

Ensayo de investigación

Absorción, densidad y resistencia a la compresión del travertino tipo Puebla procedente de El Ejido, Tepexi de Rodríguez, Puebla

Recibido: 01-03-2019 Aceptado: 12-12-2019 (Artículo Arbitrado)

Resumen

El travertino se clasifica como una roca sedimentaria constituida principalmente por carbonato de calcio, comúnmente empleada como piedra ornamental para la construcción de pisos, peldaños de escaleras, columnas y cubiertas tanto en aplicaciones interiores como exteriores. El travertino al ser un material parcialmente biogénico, tiene pequeñas variaciones que provocan diferencias en sus propiedades físicas y mecánicas; por lo que, se necesitan realizar ensayos de caracterización que permitan obtener dichas propiedades. En la actualidad, la industria de la construcción requiere cumplir con estándares específicos cada vez más estrictos. En este trabajo se presentan los resultados de los ensayos de absorción, densidad y resistencia a la compresión realizados al travertino tipo Puebla procedente de la cantera El Ejido del municipio de Tepexi de Rodríguez en el Estado de Puebla. En estas pruebas se aplicaron las normas correspondientes ASTM (American Society for Testing and Materials). Los resultados muestran que este travertino tiene una absorción del 0.84%, una densidad de 2604 kg/m³ y una resistencia mínima a la compresión de 60 MPa; por lo que, cuenta con la calidad requerida, considerándose como material de exportación para procesarse en diferentes usos comerciales.

Abstract

Travertine is classified as a sedimentary rock mainly consisting of calcium carbonate and is commonly used as an ornamental stone for the construction of floors, stairs, columns and roofs for interior and exterior applications. As a partially biogenic material, travertine has small variations that produce differences in its physical and mechanical properties, making characterization tests necessary in order to obtain these properties. Presently, the construction industry requires compliance with specific standards which are becoming increasingly stringent. This work presents the results of absorption, density and compressive strength tests performed on the Puebla-type travertine from the El Ejido municipality quarry of Tepexi de Rodríguez in the state of Puebla. The ASTM (American Society for Testing and Materials) standard was applied for these tests. The results show that this type of travertine has an absorption value of 0.84%, a density value of 2604 kg/m³ and a minimum compressive strength of 60 MPa. Puebla-type travertine, therefore, has the required quality to be considered as a suitable material for exportation and for processing in different commercial uses.

Résumé

Le travertin est classé comme une roche sédimentaire composée principalement de carbonate de calcium, couramment utilisé comme pierre ornementale pour la construction de sols, de marches d'escalier, de colonnes et de toits dans des applications intérieures et extérieures. Comme le travertin est un matériel partiellement biogène, il présente des petites variations qui entraînent des différences dans ses propriétés physiques et mécaniques. Par conséquent, des tests de caractérisation sont nécessaires pour obtenir ses propriétés. À l'heure actuelle, l'industrie de la construction doit respecter des normes spécifiques de plus en plus strictes. Cet article présente les résultats des tests d'absorption, de densité et de résistance à la compression effectués sur le travertin de type Puebla de la carrière El Ejido dans la municipalité de Tepexi de Rodríguez dans l'État de Puebla. Dans ces tests, les normes correspondantes ASTM (American Society for Testing and Materials) ont été appliquées. Les résultats montrent que ce travertin a une absorption de 0,84%, une densité de 2604 kg / m³ et une résistance à la compression minimale de 60 MPa; Par conséquent, il a la qualité requise, étant considéré comme du matériel d'exportation à traiter dans différentes utilisations commerciales.

Adolfo Manuel Morales Tassinari¹
Alberto Servín Martínez²
Jorge Arturo Hernández Zárate³
José Manuel Tejero Andrade⁴
Claudia Domínguez Olmos⁵

Palabras clave: Ensayos de caracterización, material biogénico, propiedades físicas y mecánicas.

Keywords: Biogenic material, characterization tests, physical and mechanical properties.

Mots-clés: Essais de caractérisation, matériau biogénique, propriétés physiques et mécaniques.

