

Ensayo de investigación

Pérdida de peso mediante ensayo de heladicidad en la laja tipo Salmón procedente de San José de Gracia, Molcaxac, Puebla, México

Recibido: 12-03-2020 Aceptado: 16-11-2020 (Artículo Arbitrado)

Resumen

El estudio tuvo como propósito determinar el porcentaje de pérdida de peso en la laja tipo Salmón extraída de la cantera ubicada en San José de Gracia, mediante un ensayo de heladicidad. Para este ensayo se aplicó el procedimiento de la norma UNE-EN 12371:2011 utilizando 12 probetas cúbicas con dimensión de 50 ± 0.5 mm. El ensayo consistió en 15 ciclos consecutivos de 24 horas en cada ciclo donde las probetas se enfriaron en cámara frigorífica a -15°C durante 16 horas, después reposaron a temperatura ambiente durante 2 horas y finalmente se sumergieron en agua destilada durante 6 horas. El resultado muestra que la laja tipo Salmón tiene un porcentaje promedio de pérdida de peso de 0.38%. En conclusión, la laja tipo Salmón presenta una baja pérdida de peso por lo que se recomienda su uso en lugares de clima frío; sin embargo, es conveniente el uso de hidrofugantes o selladores cuyas propiedades ayuden a repeler el agua para que mitigue las afectaciones a las cualidades estéticas teniendo una mayor durabilidad.

Abstract

The purpose of the study was to determine the percentage of weight loss in the Salmon-type slate extracted from a quarry located in San José de Gracia by means of a freeze-thaw test. The procedure for the UNE-EN 12371:2011 standard was applied for the freeze-thaw test using 12 cubic specimens with a dimension of 50 ± 0.5 mm. The test consisted of 15 consecutive cycles with each cycle lasting 24 hours, with the specimens then cooled in a cold room at -15°C for 16 hours and rested at room temperature for 2 hours before finally being immersed in distilled water at room temperature for 6 hours. The results showed that Salmon-type slate had an average weight loss percentage of 0.38%. In conclusion, Salmon-type slate has low weight loss, meaning that its use in places with cold weather is recommended. However, the use of water repellent or sealants whose properties help to repel water is recommended, creating waterproof and moisture-free surfaces to reduce the impact on aesthetic qualities while having greater durability.

Résumé

Le but de l'étude était de déterminer le pourcentage de perte de poids dans la plaque de type Salmon extraite de la carrière située à San José de Gracia, au moyen d'un test de congélation. Pour cet essai, la procédure de la norme UNE-EN 12371: 2011 a été appliquée à l'aide de 12 éprouvettes cubiques d'une dimension de $50 \pm 0,5$ mm. Le test consistait en 15 cycles consécutifs de 24 heures dans chaque cycle où les échantillons ont été refroidis dans une chambre froide à -15°C pendant 16 heures, puis ils ont été maintenus à température ambiante pendant 2 heures et finalement ils ont été immergés dans de l'eau distillée pendant 6 heures. Le résultat montre que la dalle Salmon a un pourcentage moyen de perte de poids de 0,38%. En conclusion, la dalle de type Salmon a une faible perte de poids, son utilisation est donc recommandée dans les endroits à climat froid; cependant, il est commode d'utiliser des hydrofuges ou des mastics dont les propriétés aident à repousser l'eau de sorte qu'il atténue les effets sur les qualités esthétiques tout en ayant une plus grande durabilité.

Adolfo Manuel Morales Tassinari*
María Esperanza Velasco Ordóñez
Claudia Domínguez Olmos

Palabras clave: Ensayo de heladicidad, laja tipo Salmón, pérdida de peso.

Keywords: Freeze-thaw test, Salmon type slate, weight loss.

Mots-clés: Test de congélation, plaque de Saumon, perte de poids.

Instituto Tecnológico Superior de
Texepi de Rodríguez

Tecnológico Nacional de México

Correspondencia:

*tassinari.adolfo1973@gmail.com

Introducción

Para Orozco-Centeno, Branch y Jiménez-Builes (2014) una roca es una agrupación inorgánica de uno o varios minerales originados en forma natural por procesos geológicos endógenos o exógenos; por lo que, Navarrete et al., (2013) mencionan que la proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica. De acuerdo con Tarbuck y Lutgens (2005) las rocas se clasifican por su origen en: a) rocas ígneas, formadas conforme se enfría y solidifica la roca fundida llamada magma; b) rocas sedimentarias, formadas por partículas mediante la meteorización mecánica o química de

otras rocas que son depositadas en lagos, valles de ríos, mares y otros lugares hasta que se sedimentan; c) rocas metamórficas, son formadas a partir de otras rocas mediante temperaturas y presiones elevadas.

