo deshielo.

En valores absolutos y en el caso de ladrillos LC, la tasa inicial de absorción se incrementó para todos los ladrillos sin tratar y los resultados de los ladrillos tratados si bien muestran una variación se mantienen en términos absolutos en valores de mínima cuantía por lo que puede inferirse que no se ve alterado el comportamiento frente a esta propiedad. Los LP muestran igual tendencia a excepción de los ladrillos tratados sometidos a ciclos humedad sequedad, pero cuyos valores vuelven a resultar de mínima cuantía, por lo que la reducción puede considerarse despreciable.

- con relación a la permeabilidad, los ladrillos tratados, ya sea LC o LP presentan valores prácticamente nulos, mostrando la efectividad del hidrorrepelente. En el estado final, para el caso de los ladrillos LP la permeabilidad aumenta para los no tratados, mientras que para los tratados la permeabilidad se mantiene nula. En los LC la permeabilidad aumenta en ambos casos pero con un mejor desempeño para los ladrillos tratados.

En la figura 5 se muestran los resultados de penetración y en la tabla 4 se indican además los resultados de dureza superficial y resistencia a la compresión. Se informan los valores promedio obtenidos de la muestra ensayada.

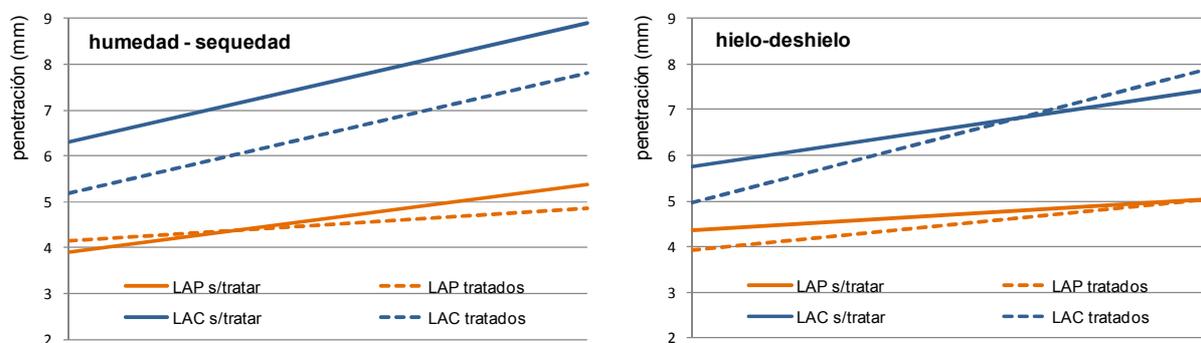


Figura 5: Penetración inicial y final

Tabla 4: Caracterización mecánica: dureza superficial, penetración y resistencia a compresión

	Dureza superficial (n.º rebotes)		Penetración (mm)		Resist. a la compresión (MPa)	
	inicial	final	inicial	final	inicial	final
Ciclos humedad sequedad						
LC sin tratar	20,0	15,5	6,3	8,9	6,15	5,13
LC tratado	14,9	14,8	5,19	7,82		5,11
LP sin tratar	18,3	19,8	3,89	5,39	10,21	11,99
LP tratado	20,5	23,1	4,16	4,86		12,73
Ciclos hielo deshielo						
LC sin tratar	15,8	12,3	5,75	7,46	6,15	5,83
LC tratado	18,4	17,7	4,97	7,92		4,89
LP sin tratar	20,8	24,6	4,37	5,03	10,21	10,13
LP tratado	19,8	23,6	3,91	5,03		10,34
Envejecimiento natural						
LH	28		4,57		11,16	

A partir de estos resultados puede observarse que:

- con relación a la dureza superficial, los resultados indican en los LC una disminución respecto del valor inicial en ladrillos tratados y sin tratar y para ambos procesos de envejecimiento. Dicha variación se acusa más en los ladrillos sin tratar. Por el contrario, en el caso de los ladrillos LP se registra un aumento de la dureza superficial independiente del tratamiento. Es posible observar además que los LP presentan en el estado inicial un mejor desempeño respecto a los LC, cuantificable en 7% para los ladrillos sin tratar y 21% para los tratados. Finalizados los ciclos se advierte que los LP sin tratar, sometidos a los ciclos de humedad sequedad, tienen un desempeño superior en 28% y los tratados este valor es de 56%. En tanto para los ciclos de hielo deshielo en el caso de los ladrillos sin tratar el aumento es del 100% y para los tratados del 34%. Se advierte que este análisis ha sido realizado en base a valores promedio dado que los valores individuales muestran una elevada variabilidad.