¹⁻⁴ Tecnológico Nacional de México

¹ Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez

^{2,3,4} Instituto Tecnológico de Veracruz

⁵ Universidad Tecnológica de Tecamachalco

Correspondencia:

*tassinari.adolfo1973@gmail.com

Introducción

Las rocas son uno de los materiales más abundantes en la Tierra y han sido usadas durante muchos siglos como material de construcción y ornamental. De acuerdo con Navarrete et al., (2013) las rocas son agregados naturales duros y compactos formadas por partículas de diversos minerales que tienen fuertes uniones cohesivas. El *Marble Institute of América* (2016a) menciona que conocer cómo se formó una roca ayuda a predecir su comportamiento. Para Tarbuck et al., (2005) la naturaleza y el aspecto de una roca están fuertemente influidos por los minerales que la componen; además, la textura de una roca, es decir, el tamaño, la forma o la disposición de los minerales que la constituyen, también tiene un efecto significativo en su aspecto.

Orozco et al., (2014) mencionan que las rocas se clasifican por su origen en: a) rocas ígneas, formadas por el enfriamiento y la solidificación del magma del interior de la Tierra; b) rocas metamórficas, aquellas que sufrieron cambios en la mineralogía y estructura por la presión y temperatura a grandes profundidades al interior de la Tierra; c) rocas sedimentarias, formadas por sedimentos y partículas mediante la meteorización de otras rocas, acumulación de material de origen biológico, precipitación de sustancias químicas o bioquímicas, o una combinación de ellas.

Dentro del grupo de rocas sedimentarias se encuentra el travertino, y que de acuerdo con la *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2016) es una roca de calcita parcialmente cristalina, porosa o celularmente estratificada de origen químico, formada por la precipitación de calcita en soluciones de agua caliente o tibia en el fondo de estanques poco profundos; de esta forma, los poros y las cavidades se concentran en algunas de las capas, dando lugar a una textura abierta. En general, el travertino es una roca sedimentaria de origen parcialmente bio-génico, formada por depósitos de carbonato de calcio (CaCO_3) utilizada con frecuencia como roca ornamental en construcción para exteriores e interiores.

En México existen diversas canteras de travertino, algunas ubicadas en el municipio de Tepexi de Rodríguez en el estado de Puebla (ver la Figura 1). El travertino de esta región es de color claro con vetas color café (ver la Figura 2) que se utiliza para piso, muros, cubiertas de cocina y de baño, peldaños de escaleras, etc.

De acuerdo con Uricevic et al., (2011) las pequeñas variaciones en una roca producen cambios en sus propiedades, modificando así su utilidad; por lo tanto, como las variaciones tienen lugar entre las diferentes canteras que explotan un mismo material, las propiedades deben ser evaluadas en cada una de las zonas extractivas. De esta manera, el uso de cualquier roca para un propósito en particular se debe fundamentar en las propiedades obtenidas en laboratorio, ya que son indicadores de su calidad.

Buj y Gisbert (2010) mencionan que la calidad de una roca depende de factores como sus propiedades intrínsecas, condiciones ambientales y usos; por lo tanto, determinar sus propiedades intrínsecas es una herramienta que permite determinar datos objetivos para evaluar su uso. Para Benavente et al., (2004) las rocas tienen diferentes propiedades que proceden de sus características petrográficas; de los minerales que las constituyen, del tamaño y morfología; del volumen de poros, de la forma y naturaleza de los fluidos que llenan estos poros.

El *Marble Institute of America* (2016b) menciona que actualmente la industria de la construcción demanda requisitos de rendimiento cada vez más exigentes; por lo que, la selección final de una roca



Figura 1. Cantera del travertino tipo Puebla ubicada en el Ejido municipio de Tepexi de Rodríguez

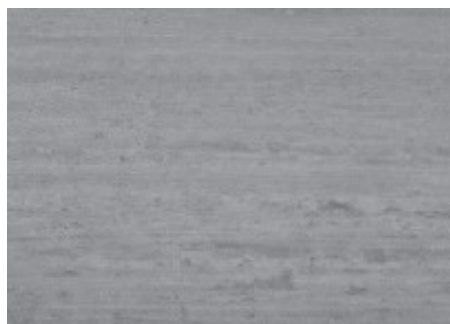


Figura 2. Superficie del travertino tipo Puebla.

debe basarse en valores específicos dados por los proveedores. Se deben realizar ensayos de caracterización que permitan determinar las propiedades físicas y mecánicas de las rocas. Además, es importante conocer estas propiedades para competir con otras piedras en mercados internacionales.