Un tipo de roca metamórfica es la pizarra o laja definida por la *American Society for Testing and Materials* (2016) como una roca metamórfica microcristalina comúnmente derivada del esquisto y compuesta por mica, clorita y cuarzo; así, los minerales micáceos tienen una orientación subparalela y, por lo tanto, imparten una fuerte escisión a la roca que permite que se divida en láminas delgadas pero resistentes. Para Tarbuck y Lutgens (2005) la laja es una roca de textura foliada de grano muy fino (menos de 0.5 milímetros); por lo tanto, en general su superficie es lisa y sin brillo.

Desde hace mucho tiempo, la laja ha sido utilizada como material de revestimiento en fachadas de casas y edificios, también suele usarse como piso en patios de jardines; además, algunas lajas son empleadas como piezas decorativas en mesas de centro y paredes. Es conveniente subrayar que el *Marble Institute of America* (2016) declara que la laja de grado arquitectónico debe de estar libre de grietas, costuras, comienzos u otros rasgos que puedan afectar su integridad estructural o función; además, comenta que las variaciones inherentes del color de la cantera de la que se extrae son aceptables.

Villanueva (2010) menciona que las explotaciones de la laja a cielo abierto se realizan mediante desmonte con maquinaria, perforación y voladura; de esta forma, la laja se separa con cuñas y otras herramientas clasificándose por tamaños, grosores y, en ciertos casos, se cortan y dimensionan empleando discos diamantados. Los colores de la laja son variados desde el gris y ocre hasta el marrón; además, existen en colores azules, rojos, negros y verdes. En la localidad de San José de Gracia, existen canteras de laja tipo Salmón que es de color naranja salmón; en la Figura 1a) se muestra una cantera de laja tipo Salmón, y en la Figura 1b) se muestra la superficie de la laja tipo Salmón.

Para Ponce (2010) el uso creciente de las rocas como material de revestimiento tanto en edificios como en obras ornamentales impulsa los estudios destinados al análisis y comprensión de los procesos vinculados a la alterabilidad. Además, De Rosario y Feijoo (2016) argumentan que en el deterioro de la

piedra influyen dos tipos de factores de alteración: los factores intrínsecos (naturaleza, composición y propiedades) y los factores extrínsecos (medio ambiente y agentes externos); por lo tanto, estos factores determinarán el mecanismo de alteración que afecta al material puesto en obra.

Dicho lo anterior, un ensayo acelerado para medir la alterabilidad de las piedras es el ensayo de heladicidad que según Benavente, Bernabéu y Cañaveras (2004) tiene como objeto conocer el efecto de los procesos relacionados con la saturación de agua y el enfriado de los materiales pétreos simulando los días fríos; es decir, este ensayo simula un mecanismo de deterioro que se trata del congelamiento del material al ser expuesto a ciclos de enfriamiento. Como consecuencia, Alonso (2011) atribuye los daños principalmente a la acción mecánica del hielo, resultado del incremento del volumen por la transformación del agua en hielo dentro de las reducidas dimensiones del sistema poroso; por lo tanto, los daños son debido a procesos de fisuración, dando como desenlace la fragmentación y rotura del material.

Se debe agregar que Momeni et al., (2015), mencionan que la acción de congelación-descongelación es uno de los agentes meteorológicos físicos más potentes que puede limitar la durabilidad de una roca; mientras que, Molina (2017) sugiere que el efecto de las heladas en la roca se produce por el aumento de volumen de un 8% que sufre el agua que ocupa los poros de la roca cuando se congela, ejerciendo una presión sobre las paredes interiores de los poros que puede llegar a disgregar la roca.

