

Determinación de las propiedades de absorción y densidad de la roca caliza travertino tipo dorado tepexi

Resumen: El presente trabajo tiene como propósito determinar las propiedades de Absorción y la Densidad de la Roca Caliza Travertino tipo Dorado Tepexi extraído del banco inferior con un volumen aproximado de 1500 m³, y procesado por la empresa Industrias del Travertino la cuál está localizada en la ciudad de Tepexi de Rodríguez, Pue. La norma ASTM C97/C97M-09 Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone se utilizó para determinar el Porcentaje de Absorción de Agua y la Densidad. El resultado obtenido en esta investigación es que el Travertino tipo Dorado Tepexi extraído del banco inferior tiene un porcentaje de absorción de agua de 0.91% y una densidad de 2624 kg/m³. Estos resultados cumplen con las especificaciones de la norma ASTM C1527-09 Standard Specification for Travertine Dimension Stone, de tal forma que, la Roca Caliza Travertino tipo Dorado Tepexi extraída del banco inferior puede ser utilizada para usos en interiores y en exteriores tales como cubiertas y muebles para baño, peldaños de escalera y pisos, los cuales son comercializados principalmente en los estados de Veracruz, Puebla y Tlaxcala.

Palabras clave: Absorción, banco, densidad, especificación, norma, probeta, travertino.



Colaboración

Adolfo Manuel Morales Tassinari; Ing. Sinuhé Flores Muñoz, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez; Jorge Arturo Hernández Zárate, Instituto Tecnológico de Veracruz

Abstract: This document has the purpose of determinate the Absorption and Density properties of the Limestone Travertine type Dorado Tepexi extracted from the lower bench with an approximated volume of 1500 m³, and processed by Industrias del Travertino factory which is located in Tepexi de Rodríguez, Puebla. The ASTM C97/C97M-09 Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone was used to determinate the percent of water Absorption and the Density properties. The result obtained in this research is that the Limestone Travertine type Dorado Tepexi extracted from the lower bench has a percentage of water absorption of 0.91% and a density of 2624 kg/m³. These results meet the specification of the ASTM C1527-09 Standard Specification for Travertine Dimension Stone. It means that the Limestone Travertine type Dorado Tepexi extracted from the lower bench can be used for indoor and outdoor such as cover and bathrooms furnitures, stairs and floors, which they are marketed in the Veracruz, Puebla and Tlaxcala states.

Keywords: Absorption, bench, density, especification, standard, specimen, travertine.

INTRODUCCIÓN

Las piedras son agregados naturales duros y compactos de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes, que habitualmente se consideran un sistema continuo. La proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica[1].

El Travertino se clasifica como una variedad de piedra caliza formada por la precipitación química en manantiales de agua caliente[2]. El Travertino tipo Dorado Tepexi (Figura 1) es una piedra de color dorado claro, se utiliza para piso en áreas de tránsito pesado, comercial o habitacional, en muros interiores o exteriores, cubiertas de baño, muebles de baño, etc.



Figura 1. Fotografía del travertino tipo Dorado Tepexi

La calidad de una piedra para su utilización como elemento de uso constructivo depende de sus características intrínsecas, condiciones ambientales y de su posición relativa tras su puesta en obra. Por lo tanto, la obtención de sus propiedades es la herramienta que permite obtener datos objetivos para evaluar su idoneidad de uso[3].

Desde el punto de vista físico, las rocas presentan diferentes propiedades, que se expresan normalmente por medio de parámetros que cuantifican determinados aspectos o comportamientos. Dichas propiedades físicas derivan de las características puramente petrográficas; de los minerales que las forman, de su tamaño y morfología; del volumen de poros, de su forma y de la naturaleza de los fluidos que rellenan estos poros[4]. Pequeñas variaciones pueden producir cambios significativos en las propiedades físicas de las rocas, modificando así su idoneidad. Estas variaciones de textura tienen lugar entre diferentes canteras que explotan un mismo material, por lo que las propiedades físicas deben ser evaluadas en cada una de las zonas extractivas[5].