El *Marble Institute of America* (2016c) menciona que las pruebas evalúan la ventaja que tiene una roca para una aplicación específica; por ejemplo, conocer la tasa de absorción de una roca ayuda a determinar la resistencia de la piedra a las manchas y la congelación. Además, obtener la densidad permite que se diseñe un sistema de soporte para resistir el peso de la piedra. También, determinar la resistencia a la compresión implica saber la capacidad para soportar cargas cuando se utiliza como elemento estructural. Incluso, especificar la resistencia a la abrasión y la resistencia al deslizamiento de la piedra son cruciales en aplicaciones de pisos.

Para el *Marble Institute of America* (2016d) a lo largo de los siglos se ha elegido la piedra por su resistencia y belleza, esta selección alguna vez estuvo limitada principalmente a lo que estaba disponible localmente; sin embargo, el mercado actual de piedra es prácticamente mundial, con la amplia y creciente variedad de opciones, el proceso de selección de piedras se ha vuelto más complejo. Aunado a esto, la exigencia de los mercados internacionales por el cumplimiento con estándares de especificaciones del travertino es cada vez mayor; por lo tanto, saber si la piedra cumple con ciertas características físicas y/o mecánicas, pone en ventaja competitiva al productor en el mercado internacional.

El objetivo de este artículo es presentar los resultados de las pruebas de absorción, densidad y resistencia a la compresión del travertino tipo Puebla, para determinar si este material tiene la calidad suficiente para ser considerado como material de exportación para su uso en columnas en exteriores e interiores.

Metodología

Los ensayos de absorción y densidad se realizaron en la Unidad de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Veracruz; los ensayos de compresión uniaxial se realizaron en el Laboratorio de Ensayos Destructivos perteneciente al Laboratorio de Ingeniería Mecánica del mismo instituto. Además, los equi-

pos y materiales empleados para las pruebas de absorción, densidad y compresión fueron los siguientes: secadora de charolas de piso marca Bentuzzi modelo 2100, báscula digital marca Ohaus modelo Scout Pro SP601, máquina universal marca Galdabini, vernier análogo marca Mitutoyo, dos contenedores de plástico duro con capacidad de 18 litros, una canastilla de alambre de aluminio, 60 litros de agua destilada y 24 probetas cúbicas con dimensión de 50 ± 0.5 mm.

Para los ensayos de absorción y densidad se aplicó el procedimiento de la norma ASTM C97/C97M-09 *Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone*; mientras que, para el ensayo de compresión uniaxial se aplicó el procedimiento de la norma ASTM C170-90 *Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone*.

Obtención y preparación de probetas

Del banco de extracción se tomaron piedras de muestra y se cortaron en una máquina de puente en la que se obtuvieron lingotes de largo libre con ancho de 50 mm y espesor de 50 mm; después, estos lingotes se cortaron en una máquina cuadreadora para obtener las probetas cúbicas con dimensiones aproximadas de 50 mm. Al término del proceso de corte, las probetas cúbicas fueron seleccionadas de acuerdo con su color claro vetado característico; por lo que, fueron seleccionadas 50 piezas.

La norma ASTM C97/C97M-09 (2009) sugiere que se requieren como mínimo cinco probetas para los ensayos de absorción y densidad, y la norma ASTM C170-90 (1999) recomienda que para ensayos de compresión uniaxial en húmedo y en seco, tanto perpendicular como paralela a la veta, se requieren veinte probetas como mínimo; por lo que, se consideró realizar los ensayos de absorción, densidad y compresión uniaxial con 24 probetas. Se midieron las dimensiones de cada probeta, y se seleccionaron 24 probetas que tuvieran una dimensión de 50 ± 0.5 mm en cada uno de sus lados.