Cabe señalar que el ensayo de heladicidad se ha utilizado para determinar diferencias en propiedades físicas y mecánicas de las rocas, tal es el caso de Ryu y Song (2012) que estudiaron el basalto de Corea obteniendo una pérdida en su dureza Shore del 0.51%; mientras que, Martins et al., (2015) ensayaron el granito del Valle de Foz Tua al noreste de Portugal determinando una pérdida en su resistencia a la compresión del 37%. En el caso de Lourdes, Panova y Bellopede (2017) investigaron el granito tipo Rapakivi de Finlandia teniendo una pérdida en su resistencia a la flexión del 2%; además, Jiang (2018) determinó que la andesita mostró un incremento en su porosidad de entre 149.0% a 188.97%, una pérdida en su resistencia a la compresión del 39.4% y una pérdida en su módulo de elasticidad del 47.46%. También, Su-Ran et al.,

(2019) concluyeron que el mármol tipo Tonalite tiene una pérdida en su módulo de elasticidad del 13.4%.

En consecuencia, las rocas utilizadas como material de construcción expuestas a condiciones ambientales de bajas temperaturas presentan afectaciones en sus propiedades; por lo que, determinar cómo se verán dañadas, facilita la comprensión sobre el comportamiento que se observará una vez puesta en obra. Además, es importante evaluar la susceptibilidad de la laja a las bajas temperaturas, debido a que el deterioro sufrido por este mecanismo amenaza las propiedades estéticas. Es por esto que, el presente estudio muestra los resultados obtenidos del porcentaje de pérdida de peso de la laja tipo Salmón de la cantera ubicada en la localidad de San José de Gracia, mediante un ensayo de heladicidad aplicando el procedimiento de la norma UNE-EN 12371:2011 Métodos de ensayo en piedra natural: Determinación de la resistencia a la heladicidad que consisten en un periodo de congelación seguido de un periodo de descongelación en agua (AENOR, 2011).

Desarrollo

El ensayo de heladicidad se realizó en el Laboratorio de Ciencias e Investigación en Materiales (LACIIM) del Centro de Competitividad y Tecnología para la Industria del Mármol del Estado de Puebla (CECO-TIMEP) perteneciente al Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez (ITSTR) del Tecnológico Nacional de México (TecNM). Además, los equipos y materiales empleados para la realización del ensa-

yo de heladicidad fueron: horno de secado, cámara frigorífica, pulidora de muestras, báscula digital con precisión de 0.01 g, vernier digital con precisión de 0.01 mm, contenedor de plástico con capacidad de 16 L, lijas con tamaño de grano 220 y 400, 100 litros de agua destilada y 12 probetas cúbicas de laja tipo Salmón con dimensión de 50 ± 0.5 mm en cada lado cortadas mediante disco de corte diamantado.

Obtención y selección de las probetas

De la cantera se tomaron muestras al azar de la laja de acuerdo al color salmón característico y con espesores variados; después, las muestras se cortaron con una máquina cuadreadora logrando obtener 30 probetas cúbicas con dimensión de 50 ± 0.5 mm en cada lado. Para seleccionar las probetas para el ensayo de heladicidad, se midieron en cada cara utilizando un vernier digital; por lo que, se seleccionaron 12 probetas que tuvieran el color característico salmón y que su dimensión fuera de 50 ± 0.5 mm en cada lado. En la Figura 2, se muestra la medición en una cara de una probeta.

Preparación de las probetas

Para eliminar las imperfecciones de las probetas debidas al proceso de corte, se utilizó una pulidora de muestras donde las probetas se lijaron y se pulieron; después, a las 12 probetas se les asignó un número para que se identificaran durante el ensayo de heladicidad. En la Figura 3a), se muestra el pulido en seco de una probeta; mientras que en la Figura 3b), se muestran las probetas con el número de identificación.

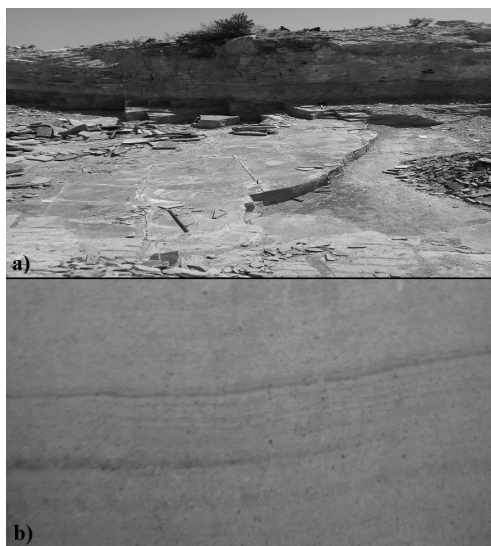


Figura 1. a) Cantera de la laja tipo Salmón; b) Superficie de la laja tipo Salmón.