- con relación a la penetración, los valores aumentaron en los dos tipos de ladrillos tratados y sin tratar y en ambos ciclos de envejecimiento, lo que implica una menor resistencia a la penetración. Para el caso de los ladrillos LC sometidos a humedad sequedad, el aumento de penetración se cuantifica en un 41% para ladrillos sin tratar y 50% para ladrillos tratados, mientras que para los sometidos a ciclos hielo deshielo estos aumentos son de 30% y 59%, según se trate de ladrillos sin tratar o tratados respectivamente. Para el caso de los ladrillos LP sometidos a humedad sequedad, el aumento se cuantifica en un 39% para ladrillos sin tratar y 72% para ladrillos tratados, mientras que para los sometidos a ciclos hielo deshielo estos aumentos son de 15% y 28%, según se trate de ladrillos sin tratar o tratados respectivamente. Puede observarse en ambos tipos de ladrillos y ciclos de envejecimiento que los ladrillos tratados presentaron este aumento de penetración, implicando un peor desempeño que los ladrillos sin tratar.

- con relación a la resistencia a compresión se puede observar en primer lugar que la diferencia entre ambas clases de ladrillos se mantiene y que resulta más acentuada que la que se infiere de los valores testigos obtenidos previamente como referencia. Tomando como valor el promedio de los resultados obtenidos de ladrillos LC y LP (tratados y sin tratar) se observa que la relación de referencia (resistencia LP/Resistencia LC) aumenta del valor 1,66 a 2,15, lo que indica que los ciclos de envejecimiento hacen más notoria la diferencia de calidad entre ambas clases de ladrillos. Los valores absolutos muestran que los ladrillos más afectados son los LC tratados sometidos a hielo deshielo y los LP sin tratar sometidos a hielo deshielo. En comparación con los ladrillos históricos, que se consideran envejecidos naturalmente, puede advertirse que tanto en el estado inicial como luego del

envejecimiento en laboratorio los ladrillos LC actuales presentan una resistencia sensiblemente inferior, mientras que los ladrillos LP pueden considerarse equivalentes.

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido realizar algunas constataciones: verificar que el comportamiento de los ladrillos artesanales colorados es muy inferior respecto al plateado en su estado inicial y final; comparando los resultados de los ladrillos históricos con los finales de los ladrillos analizados observar que los primeros presentan un desempeño mejor que los LC y similar a los LP a pesar de su edad, inferir de las técnicas aplicadas que existe una cierta correspondencia entre las determinaciones de absorción y dureza superficial así como entre tasa inicial de absorción y resistencia a la penetración.

Se concluye que el tratamiento con hidrorrepelente contribuye a un mejor desempeño de los ladrillos tratados sometidos a hielo deshielo con relación a la absorción, la tasa inicial de absorción y a la resistencia a la penetración.

Respecto a la campaña experimental llevada a cabo, corresponde mencionar, que si bien la cantidad de ejemplares respondió a los criterios normativos, la misma debería ser ampliada dada la heterogeneidad de los ladrillos por su carácter artesanal. En cuanto a los ensayos no destructivos referidos a propiedades mecánicas, se advierte que el esclerómetro plantea dificultades operativas (reducida área de aplicación y dificultad para mantener una precompresión homogénea). Esto puede explicar la variabilidad de los resultados obtenidos.

En síntesis, en función de los desafíos que plantea la conservación del patrimonio construido en ladrillo visto, se considera que el presente trabajo contribuye a la evaluación de los productos de protección y merece ser profundizado en investigaciones futuras.

REFERENCIAS

- [1] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). "Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 16: Determinación de las dimensiones". UNE-EN 772-16. 2001.
- [2] Cultrone G. "Estudio mineralógico – petrográfico y físico mecánico de ladrillos macizos para su aplicación en intervenciones del patrimonio histórico". Tesis de doctorado, Director Torre López y otros. Universidad de Granada. España, 2001.
- [3] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). "Piezas para fábrica de albañilería. Parte 11. Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería y de la tasa inicial de agua". UNE-EN 772-11. 2001.
- [4] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) "Ladrillo de arcilla cocida. Determinación de la absorción de agua". UNE 67027. 1984.
- [5] Instituto Nacional de Normalización de Chile. Morteros- Parte 1 Requisitos generales. NCh 2256/1, 2013.
- [6] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). "Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión". UNE-EN 772-1. 2011.
- [7] Morquío, A. et. al. "Evaluación y control de estructuras del patrimonio arquitectónico nacional en mampostería cerámica aplicando técnicas no destructivas". Informe final de Investigación, Comisión Sectorial de Investigación Científica, Universidad de la República. Montevideo, 2015.