Posteriormente, las 24 probetas se lijaron en la cara que estuvieran en contacto con los dados de la máquina de compresión obteniendo una dimensión final de 50 ± 0.5 mm. Finalmente, a las 24 probetas se les marcó la orientación de la veta y se les asignó un número para que fueran identificadas durante los ensayos; además, se agruparon en 4 grupos de 6 probetas por grupo. La Figura 3 muestra las 24 probetas seleccionadas dispuestas en cuatro grupos.

Prueba de absorción y densidad

Para los ensayos de absorción y densidad se aplicó el procedimiento de la norma ASTM C97/C97M-09 *Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone*.

Obtención del peso seco

Las 24 probetas se introdujeron en un horno de secado a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas de acuerdo con la norma ASTM C97/C97M-09. Para garantizar que las 24 probetas estuvieran secas, se pesaron en la hora 46, en la hora 47 y en la hora 48; por lo tanto, como en estas tres horas consecutivas las 24 probetas no tuvieron cambio en su peso, se consideró que en la hora 48, las 24 probetas tenían peso seco constante. En la Figura 4, se muestra el secado de las probetas y en la Figura 5, se muestra el peso seco de la probeta P11.

Obtención del peso saturado

Después de obtener el peso seco, las 24 probetas se sometieron a inmersión en contenedores con 10 litros de agua destilada a una temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas para que se saturaran. Para garantizar que las 24 probetas estuvieran saturadas, se pesaron en una báscula digital en la hora 46, en la hora 47 y en la hora 48; como en estas tres horas consecutivas las 24 probetas no tuvieron cambio en su peso, se consideró que en la hora 48, las 24 probetas tenían peso saturado. En la Figura 6, se muestra la inmersión de las probetas y en la Figura 7, se muestra el peso saturado de la probeta P11.

Obtención del peso suspendido

Se implementó una canastilla fabricada de malla de alambre de aluminio de tal forma que las dimensiones permitieran introducir y sacar las probetas con suficiente libertad. Para iniciar la prueba, la canastilla se colocó de tal forma que quedara conectada en la parte inferior de la báscula digital y estuviera sumergida en un contenedor con agua destilada. Posteriormente, se introdujo la probeta en la canastilla y se obtuvo el peso suspendido de cada probeta. La Figura 8, muestra el peso suspendido de la probeta P11.

Prueba de compresión

Para el ensayo de compresión uniaxial, se aplicó el procedimiento de la norma ASTM C170-90 *Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone*.

Obtención del peso seco y peso saturado

Para el ensayo de compresión uniaxial, 12 probetas (P11-P16 y P21-P26) se introdujeron en un horno a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas para el proceso de secado; al mismo tiempo, 12 probetas (P31-P36 y P41-P46) se sumergieron en agua destilada a temperatura ambiente durante 48 horas para saturarlas. Para garantizar que las 24 probetas estuvieran acondicionadas, se pesaron en la hora 46, en la hora 47 y en la hora 48; por lo tanto, como en estas tres horas consecutivas las 24 probetas no tuvieron cambio en su peso, se consideró que en la hora 48 las probetas P11-P16 y P21-P26 tenían peso seco y que las probetas P31-P36 y P41-P46

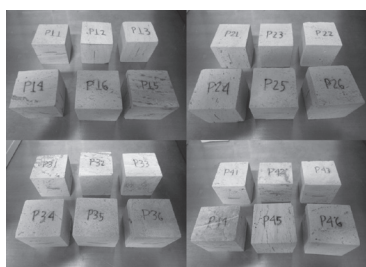


Figura 3. Probetas de travertino tipo Puebla.



Figura 4. Secado de las 24 probetas.

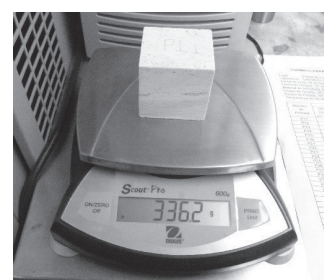


Figura 5. Peso seco de la probeta P11.