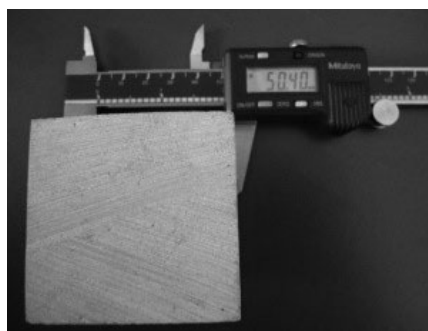


Figura 2. Medición en una cara de una probeta.

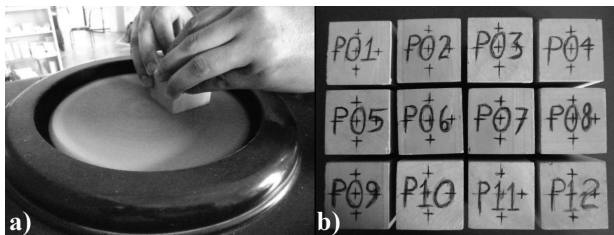


Figura 3. a) Pulido de una probeta; b) Probetas con número de identificación.

Secado inicial de las probetas

Para el secado inicial (después del pulido) se precalentó el horno de secado a una temperatura de 60 °C; después, se colocaron las 12 probetas dentro del horno de secado a una temperatura de 60 ± 2 °C durante 48 horas. Para garantizar que las 12 probetas estuvieran secas, se pesaron con una báscula digital hasta que las probetas tuvieran peso constante, esto se obtuvo en las horas 46, 47 y 48; de esta manera, como en estas tres horas consecutivas el peso de las probetas fue el mismo, se consideró que las probetas habían obtenido el peso seco inicial. En la Figura 4a), se muestra el secado inicial de las probetas y en la Figura 4b), se muestra el peso seco inicial de la probeta P01. En la Tabla 1, se muestran los pesos secos iniciales (después del pulido) de las 12 probetas de laja tipo Salmón.

Saturación de las probetas

Las 12 probetas se saturaron con agua destilada a temperatura ambiente durante 48 horas. Para asegurar que las 12 probetas quedaran saturadas, fueron pesadas en la hora 46, hora 47 y hora 48; por lo tanto, como en estas tres horas consecutivas las probetas no variaron en su peso, se consideró que las probetas habían obtenido el peso saturado. En la Figura 5a), se muestran las probetas inmersas en agua destilada; mientras que en la Figura 5b), se muestra el peso saturado de la probeta P01. En la Tabla 2, se muestran los pesos saturados de las 12 probetas de laja tipo Salmón.

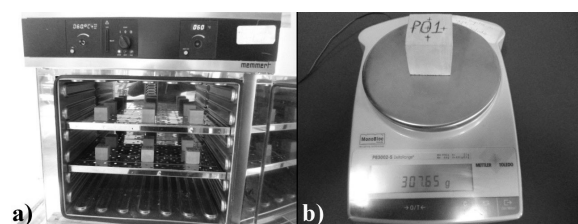


Figura 4. a) Secado inicial de las probetas; b) Peso seco inicial de la probeta P01

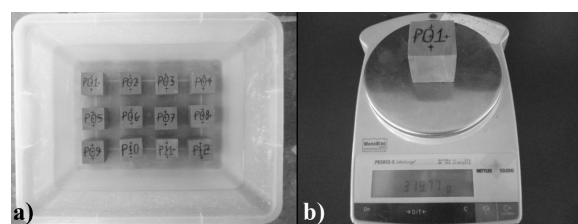


Figura 5. a) Probetas inmersas en agua destilada; b) Peso saturado de la probeta P01.

Ciclos del ensayo de heladicidad

Una vez obtenido el peso saturado de las 12 probetas, se inició el ciclo del ensayo de heladicidad; para esto, las 12 probetas saturadas se enfriaron en una cámara frigorífica a una temperatura de -15 ± 2 °C durante 16 horas. Posteriormente, las probetas se sacaron de la cámara frigorífica y se pesaron con una báscula digital; además, se dejaron a temperatura ambiente por un periodo de 2 horas, con el fin de prevenir que las probetas sufrieran un choque térmico superficial. Finalmente, las probetas se sumergieron en un contenedor con agua destilada durante 6 horas. De esta forma se completó un ciclo de 24 horas. El ciclo del ensayo de heladicidad que se muestra en la Figura 6 se realizó durante 15 ciclos consecutivos, en el que cada ciclo duró 24 horas. De la Tabla 3 a la Tabla 5, se muestran los valores del peso frío en cada ciclo de prueba.