MATERIAL Y MÉTODOS

La cantera de Travertino tipo Dorado Tepexi de la empresa Industrias del Travertino se encuentra ubicada en el municipio de San Juan Ixcaquixtla, Pue., localizado en la parte sur del estado a 108 km de la ciudad de Puebla. La figura 2, se muestra una fotografía de la cantera:



Figura 2. Fotografía de la cantera

Esta cantera está formada por 4 bancos de extracción, pero el banco que actualmente se está utilizando para el procesamiento de Travertino tipo Dorado Tepexi es el banco de inferior (figura 3):



Figura 3. Fotografía del banco inferior de la cantera

Como el banco de extracción inferior tiene dimensiones aproximadas de 60 metros de longitud, 10 metros de ancho y 2.5 metros de profundidad, y como el Travertino es un material heterogéneo y anisotrópico, el banco se divide en dos zonas con iguales dimensiones; para cada zona se toman muestras representativas para fabricar 24 probetas cúbicas de 50X50X50 mm, de tal forma que, las propiedades se obtendrán para cada zona del banco inferior. Las probetas fueron elaboradas en la empresa Industrias del Travertino (figura 4), que se ubica en la ciudad de Tepexi de Rodríguez, Pue.



Figura 4. Fotografía de la empresa

Para la fabricación de las probetas, primero se ponen las piedras que se extrajeron de la cantera en la Máquina Cortadora de Puente (figura 5) para obtener lingotes con espesores de 50mm:



Figura 5. Fotografía de la máquina cortadora de puente

Posteriormente, estos lingotes fueron puestos en la máquina cuadreadora (figura 6) para obtener las probetas cúbicas con dimensiones aproximadas de 50X50X50 mm:



Figura 6. Fotografía de la máquina cuadreadora

Al término del proceso de corte, las probetas cúbicas (figura 7) fueron seleccionadas de acuerdo a su color característico y dimensiones de 50X50X50mm con un error de ± 0.5 mm en cada una de sus dimensiones. De tal forma, para realizar las pruebas, se seleccionan 24 probetas para la zona 1 y 24 probetas para la zona 2.

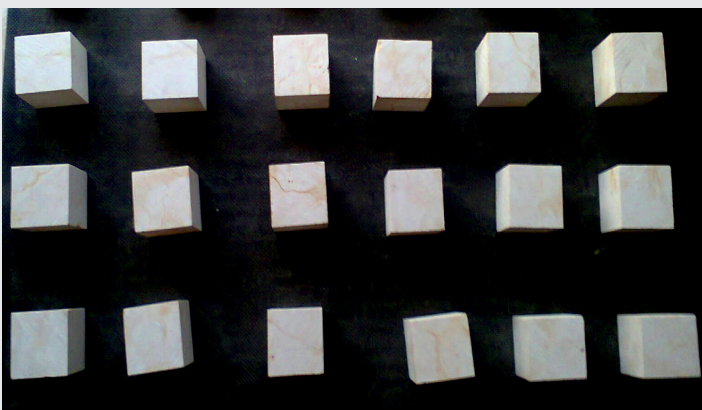


Figura 7. Fotografía de 24 probetas cúbicas

Las pruebas de absorción y densidad fueron realizadas en el Laboratorio de Alimentos perteneciente a la Unidad de Investigación y Desarrollo de Alimentos (UNIDA) y en el Laboratorio de Ciencias e Ingeniería de Materiales (LACIMA) perteneciente a la Unidad de Ingeniería Mecánica (UDIM), ambas unidades se encuentran en el Instituto Tecnológico de Veracruz. Para la prueba de absorción se aplica la norma ASTM C97/ C97M-09, de tal forma que, para el secado de las probetas cúbicas de Travertino tipo Dorado Tepexi se utiliza una Secadora de Charolas de Piso marca BERTUZZI (figura 8) a una temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$:



Figura 8. Fotografía de las probetas dentro de horno

El pesado de la probetas secas se realizó con una báscula digital OHAUS modelo SCOUT PRO SP601 (figura 9); con base en la norma, las probetas debe pesarse en la hora 46, 47 y 48 para verificar si los pesos son constantes, como en esas tres horas los pesos no variaron, se obtuvo peso constante.