Figura 6. Inmersión de las 24 probetas.



Figura 7. Peso saturado de la probeta P11.

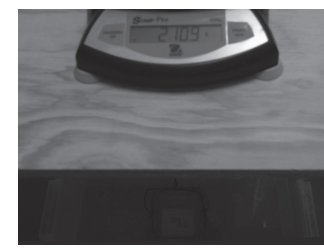


Figura 8. Peso suspendido de la probeta P11.

tenía peso saturado. En la Figura 9, se muestra el peso seco de la probeta P12; mientras que en la Figura 10, se muestra el peso saturado de la probeta P32.

Obtención de la carga de ruptura

Una vez que se acondicionaron las 24 probetas, cada probeta fue ubicada en la máquina de compresión, de tal forma que la probeta estuviera centrada en los dados y que la marca de la veta estuviera al frente de la máquina. Cabe mencionar que las probetas P11 a P16 se probaron en condición seca con carga paralela a la veta, las probetas P21 a P26 se probaron en condición seca con carga perpendicular a la veta, las probetas P31 a P36 se probaron en condición saturada con carga paralela a la veta, y las probetas P41 a P46 se probaron en condición saturada con carga perpendicular a la veta. En la Figura 11, se muestra el ensayo de compresión uniaxial realizado a la probeta P11.

Resultados

Resultados de la absorción y densidad

La norma ASTM C97/C97M-09 menciona que con el peso seco (A) y el peso saturado (B) de la probeta, se determina el porcentaje de absorción (A_A) de cada probeta mediante la ecuación (1).

$$A_A = \frac{B - A}{A} \times 100\% \quad (1)$$

Además, la esta norma menciona que con el peso seco (A), el peso saturado (B) y el peso suspendido (C) de la probeta, se determina la densidad (ρ) para cada probeta mediante la ecuación (2).

$$\rho = \frac{A}{B - C} \times 1000 \quad (2)$$

En la Tabla 1, se muestra el porcentaje de absorción (A_A) y la densidad (ρ) obtenidos a partir de las ecuaciones (1) y (2) respectivamente. El porcentaje de absorción promedio es de 0.84% con una desviación estándar de 0.48%; mientras que, la densidad promedio es de 2604 kg/m³ con una desviación estándar de 45 kg/m³.

Tabla 1. Resultados del porcentaje de absorción y la densidad.

Probeta	Peso seco A (g)	Peso sat. B (g)	Peso susp. C (g)	Absorción A_A (%)	Densidad ρ (kg/m ³)
P11	336.2	337.5	210.9	0.39	2656
P12	337.7	341.3	211.3	1.07	2598
P13	326.9	330.0	204.5	0.95	2605
P14	331.3	332.8	207.5	0.45	2644
P15	338.5	339.5	212.4	0.30	2663
P16	349.8	351.7	218.9	0.54	2634
P21	345.1	347.6	215.9	0.72	2620
P22	332.4	334.8	207.1	0.72	2603
P23	335.4	336.5	210.0	0.33	2651
P24	343.4	345.7	214.7	0.67	2621
P25	334.2	335.2	209.4	0.30	2657
P26	324.8	327.4	202.9	0.80	2609
P31	336.1	338.9	208.3	0.83	2574
P32	335.3	337.2	208.0	0.57	2595
P33	324.2	329.3	201.3	1.57	2533
P34	333.2	335.5	208.3	0.69	2619
P35	342.3	345.4	214.6	0.91	2617
P36	322.4	325.6	199.3	0.99	2553
P41	326.1	329.2	203.8	0.95	2600
P42	303.6	304.4	190.0	0.26	2654
P43	322.7	328.9	201.2	1.92	2527
P44	300.2	304.5	186.7	1.43	2548
P45	324.2	330.6	201.5	1.97	2511
P46	335.0	337.6	209.4	0.78	2656
Promedio				0.84	2604
Desviación Estándar				0.48	45

Resultados de la resistencia a la compresión

La norma ASTM C170-90 menciona que con la carga de compresión (W) y el área de compresión (A_c), se determina la resistencia a la compresión (S) para cada probeta mediante la ecuación (3).