Tabla 1. Peso seco inicial de las probetas.

Número de Probeta	Peso Seco Inicial MO (gr.)
P01	307.65
P02	296.67
P03	307.03
P04	296.78
P05	297.37
P06	302.70
P07	300.99
P08	298.45
P09	305.46
P10	308.21
P11	294.67
P12	298.24

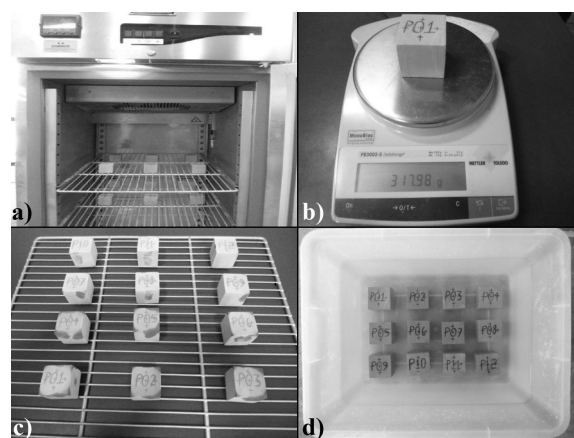


Figura 6. Ciclo del ensayo de heladicidad: a) Enfriado; b) Pesado; c) Ambiente; d) Inmersión.

Tabla 2. Peso saturado de las probetas.

Número de Probeta	Peso Saturado (gr.)
P01	319.77
P02	307.51
P03	318.05
P04	308.32
P05	309.26
P06	313.76
P07	312.99
P08	310.22
P09	316.88
P10	320.77
P11	305.28
P12	318.76

Tabla 3. Peso frío del ciclo 1 al ciclo 5.

Número de Probeta	Peso Frío (gr.)				
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5
P01	317.98	317.98	317.87	317.63	317.44
P02	305.93	305.88	305.79	305.51	305.38
P03	316.43	316.31	316.24	315.96	315.85
P04	306.60	306.59	306.54	306.51	306.46
P05	307.66	307.45	307.43	307.18	307.09
P06	312.16	311.98	311.94	311.70	311.60
P07	311.36	311.19	311.11	310.88	310.84
P08	308.50	308.29	308.23	308.06	308.02
P09	314.92	314.68	314.59	314.46	314.36
P10	319.14	318.99	318.95	318.71	318.57
P11	304.56	304.53	304.51	304.24	304.20
P12	309.13	309.04	309.03	308.69	308.68

Tabla 4. Peso frío del ciclo 6 al ciclo 10.

Número de Probeta	Peso Frío (gr.)				
	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10
P01	316.81	316.59	316.13	316.11	316.09
P02	304.86	304.74	304.47	304.36	304.31
P03	315.28	315.11	314.89	314.79	314.77
P04	306.03	305.25	305.17	305.10	305.00
P05	306.45	306.15	306.01	305.90	305.88
P06	311.06	310.89	310.56	310.52	310.51
P07	310.26	310.18	309.75	309.67	309.65
P08	307.50	307.25	306.85	306.80	306.76
P09	313.99	313.68	313.61	313.32	313.18
P10	317.90	317.66	317.41	317.39	317.27
P11	303.69	303.34	303.14	303.04	303.04
P12	308.13	307.77	307.47	307.44	307.38

Tabla 5. Peso frío del ciclo 11 al ciclo 15.

Número de Probeta	Peso Frío (gr.)				
	Ciclo 11	Ciclo 12	Ciclo 13	Ciclo 14	Ciclo 15
P01	316.03	315.92	315.90	315.63	314.09
P02	304.27	304.22	304.15	304.03	302.70
P03	314.75	314.71	314.54	314.39	313.17
P04	304.88	304.86	304.76	304.59	302.88
P05	305.87	305.82	305.64	305.52	303.95
P06	310.49	310.49	310.25	310.05	308.82
P07	309.63	309.49	309.37	309.15	307.75
P08	306.63	306.62	306.43	306.25	304.77
P09	313.09	313.07	312.85	312.66	311.42
P10	317.27	317.23	316.93	316.76	315.24
P11	302.99	302.82	302.63	302.42	301.08
P12	307.28	307.26	306.94	306.65	305.32

