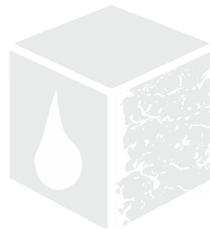




Mecánica
de
Materiales

Ingeniantes

Estudio de alteración del peso en el Mármol tipo Café Tabaco mediante una prueba de humedad-sequedad



Colaboración

Adolfo Manuel Morales Tassinari, Javier Guevara Rivera, Pedro Cruz Ortega, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez; Jorge Arturo Hernández Zárate, Instituto Tecnológico de Veracruz.

RESUMEN: La presente investigación tiene como propósito realizar una prueba de humedad-sequedad para determinar el porcentaje de pérdida del peso en el mármol tipo Café Tabaco extraído de la cantera localizada en Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, y que pertenece a la empresa Mármoles Tepeaca S.A. de C.V. La prueba de humedad-sequedad consistió de secado a $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 16 horas, enfriamiento a temperatura ambiente durante 2 horas e inmersión en agua destilada durante 6 horas. La prueba se repitió durante 15 ciclos. Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que el mármol tipo Café Tabaco extraído de la cantera tiene un porcentaje de pérdida de peso del 0.03% con una desviación estándar del 0.01%. De esta forma, el mármol tipo Café Tabaco extraído de la cantera presenta una alteración muy baja; sin embargo, este material presenta agrietamientos y rupturas lo cual afecta sus cualidades estéticas.

PALABRAS CLAVE: Alteración, mármol, peso, prueba de humedad-sequedad.

ABSTRACT: This research has the purpose to do a moisture-dry test to determinate the percentage of weight lost in the marble type Coffee Tobacco extracted from the quarry located in Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, and belongs to Mármoles Tepeaca S.A. de C.V. factory. The moisture-dry test consisted of drying at $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 16 hours, cooling to room temperature for 2 hours and immersion in distilled water for 6 hours. The test was repeated for 15 cycles. The results obtained in this research show that the marble type coffee tobacco extracted from the quarry has a percentage of weight loss of 0.03%, with a standard deviation of 0.01%. In this way, the marble type coffee tobacco extracted from the quarry presents a very low alteration; however, this material presents cracks and ruptures which affect its aesthetic qualities.

KEYWORDS: Alteration, marble, weight, moisture-dry test.

INTRODUCCIÓN

Un estudio importante a realizar cuando se pretende utilizar una roca con fines ornamentales es la caracterización de su durabilidad, es decir, la resistencia que ofrece el material al deterioro producido por diferentes agentes de meteorización (agua, temperatura, cristalización de sales solubles, etc.) [1]. Por lo tanto, la durabilidad es la capacidad de resistir el deterioro y mantener el tamaño y forma de los cristales, la resistencia mecánica, la densidad, la porosidad, la velocidad de propagación de las ondas de ultrasonido, la permeabilidad, la rugosidad, el color y el aspecto estético, originales en el tiempo [2].

En el deterioro de una roca influyen los factores intrínsecos del material de construcción empleado (naturaleza, composición y propiedades) y los factores extrínsecos (medio ambiente y agentes externos) que determinarán el mecanismo de alteración afectando al material puesto en obra, ya sea físico, químico o biológico [3]. Por lo que, resulta importante conocer la respuesta del material al medio externo para prever su evolución [4]. Los ensayos de durabilidad pueden realizarse con distintos fines [5]:

-Valorar el comportamiento en probetas sanas, alteradas o sometidas a tratamientos de conservación.

- Conocer aspectos implicados en su alteración con el fin de buscar soluciones al deterioro.

-Establecer índices de calidad y predecir su esperanza de vida en un cierto ambiente.

Uno de estos ensayos de durabilidad es el ensayo de humedad-sequedad que tiene como objeto conocer el efecto de los procesos relacionados con la saturación de agua y el secado de los materiales pétreos procurando simular la alternancia de los días secos y lluviosos [6].

En la localidad de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México existe una cantera de mármol tipo Café Tabaco que es propiedad de la empresa Mármoles Tepeaca S.A. de C.V.; en la Figura 1, se muestra una fotografía de la cantera:



Figura 1. Fotografía de la cantera.

El Mármol es una roca carbonatada tiene una distintiva textura cristalina por recristalización, frecuentemente por calor y presión durante el metamorfismo, y compuesta principalmente por minerales de calcita y/o dolomita [7]. En la Figura 2, se muestra una fotografía del mármol tipo Café Tabaco procedente de la cantera de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.



Figura 2. Fotografía del mármol tipo Café Tabaco.