$$S = \frac{W}{A_c} \quad (3)$$

En la Tabla 2, se muestran los resultados de la resistencia a la compresión (S) obtenidos de la ecuación (3). Con base en las resistencias a la compresión en cada probeta dadas en la Tabla 2, se tiene para el grupo P11-P16 una resistencia promedio de 60 MPa con una desviación estándar de 21 MPa, para el grupo P21-P26 se tiene una resistencia promedio de 107 MPa con una desviación estándar de 23 MPa, para el grupo P31-P36 se tiene una resistencia promedio de 76 MPa con una desviación estándar de 15 MPa y para el grupo P41-P46 se tiene una resistencia promedio de 92 MPa con una desviación estándar de 24 MPa.

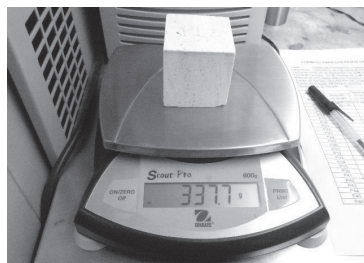


Figura 9. Peso seco de la probeta P12.



Figura 10. Peso saturado de la probeta P32.

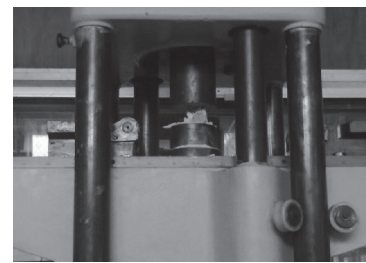


Figura 11. Ensayo de compresión uniaxial a la probeta P11.

Tabla 2. Resultados de la resistencia a la compresión.

Condición de Prueba	Probeta	Carga de comp. W (kgf)	Área de comp. A _c (mm ²)	Resistencia a la compresión S (MPa)
Probeta seca con carga paralela a la veta	P11	18800	2490	74
	P12	10600	2510	41
	P13	15200	2520	59
	P14	13700	2510	54
	P15	24250	2510	95
	P16	10200	2520	40
	Promedio			60
Probeta seca con carga perpendicular a la veta	P21	33700	2520	131
	P22	30850	2520	120
	P23	23850	2520	93
	P24	18850	2520	73
	P25	25100	2510	98
	P26	32750	2510	128
	Promedio			107
Probeta saturada con carga paralela a la veta	P31	19250	2500	76
	P32	17900	2480	71
	P33	17400	2520	68
	P34	25950	2490	102
	P35	14550	2510	57
	P36	21200	2480	84
	Promedio			76
Probeta saturada con carga perpendicular a la veta	P41	27600	2520	107
	P42	28700	2480	114
	P43	18950	2520	74
	P44	16050	2480	63
	P45	18850	2510	74
	P46	30200	2520	118
	Promedio			92
	Desviación Estándar			24

Uno de los aspectos importantes es comparar los resultados de la resistencia a la compresión para determinar si existe una diferencia entre las condiciones de carga y las condiciones físicas de las probetas. En la Figura 12, se muestra el gráfico comparativo de las gráficas de caja-bigote de la resistencia a la compresión.

Se observa en la Figura 12 que existe una diferencia entre las gráficas de caja-bigote de la resistencia a la compresión; para saber si esta diferencia es significativa se realiza un análisis de varianza de dos factores, 1) *condición de carga con dos niveles* (paralela y perpendicular), y 2) *la condición física* con dos niveles (seco y saturado).

En la Tabla 3, se muestran los resultados del análisis de

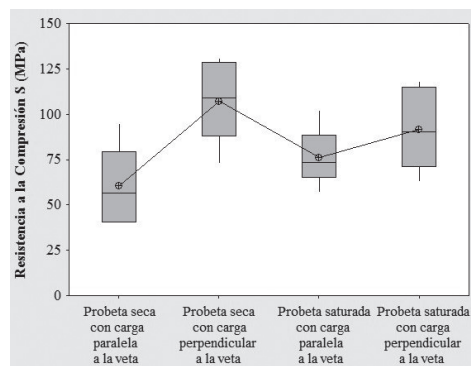


Figura 12. Gráficas de caja-bigote de la resistencia a la compresión.