Secado final de las probetas

Para el secado final, se precalentó el horno de secado a una temperatura de 60 °C; después, se colocaron las 12 probetas dentro del horno de secado a una temperatura de 60 ± 2 °C durante 48 horas. Para verificar que las 12 probetas quedaran secas, fueron pesadas en las horas 46, 47 y 48; por lo tanto, como en estas tres horas las probetas no modificaron su peso, se determinó que las probetas tenían peso seco final. En la Figura 7a), se muestra el secado final de las probetas; mien-

tras que en la Figura 7b), se muestra el peso seco final de la probeta P01. En la Tabla 6, se muestran los pesos secos finales de las 12 probetas de la laja tipo Salmón.

Tabla 6. Peso seco final de las probetas.

Número de Probeta	Peso Seco Final MF (gr.)
P01	306.26
P02	295.78
P03	306.15
P04	295.76
P05	296.18
P06	301.76
P07	299.75
P08	297.11
P09	304.12
P10	306.75
P11	293.44
P12	297.48



Figura 7. a) Secado final de las probetas; b) Peso seco final de la probeta P01.

Discusión

Porcentaje de pérdida de peso

De acuerdo con Benavente, Bernabeu y Cañaveras (2004) a partir del peso seco inicial (M_0) y del peso seco final (M_F) se obtiene el porcentaje de pérdida de peso (DWL) de cada probeta individual mediante la ecuación (1).

$$DWL = \frac{M_0 - M_F}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

En la Tabla 7, se muestran los resultados del porcentaje de la pérdida de peso de la laja tipo Salmón después del ensayo de heladicidad. Se puede ver que tiene un porcentaje promedio de pérdida de peso del 0.38% con una desviación estándar del 0.07%.

De acuerdo con el porcentaje de pérdida de peso, Benavente (2002) ha clasificado cuatro tipos de materiales de uso constructivo: Tipo I, con una pérdida menor del 1%; Tipo II, con una pérdida entre 1% y 5%; Tipo III, con una pérdida entre 5% y 10%; y Tipo IV, con una pérdida mayor del 10%. De acuerdo con esta clasificación, los materiales Tipo I y Tipo II son aceptables como rocas de construcción, mientras que los de Tipo IV no son recomendados.

En este sentido, se puede considerar que la laja tipo Salmón estudiada es de Tipo I, ya que tiene un porcentaje de pérdida de peso menor del 1%. Por lo tanto, es un material adecuado para uso de fachadas en interiores y/o exteriores en lugares con condiciones climáticas frías. Sin embargo, esta pequeña pérdida de peso tiene ciertas implicaciones debido a que la disgregación granular (desprendimiento de granos individuales o agregados de estos) provoca una pérdida importante en sus cualidades estéticas superficiales como el color y la textura.

Los resultados encontrados en la literatura de ensayos de heladicidad para determinar la pérdida de peso, tal es el caso de Ruedrich, Kirchner y Siegesmund (2011) muestran que la caliza Kuaker de Alemania después de 1400 ciclos tuvo una pérdida de peso del 1%; además, Freire-Lista, Fort y Varas-Murie (2015) investigaron el granito tipo Zarzalejo localizado a 60 km al noreste de Madrid, España, mencionando que a los 280 ciclos tuvo una pérdida de peso de 1.1%. También se han realizado estudios de heladicidad con similar número de ciclos que los realizados en esta investigación, tal es el caso de Molina et al., (2013) que

estudiaron el travertino tipo Dorado de Albox, Almería, España; también, Vehbi et al., (2016) ensayaron el travertino tipo Gödene de Konia, Turquía. De igual modo, Pápay y Török (2018) analizaron la piedra caliza de cantera de Fertorákos en Hungría. En la Tabla 8 se muestra la comparación de los resultados obtenidos en la laja tipo Salmón con los reportados en la literatura. Se observa que presenta un porcentaje de pérdida de peso menor comparada con los resultados de materiales similares reportados por otros autores y por lo tanto, se puede decir que la laja tipo Salmón estudiada en este trabajo tendrá una mayor durabilidad.

Comportamiento del porcentaje de pérdida de peso.