En una investigación realizada en esta cantera de mármol tipo Café Tabaco, se determinó que presenta morfologías con cristales de hábito irregular, muy planas, curvos en formas masivas y compactas con una dimensión de $20\mu\text{m}$ a $150\mu\text{m}$, así mismo morfologías con un tamaño de grano no regular, con superficies fracturadas y mayor rugosidad con una dimensión de $10\mu\text{m}$ constituidas principalmente por C, O, Ca y Mg; así mismo, se identificaron dos fases presentes en los estratos correspondiente a la calcita (CaCO_3) y dolomita [$\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$] con un sistema cristalino romboédrico; mientras que, por espectroscopia infrarroja se identificaron las tres bandas características del carbonato en 1419.10 cm^{-1} , 876.65 cm^{-1} y 727.44 cm^{-1} , así como las bandas características de la dolomita en 1040.14 cm^{-1} y 728 cm^{-1} [8].

El presente estudio tiene como finalidad realizar una prueba de humedad-sequedad en el mármol tipo Café Tabaco proveniente de la cantera ubicada en la localidad de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, para determinar el porcentaje de pérdida de peso y la alteración visual sufrida en este material.

MATERIAL Y MÉTODOS

La empresa Mármoles Tepeaca S.A. de C.V., que se encuentra ubicada en la Ciudad de Tepeaca, Puebla, México, facilitó sus instalaciones para fabricar las probetas cúbicas para la fase experimental.

Del grupo de probetas procesadas por la empresa, se seleccionaron 12 probetas con base al color característico café oscuro y que en cada una de sus caras tuviese una dimensión de $50\pm 0.5\text{ mm}$.

Después, las probetas fueron lijadas y pulidas para eliminar el exceso de rugosidad superficial proveniente del proceso de corte. El lijado se realizó en una máquina pulidora marca MTI KJ GROUP modelo UNIPOL 820 utilizando lijas con tamaño de grano 240, 400; mientras que para el pulido se utilizó una lija con tamaño de grano 600.

Finalmente, a las probetas se les asignó un número con el cual se fuesen a identificar durante la prueba de hume-

dad-sequedad. En la Figura 3, se muestra una fotografía de las 12 probetas preparadas y numeradas:



Figura 3. Fotografías de las 12 probetas seleccionadas.

La prueba de humedad-sequedad se realizó en el área de secado perteneciente al Centro de Competitividad de la Industria del Mármol que se encuentra en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez, en la Ciudad de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

Para iniciar la prueba de humedad-sequedad, las probetas de mármol tipo Café Tabaco, se desecaron en un horno de secado marca Memmert modelo UP 500 a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas. En la Figura 4, se muestra una fotografía de las 12 probetas dentro del horno de secado:



Figura 4. Fotografía del secado inicial de las probetas.

Para garantizar que las 12 probetas estuviesen secas, se pesaron en una báscula digital marca Mettler Toledo modelo PB3002-S DeltaRange® en la hora 46, en la hora 47 y en la hora 48, obteniéndose pesos constantes; de tal manera que, en la hora 48 se obtuvo el peso seco en cada probeta. En la Figura 5, se muestra una fotografía del peso seco inicial de la probeta PA01:

Cabe mencionar que, cada una de las mediciones de los pesos secos iniciales de las probetas fue realizada a una temperatura ambiente promedio de 22°C .

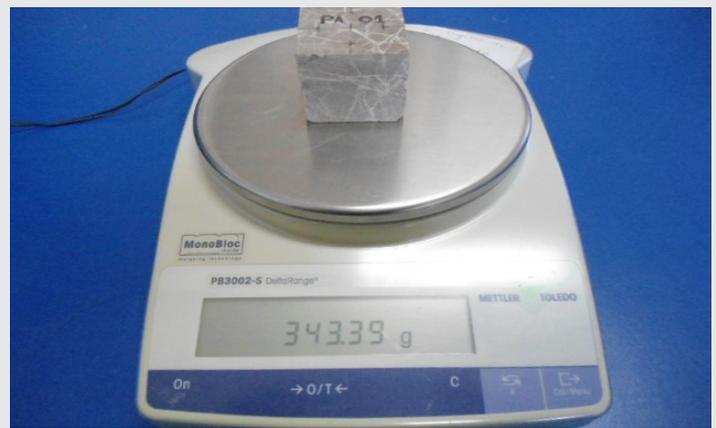


Figura 5. Fotografía del peso seco inicial de PA01.