Tabla 3. Resultados del porcentaje de absorción y la densidad.

Origen de las var.	Suma de cuad.	Grados de lib.	Prom. de los cuad.	F	Prob.	Valor crítico para F
Condición de carga	5766	1	5766	12.96	0.002	4.35
Condición física	0.17	1	0.17	0.0004	0.98	4.35
Interacción	1473	1	1473	3.31	0.08	4.35
Dentro del grupo	8899	20	445	-	-	-
Total	16137	23	-	-	-	-

Tabla 4. Comparación de los resultados.

Propiedades	ASTM C1527-09		Resultados obtenidos de las pruebas
	Uso para interior	Uso para exterior	
Absorción máxima (%)	2.5	2.5	0.84
Densidad mínima (kg/m ³)	2305	2305	2604
Resistencia a la Compresión mínima (MPa)	34.5	52	60

Tabla 5. Comparación del travertino tipo Puebla con los reportados en la literatura.

Travertino	Densidad (kg/m ³)	Porcentaje de Absorción(%)	Resistencia a la Compresión (MPa)
Puebla	2604	0.84	60
Albox	2304	-	43.18±14.07
Atashkooh White	2470	-	49.3
Plivit Jajce	2230	-	46

varianza. Esta Tabla muestra que cuando se realiza la comparación entre el tipo de condición de carga el valor de $F=12.96$ es mayor que $F_{crítico}=4.35$; esto quiere decir que, con una significancia del 5%, sí existe una diferencia significativa entre las condiciones de carga paralela y perpendicular a la veta. Por lo tanto, se considera que la resistencia a la compresión mínima que tiene el travertino tipo Puebla estudiado es de 60 MPa.

En la Tabla 4 se muestra la comparación entre las especificaciones de la norma ASTM C1527-09 y los resultados obtenidos para los ensayos realizados. En esta tabla se observa que las propiedades del travertino tipo Puebla, obtenidas mediante los ensayos cumplen satisfactoriamente con los parámetros de la norma ASTM C1527-09.

En la tabla 5 se comparan las propiedades del travertino tipo Puebla con otros reportados en la literatura. García-del-Cura, et al., (2017) caracterizaron el travertino de Albox situado en la Cuenca Neógena de Almanzora. Jamshidi et al., (2017) caracterizaron el travertino Atashkooh White procedente de las canteras de Mahallat en Irán. Ademović y Kurtović (2018) caracterizaron el travertino tipo Plivit Jajce ubicado en el área de Divčane cerca de Jajce en Bosnia-Herzegovina. Se puede observar que, el travertino tipo Puebla tiene una mayor densidad y resistencia a la

compresión en comparación con las propiedades de materiales similares; por lo tanto, el travertino tipo Puebla es un material que además de cumplir con la norma ASTM C1527-09 tiene mejores propiedades físico-mecánicas que los reportados en la literatura.

Conclusiones

Las pruebas realizadas al travertino tipo Puebla indican un porcentaje de absorción de 0.84%, valor por debajo del valor máximo de la norma ASTM C1527-09; por lo que, es recomendado su uso para pisos en baños y lavabos o en zonas con alta humedad. Una densidad de 2604 kg/m³, valor por arriba del valor mínimo de la norma ASTM C1527-09; conocer este valor es importante en caso de utilizar el travertino en pisos y/o paredes de edificios de dos o más niveles. Tiene una resistencia a la compresión mínima de 60 MPa, valor por arriba del mínimo de la norma ASTM C1527-09; valor importante en caso de usarlo en columnas. El travertino tipo Puebla cumple con las especificaciones de la norma ASTM C1527-09 en cuanto a las propiedades de absorción, densidad y resistencia a la compresión; por lo tanto, este material puede ser considerado como material de exportación y que puede ser utilizado en diversas aplicaciones, como pisos, cubiertas de baño, muebles de baño y columnas.