A partir del peso seco del día anterior (M_n) y del peso seco del día actual (M_{n+1}) se obtiene el porcentaje de pérdida de peso (DWL_c) del día actual dado por la ecuación (2).

$$DWL_c = \frac{M_n - M_{n+1}}{M_{n+1}} \times 100 \quad (2)$$

Tabla 7. Porcentaje de pérdida de peso.

Número de Probeta	Peso Seco Inicial M_0 (gr.)	Peso Seco Final M_f (gr.)	Pérdida de Peso DWL (%)
P01	307.65	306.26	0.45
P02	296.67	295.78	0.30
P03	307.03	306.15	0.29
P04	296.78	295.76	0.34
P05	297.37	296.18	0.40
P06	302.70	301.76	0.31
P07	300.99	299.75	0.41
P08	298.45	297.11	0.45
P09	305.46	304.12	0.44
P10	308.21	306.75	0.48
P11	294.67	293.44	0.42
P12	298.24	297.48	0.26
Promedio			0.38
Desviación Estándar			0.07

Tabla 8. Comparación del porcentaje de pérdida de peso de diferentes materiales

Material	Número de Ciclos	Pérdida de Peso DWL (%)
Travertino tipo Dorado	15	2.29
Travertino tipo Gödene	15	8.01
Piedra Caliza	10	0.90
Laja tipo Salmón	15	0.38

En la Tabla 9, se muestran los valores del porcentaje promedio de la pérdida de peso en cada ciclo del ensayo de heladicidad. Como se observa, en el primer ciclo la laja tipo Salmón tiene un aumento en su peso de 3.22% debido a la absorción de agua; sin embargo, a partir del segundo ciclo comienza a tener una disminución. Además, se observa que durante todo el ensayo las probetas no perdieron peso debido a que existía agua congelada en su superficie. Finalmente, durante el secado final se logró una pérdida de peso hasta llegar al porcentaje de -0.38%. En la Figura 8, se observa la gráfica del comportamiento del porcentaje de la pérdida de peso en las probetas.

Conclusiones

Del ensayo de heladicidad de la laja tipo Salmón, se obtuvo un porcentaje promedio de la pérdida de peso de 0.38%; además, en la gráfica del comportamiento del porcentaje de la pérdida de peso se observa el decremento de los pesos de las probetas. De esta forma, es recomendable el uso de la laja tipo Salmón como revestimiento en interiores y exteriores en condiciones climáticas frías. Es importante mencionar que, el estado de la laja tipo Salmón en los edificios es trascendental por su función estructural y por su apreciación estética; por lo tanto, aunque existe un bajo porcentaje de pérdida de peso es recomendable el uso de algún tipo de hidrofugante para ayudar a repeler el agua logrando que la superficie sea impermeable y se encuentre libre de humedad, permitiendo aumentar la vida útil y las cualidades estéticas

Tabla 9. Porcentaje promedio de pérdida de peso por ciclo.

Ciclo de Ensayo	Peso Promedio de las Probetas (gr.)	Porcentaje Promedio de Pérdida de Peso DWL_c (%)
0 (Inicial)	301.19	0.00
1	311.20	3.22
2	311.08	3.18
3	311.02	3.16
4	310.79	3.09
5	310.71	3.06
6	310.16	2.89
7	309.88	2.81
8	309.62	2.72
9	309.54	2.70
10	309.49	2.68
11	309.43	2.67
12	309.38	2.65
13	309.20	2.59
14	309.01	2.53
15	307.60	2.09
17 (Final)	300.05	-0.38

Bibliografía

- AENOR. (2011). UNE-EN 12371:2011 *Métodos de ensayo para piedra natural: Determinación de la resistencia a la heladicidad*. Madrid, España: AENOR.
- Alonso, F. (2011). *Durabilidad de materiales rocosos. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica)*. Universidad de Oviedo.
- ASTM International. (2016). ASTM C119-16 Standard terminology relating to dimension stone. USA: ASTM International.
- Benavente García, David. (2002). *Modelización y Estimación de la Durabilidad de Materiales Pétreos Porosos Frente a la Cristalización de Sales*. Tesis doctoral no publicada, Universidad de Alicante. Alicante, España.
- Benavente, D., Bernabeu, A. y Cañaveras, J. (2004). Estudio de Propiedades Físicas de las Rocas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(1): 62-68.
- De Rosario, I. y Feijoo, J. (2016). *Alteración de las Rocas y otros Materiales de Construcción en los Monumento: Técnicas de Conservación*. Servizo de Publicacións da Universidade de Vigo. Vigo, España.
- Freire-Lista, D., Fort, R. y Varas-Muriel, M. (2015). Freeze-thaw fracturing in building granites. *Cold Regions Science and Technology*, 113: 40-51.
- Jiang, H. (2018). The relationship between mechanical properties and gradual deterioration of microstructures of rock mass subject to freeze-thaw cycles. *Earth Sciences Research Journal*, 22(1): 53-57.
- Luordes, N., Panova, E. y Bellopede, R. (2017). Characterization of natural stone material used in the Nordiceastern urban and costal environment. *Environmental Earth Sciences*, 76(8): 328-339.
- Marble Institute of America. (2016). *Slate: An excerpt from the dimension stone design manual* Version VIII. USA: Marble Institute of America.
- Martins, L., Vasconcelos, G., Lourenço, P. y Palha, C. (2015). Influence of the freeze and thaw cycles in the physical and mechanical properties of granites. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(5): 04-15.