Figura 9. Fotografía del pesado de las probetas secas

Este proceso se realizó para las 48 probetas de las dos zonas, los resultados de los pesos de las probetas secas se dan en la tabla 1:

Tabla 1. Peso de probetas secas

Número de la Probeta	Peso de Probetas Secas (A) gramos	
	Zona 1	Zona 2
P11	320.2	317.8
P12	319.9	319.0
P13	320.6	315.7
P14	319.7	321.7
P15	327.5	319.2
P16	318.7	318.7
P21	319.3	322.2
P22	323.6	326.7
P23	315.4	321.2
P24	318.1	322.0
P25	325.1	319.6
P26	322.5	318.5
P31	321.0	319.3
P32	320.6	318.3
P33	316.4	324.0
P34	320.8	325.3
P35	314.4	325.4
P36	319.3	323.1
P41	319.6	326.7
P42	318.6	316.9
P43	319.8	319.9
P44	320.3	320.4
P45	318.7	319.0
P46	316.6	322.1

Posteriormente, las probetas fueron inmersas en agua destilada (figura 10) durante 48 horas a una temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$:



Figura 10. Fotografía de la inmersión de las probetas

Al término de la hora 48, se pesaron las probetas húmedas en la báscula digital (figura 11):

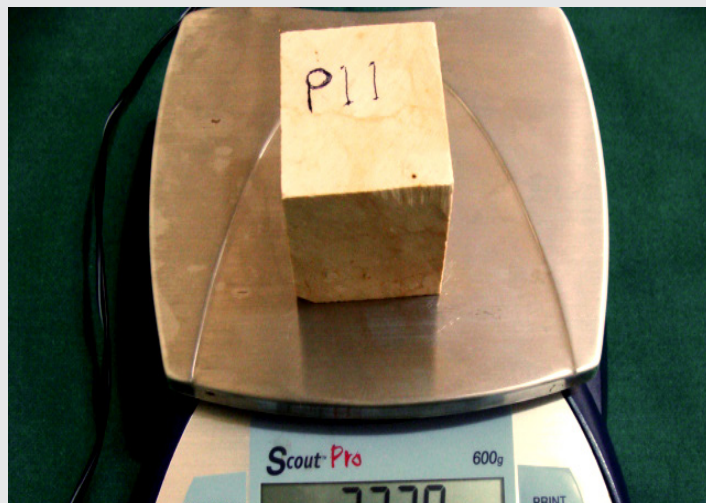


Figura 11. Fotografía del peso de las probetas saturadas

Este proceso se realizó para las dos zonas, los resultados de los pesos de las probetas húmedas se dan en la tabla 2:

Tabla 2. Peso de probetas húmedas

Número de la Probeta	Peso de Probetas Húmedas (B) gramos	
	Zona 1	Zona 2
P11	322.9	320.3
P12	322.5	322.6
P13	323.8	319.1
P14	323.3	324.8
P15	330.6	322.4
P16	321.4	321.3
P21	322.1	325.0
P22	326.2	329.4
P23	319.0	324.4
P24	321.4	325.1
P25	328.1	322.0
P26	325.8	322.4
P31	323.8	322.7
P32	323.9	320.9
P33	319.3	326.5
P34	323.1	328.0
P35	316.6	328.0
P36	321.9	326.1
P41	322.7	329.1
P42	322.3	319.6
P43	322.9	322.1
P44	322.9	323.3
P45	321.5	321.9
P46	320.0	324.7

Para la prueba de densidad, se pone la probeta húmeda dentro de una canastilla conectada a la báscula digital (figura 12):

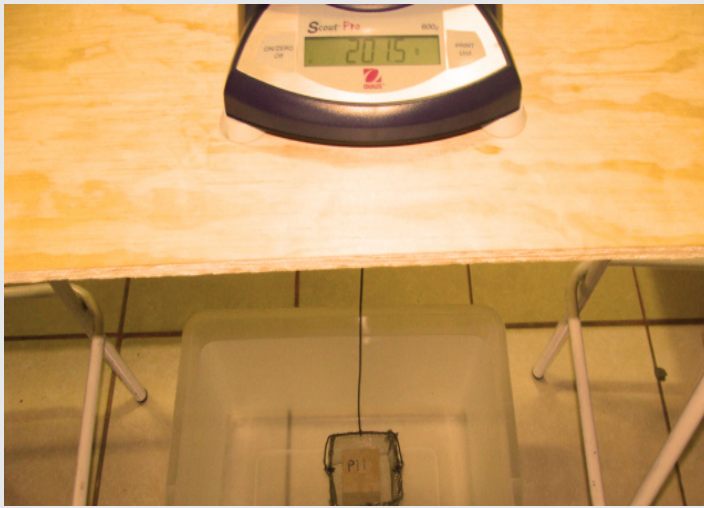


Figura 12. Fotografía de la probeta suspendida

Este proceso se realizó con las 48 probetas de las dos zonas, los resultados de los pesos se dan en la tabla 3:

Tabla 3. Peso de probetas sumergidas

Número de la Probeta	Peso de Probetas Sumergidas (C) gramos	
	Zona 1	Zona 2
P11	201.5	199.9
P12	201.2	199.8
P13	200.7	197.8
P14	199.9	201.5
P15	205.6	200.3
P16	200.4	200.5
P21	200.8	202.2
P22	203.4	205.3
P23	197.7	201.4
P24	199.2	202.0
P25	204.0	201.2
P26	202.3	199.2
P31	201.5	200.3
P32	201.0	200.3
P33	199.0	203.8
P34	201.8	204.6
P35	197.9	204.6
P36	201.0	203.0
P41	200.4	205.4
P42	199.5	199.4
P43	200.4	201.3
P44	201.4	201.5
P45	200.4	200.7
P46	198.6	202.4

La especificación de cualquier piedra dimensionable debe basarse en consideraciones de ubicación, diseño e ingeniería específicas para el uso previsto.

La Norma ASTM C1527-09 Standard Specification for Travertine Dimension Stone abarca las características del material, requerimientos físicos y muestras apropiadas para la selección del travertino para construcción general y propósitos estructurales[7].

En la tabla 4, se dan las propiedades requeridas del Travertino para considerarlo apropiado para los diversos usos:

Tabla 4. Propiedades

Propiedad	Interiores	Exteriores
Densidad mínima (kg/m ³)	2305	2305
Absorción de Agua máxima (%)	2.5	2.5
Resistencia a la Flexión mínima (MPa)	4.8	6.9
Módulo de Ruptura mínima (MPa)	4.8	6.9
Resistencia a la Compresión mínima (MPa)	34.5	52
Resistencia a la Abrasión mínima (Ha)	10	10

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En cada zona, la Norma ASTM C97/C97M-09 Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone, menciona que con el peso de la probeta seca (A) y el peso de la probeta húmeda (B), se determina el porcentaje de absorción de agua (A_A) para cada probeta[8], mediante la Ec. (1):

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

La tabla 5, muestra los resultados obtenidos de las dos zonas:

De la tabla 5 se observa que la zona 1 tiene un promedio de 0.93% y que la zona 2 tiene un promedio de 0.90%, ambas zonas con una desviación estándar de 0.13%.

Tabla 5. Porcentaje de Absorción de Agua

Número de la Probeta	Porcentaje de Absorción de Agua (A_a)	
	Zona 1	Zona 2
P11	0.84	0.79
P12	0.81	1.13
P13	1.00	1.08
P14	1.13	0.96
P15	0.95	1.00
P16	0.85	0.82
P21	0.88	0.87
P22	0.80	0.83
P23	1.14	1.00
P24	1.04	0.96
P25	0.92	0.75
P26	1.02	1.22
P31	0.87	1.06
P32	1.03	0.82
P33	0.92	0.77
P34	0.72	0.83
P35	0.70	0.80
P36	0.81	0.93
P41	0.97	0.73
P42	1.16	0.85
P43	0.97	0.69
P44	0.81	0.91
P45	0.88	0.91
P46	1.07	0.81
Promedio	0.93	0.90
Desv. Estándar	0.13	0.13

Ahora, se tiene que realizar un análisis de varianza de un factor para determinar si no existe diferencia significativa entre las dos zonas; la tabla 6, muestra los resultados del análisis de varianza del porcentaje de absorción de agua realizado:

Tabla 6. Análisis de Varianza de Absorción de Agua

Origen de las variaciones	Suma de cuad..	Grado de libert.	Prom de los cuad.	F	Prob	Valor crítico de F
Entre grupo	0.01	1	0.01	0.72	0.40	4.05
Dentro de los grupos	0.79	46	0.02			
Total	0.80	47				

Como $F < F_{crítico}$ no existe diferencia significativa entre las dos zonas, por lo que el Porcentaje de Absorción de Agua se determina a partir del promedio de todas las mediciones obtenidas; de esta forma, el Porcentaje de Absorción de Agua es de 0.91% con una desviación estándar de 0.13%.