Bibliografía

- Ademović, N., y Kurtović, A. (2018). Stone and mortar in bridges from the Ottoman period in Bosnia and Herzegovina. *GRADEVINAR*, 70(3): 213-224.
- ASTM International. (2009) ASTM C97/C97M-09 Standard test methods for absorption and bulk specific gravity of dimension stone. USA: ASTM International.
- ASTM International. (2016). ASTM C119-16 Standard terminology relating to dimension stone. USA: ASTM International.
- ASTM International. (1999). ASTM C170-90 Standard test method for compressive strength of dimension stone. USA: ASTM International.
- ASTM International. (2009). ASTM C1527-09 Standard specification for travertine dimension stone. USA: ASTM International.
- 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.
- Buj, O., y Gisbert, J. (2010). Caracterización tecnológica y adecuación de uso de dos litoarenitas explotadas en el Pirineo Aragonés (España). *Global Stone Congress*.
- García-del-Cura, M., Benavente, D., Martínez-Martínez, J., y Ordóñez, S. (2017). Travertinos coloreados en la Cordillera Bética (SE de la Península Ibérica). Situación geológica y características petrofísicas. *Boletín Geológico y Minero*, 128(2): 467-483.
- Jamshidi, A., Nikudel, M., Khamsehchiyan, M., Zalooli A., y Yeganehfar, H. (2017). Estimating the Mechanical Properties of Travertine Building Stones Due to Salt Crystallization Using Multivariate Regression Analysis. *Journal of Sciences*, 28(3): 231-241.
- Marble Institute of America. (2016a). The geology of stone: An excerpt from the dimension stone design manual Version VIII. USA: Marble Institute of America.
- Marble Institute of America. (2016b) Travertine: An excerpt from the dimension stone design manual Version VIII. USA: Marble Institute of America.
- Marble Institute of America. (2016c) Stone testing: An excerpt from the dimension stone design manual Version VIII. USA: Marble Institute of America.
- Marble Institute of America. (2016d) Dimension stone selection: An excerpt from the dimension stone design manual Version VIII. USA: Marble Institute of America.
- 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-Centeno, W. P., Branch-Bedoya, J. W., Jiménez-Builes, J. A. (2014). Clasificación de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas en secciones delgadas a través programación estructurada. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (36): 5-9.
- Tarbut, 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.
- Uricevic, M., Sebastian-Pardo, E., Ruíz-Agudo, E., y Cardel, C. (2011). Evaluación de las propiedades físicas de dos rocas carbonáticas usadas como material de construcción actual e histórico en Andalucía Oriental, España. *Materiales de Construcción*, 61(301): 93-114.



Universidades Estatales de Oaxaca

10 Universidades y 18 Campus

**Universidad Tecnológica
de la Mixteca
(UTM)**
Huajuapán

**Universidad del Mar
(UMAR)**
Campus Puerto Escondido,
Puerto Ángel, Huatulco
y Oaxaca

**Universidad del Istmo
(UNISTMO)**
Campus Tehuantepec,
Ixtepec y Juchitán

**Universidad del Papaloapan
(UNPA)**
Campus Loma Bonita
y Tuxtpec

**Universidad de la Sierra Sur
(UNSI)**
Miahuatlán

**Universidad de la Sierra Juárez
(UNSIJ)**
Ixtlán de Juárez

**Universidad de la Cañada
(UNCA)**
Teotitlán de Flores Magón

**NovaUniversitas
(NU)**
Campus Ocotlán,
San Jacinto y Juxtlahuaca

**Universidad de la Costa
(UNCOS)**
Pinotepa Nacional

**Universidad de Chalcatongo
(UNICHA)**
Chalcatongo de Hidalgo

**627 edificios
500 Ha**

**30 Institutos
de
Investigación**



**183 Laboratorios
29 Talleres**

Universidades ecológicas:
Los campus universitarios
son bosques con
la flora y fauna endémicas

**88 carreras,
de las cuales la mayoría
son ingenierías**

**41 posgrados:
10 Doctorados
y 31 Maestrías**



**Más de
11,000 alumnos
Alrededor de
1,200 profesores
de tiempo completo**