Después del pesado inicial, las probetas se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 2 horas; esto se realizó, con la finalidad de que las probetas no sufrieran un choque térmico superficial cuando fueran a sumergirse en agua destilada. En la Figura 6, se muestra una fotografía del enfriado de las probetas a temperatura ambiente:

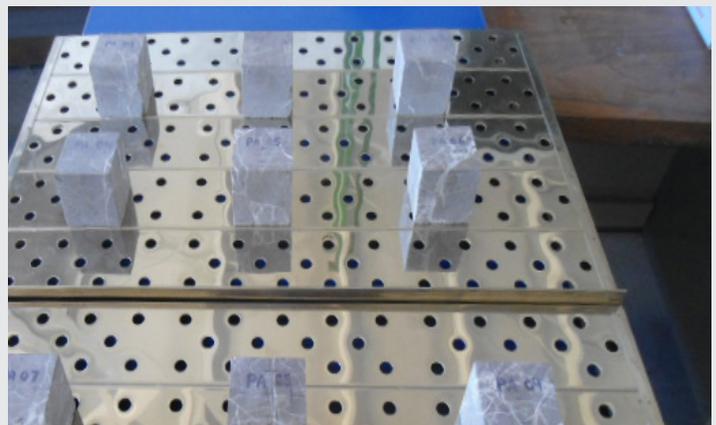


Figura 6. Fotografía del enfriamiento de las probetas.

Posterior a que las probetas se enfriaran, se sumergieron en agua destilada a temperatura ambiente durante 6 horas, para que las probetas absorbiesen el agua destilada. La Figura 7, muestra una fotografía de las probetas sumergidas en agua destilada:

El ciclo de prueba de humedad-sequedad se inició secando las probetas húmedas en un horno de secado marca Memmert modelo UP 500 a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 16 horas. Después, las probetas se enfriaron a temperatura ambiente promedio de 22°C durante 2 horas. Finalmente, las probetas se sumergieron en agua destilada a temperatura ambiente durante 6 horas.

El ciclo de prueba de humedad-sequedad cuyo proceso es secado-enfriado-inmersión duró 24 horas. De esta forma, se repitieron 15 ciclos para concluir la prueba.

Para finalizar la prueba de humedad-sequedad, las probetas de mármol tipo Café Tabaco, se secaron en un horno de secado marca Memmert modelo UP 500 a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas.



Figura 7. Fotografía de las probetas en agua destilada.

En la Figura 8, se muestra las 12 probetas dentro del horno de secado:



Figura 8. Fotografía del secado final de las probetas.

Para garantizar que las 12 probetas estuviesen secas, se pesaron en una báscula digital marca Mettler Toledo modelo PB3002-S DeltaRange® en la hora 46, en la hora 47 y en la hora 48, obteniéndose pesos constantes; de tal manera que, en la hora 48 se obtuvo el peso seco en cada probeta. En la Figura 9, se muestra una fotografía del peso seco final de la probeta PA01:



Figura 9. Fotografía del peso seco final de PA01.

Cabe mencionar que, cada una de las mediciones de los pesos secos finales de las probetas fue realizada a temperatura ambiente promedio de 22°C.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A partir de los datos obtenidos del peso seco inicial (M_O) de las probetas y de los datos obtenidos del peso seco final (M_F) de las probetas, se obtiene el porcentaje de pérdida de peso (DWL) de cada probeta individual mediante la Ec. (1):

$$DWL = \frac{M_O - M_F}{M_O} \times 100\% \quad \text{Ec. (1)}$$

En la Tabla 1, se muestran los resultados del porcentaje de la pérdida de peso de cada probeta después de la prueba de humedad-sequedad obtenidos a partir de la Ec. (1):

Tabla 1. Porcentaje de pérdida de peso de las probetas. Número

Número de Probeta	Peso Seco Inicial M_O (gramos)	Peso Seco Final M_F (gramos)	Porcentaje de Pérdida de Peso DWL (%)
PA01	343.39	343.27	0.03
PA02	355.04	354.88	0.05
PA03	358.39	358.25	0.04
PA04	345.10	344.97	0.04
PA05	363.38	363.25	0.04
PA06	338.29	338.19	0.03
PA07	350.53	350.41	0.03
PA08	349.34	349.23	0.03
PA09	346.17	346.06	0.03
PA10	348.15	348.02	0.04
PA11	348.31	348.22	0.03
PA12	350.17	350.07	0.03
Promedio			0.03

A partir de los resultados obtenidos de la Tabla 1, se muestra que el porcentaje de pérdida de peso del mármol tipo Café Tabaco es de 0.03% con una desviación estándar de 0.01%. En la Figura 10, se muestra el diagrama