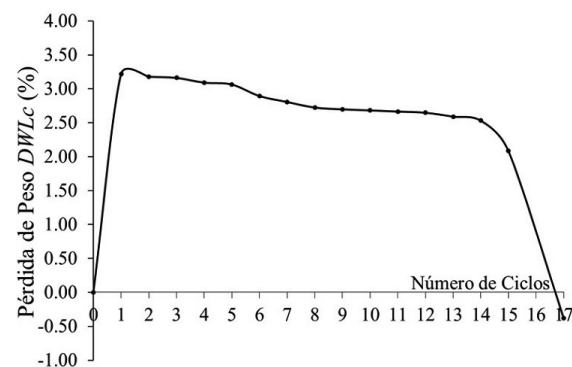


Figura 8. Gráfica del comportamiento del porcentaje promedio de la pérdida de peso.

- Molina, A. (2017). *Guía técnica de la piedra natural: Requisitos y control de recepción*. España: Cluster de la Piedra Natural.
- Molina, E., Cultrone, G., Sebastián, E. y Alonso, F. (2013). Evaluation of stone durability using a combination of ultrasound, mechanical and accelerated aging tests. *Journal of Geophysics and Engineering*, 10: 1-18.
- Momeni, A., Abdilor, Y., Khanlari, G., Heidari, M. y Sepahi, A. (2015). The effect of freeze-thaw cycles on physical and mechanical properties of granitoid hard rocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74: 1-8.
- Navarrete, M., Martínez, W., Alonso, E., Lara, C., Bedolla, A., Chávez, H., Delgado, D., y Arteaga, J. (2013). Caracterización de propiedades físico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura. *ALCONPAT*, 3(2): 132-142.
- Orozco, W., Branch, J. y Jiménez, J. (2014). Clasificación de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas en secciones delgadas a través programación estructurada. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (36). 5-9.
- Pápay, Z. y Török, Á. (2018). Effect of thermal and freeze-thaw stress on the mechanical properties of porous limestone. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(2): 423-428.
- Ponce, M. (2010). Alteraciones superficiales desarrolladas en rocas de ambientes urbanos y naturales. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 66(4): 529-534.
- Ruedrich, J., Kirchner, D. y Siegesmund, S. (2011). Physical weathering of building stones induced by freeze-thaw action: a laboratory long-term study. *Environmental Earth Sciences*, 63:1573-1586.
- Ryu, S. y Song, J. (2012). Weathering of rock specimens exposed to recurrent freezing and thawing cycles. *Tunnel & Underground Space*, 22(4): 276-283.
- Su-Ran, W., You-Liang, C., Jing, N., Mu-Dan, Z. y Heng Z. (2019). Influence of freeze-thaw cycles on engineering properties of Tonalite: Examples from China. *Advances in Civil Engineering*, 2019: 1-12.
- Tarback, E., Lutgens, F., y Tasa, D. (2005). *Ciencias de la tierra: Una introducción a la geología física* (8a ed.). Madrid, España: Pearson Educación S.A.
- Vehbi, M., Ince, I., Fener, M., Taşkıran, T. y Kayabali, K. (2016). The effects of freeze-thaw (F-T) cycles on the Gödene travertine used in historical structures in Konya (Turkey). *Cold Regions Science and Technology*, 127: 65-75.
- Villanueva, T. (2010). *La minería de la pizarra en Castilla y León, España*. España: Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León (SIEMCALSA).