También, para determinar la Densidad en cada zona, la Norma ASTM C97/C97M-09 Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone menciona que con el peso de la probeta seca (A), el peso de la probeta húmeda (B) y el peso de la probeta sumergida (C) se determina la densidad de cada probeta[8], a partir de la Ec. (2):

$$Ec. (2)$$

La tabla 7 muestra los resultados obtenidos de las dos

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

zonas:

De la tabla 7 se observa que la zona 1 tiene un prome-

Tabla 7. Densidad

Número de la Probeta	Densidad (ρ) kg/m ³	
	Zona 1	Zona 2
P11	2638	2640
P12	2637	2598
P13	2604	2603
P14	2591	2609
P15	2620	2614
P16	2634	2638
P21	2632	2624
P22	2635	2633
P23	2600	2611
P24	2603	2616
P25	2620	2646
P26	2611	2585
P31	2625	2609
P32	2609	2639
P33	2630	2641
P34	2645	2636
P35	2649	2637
P36	2641	2625
P41	2613	2641
P42	2594	2636
P43	2611	2648
P44	2636	2631
P45	2632	2632
P46	2608	2634
Promedio	2622	2626
Desv. Estándar	17	17

dio de 2622 kg/m³ y que la zona 2 tiene un promedio de 2626 kg/m³, ambas zonas con una desviación estándar de 17 kg/m³.

Ahora, se tiene que realizar un análisis de varianza de un factor para determinar si no existe diferencia significativa entre las dos zonas; la tabla 8, muestra los resultados del análisis de varianza de la densidad realizado:

Tabla 8. Análisis de Varianza de Densidad

Origen de las variaciones	Suma de cuad..	Grado de libert.	Prom de los cuad.	F	Prob	Valor crítico de F
Entre grupo	243	1	243	0.87	0.36	4.05
Dentro de los grupos	12872	46	280			
Total	13115	47				

Como $F < F_{crítico}$ no existe diferencia significativa entre las dos zonas, por lo que la Densidad se determina a partir del promedio de todas las mediciones obtenidas; de esta forma, la Densidad es de 2624 kg/m³ con una desviación estándar de 17 kg/m³.

La tabla 9, muestra la comparación de los resultados obtenidos en las pruebas de absorción y densidad, con respecto a los establecidos por la norma ASTM C1527-09:

Tabla 9. Resultados comparativos

Propiedad	Parámetros Establecidos por la Norma	Resultados Obtenidos
Densidad	2305 kg/m ³ (mínima)	2624 kg/m ³
Absorción de Agua	2.5 % (máxima)	0.91 %

De tal forma que se con base en la tabla 9, se verifica y se concluye que en las dos propiedades estudiadas, la Roca Caliza Travertino tipo Dorado Tepexi extraído del banco inferior de la cantera, cumple con las especificaciones de la norma ASTM C1527-09; por lo que, este material tiene la calidad requerida para ser usado en la elaboración de productos para interiores y en exteriores tales como cubiertas y muebles para baño, peldaños de escalera y pisos. Esto a su vez, le permitirá a la empresa demostrar la calidad de su material para incursionar en nuevos mercados tanto nacionales como internacionales.

REFERENCIAS

[1] Navarrete, M.; Martínez, W.; Alonso, E.; Lara, C.; Bedolla, A.; Chávez, H.; Delgado, D. y Arteaga, J.C. (2013). Caracterización de propiedades físico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura. Revista ALCONPAT. Vol. 3, No. 2, pags 113-14.

[2] Marble Institute of America. (2011). Glossary of Stone Industry Terms. USA: Autor.

[3] Buj, O. y Gisbert, J. (2010). Caracterización tecnológica y adecuación de uso de dos litoarenitas explotadas en el pirineo aragones (España). Global Stone Congress.

[4] Benavente, D.; Bernabéu, A. M. y Cañaveras, J. C. (2004). Estudio de propiedades físicas de la roca. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. Vol. 12, No. 1, pags 62-68. ISSN: 1132-9157.

[5] Urosevic, M.; Pardo, E. S.; Ruíz-Agudo, E. y Cardell, 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, Vol. 61, No. 301, pags 93-114. ISSN: 0454-2746.

[6] Marble Institute of America. (2007). Travertine. USA: Autor.

[7] American Society for Testing Materials. (2009). ASTM C1527-09 Standard Specification for Travertine Dimension Stone. USA: Autor.

[8] American Society for Testing Materials (2009). ASTM C97/C97M-09 Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone. USA: Autor.