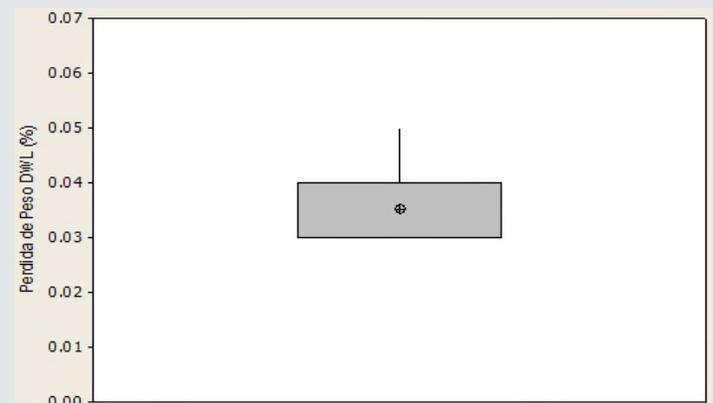


Figura 10. Diagrama de caja-bigote de pérdida de peso.

de caja-bigote del porcentaje de pérdida de peso obtenida de los datos de la Tabla 1.

En la Tabla 2, la Tabla 3 y la Tabla 4 se muestran los valores obtenidos de los pesos de cada probeta durante el ciclo de prueba de humedad-sequedad.

Tabla 2. Peso seco de probetas del ciclo 1 al ciclo 5.

Número de Probeta	Pesos de las probetas por ciclo (gramos)				
	1	2	3	4	5
PA01	343.38	343.37	343.37	343.35	343.34
PA02	355.04	355.01	355.01	355.01	354.99
PA03	358.43	358.31	358.37	358.37	358.36
PA04	345.11	345.10	345.10	345.09	345.08
PA05	363.38	363.36	363.36	363.35	363.36
PA06	338.31	338.29	338.29	338.27	338.27
PA07	350.52	350.51	350.51	350.48	350.48
PA08	349.35	349.33	349.33	349.32	349.31
PA09	346.24	346.21	346.21	346.20	346.20
PA10	348.16	348.14	348.14	348.13	348.12
PA11	348.35	348.32	348.32	348.31	348.31
PA12	350.19	350.16	350.16	350.15	350.15
Promedio	349.71	349.68	349.68	349.67	349.66

Tabla 3. Peso seco de probetas del ciclo 6 al ciclo 10.

Número de Probeta	Pesos de las probetas por ciclo (gramos)				
	6	7	8	9	10
PA01	343.34	343.34	343.33	343.33	343.33
PA02	354.99	354.99	354.98	354.98	354.97
PA03	358.36	358.36	358.36	358.36	358.35
PA04	345.08	345.08	345.07	345.07	345.07
PA05	363.35	363.35	363.34	363.33	363.33
PA06	338.27	338.27	338.27	338.26	338.26
PA07	350.48	350.48	350.47	350.47	350.47
PA08	349.31	349.31	349.30	349.30	349.30
PA09	346.20	346.20	346.19	346.19	346.19
PA10	348.11	348.11	348.11	348.11	348.11
PA11	348.31	348.31	348.31	348.30	348.30
PA12	350.15	350.15	350.15	350.14	350.14
Promedio	349.66	349.66	349.66	349.65	349.65

Tabla 4. Peso seco de probetas del ciclo 11 al ciclo 15.

Número de Probeta	Pesos de las probetas por ciclo (gramos)				
	11	12	13	14	15
PA01	343.33	343.33	343.33	343.31	343.31
PA02	354.97	354.95	354.94	354.94	354.94
PA03	358.34	358.34	358.34	358.34	358.34
PA04	345.07	345.06	345.05	345.05	345.05
PA05	363.33	363.33	363.33	363.32	363.32
PA06	338.25	338.25	338.25	338.25	338.25
PA07	350.45	350.45	350.45	350.45	350.45
PA08	349.29	349.29	349.29	349.28	349.28
PA09	346.19	346.18	346.18	346.18	346.17
PA10	348.09	348.09	348.09	348.09	348.08
PA11	348.30	348.29	348.29	348.29	348.29
PA12	350.14	350.14	350.14	350.14	350.13
Promedio	349.65	349.64	349.64	349.64	349.63

Para obtener la gráfica del comportamiento cinético del porcentaje de pérdida de peso, se utilizan los promedios obtenidos de la Tabla 2, la Tabla 3 y la Tabla 4, para obtener la Tabla 5:

Tabla 5. Concentrado del porcentaje promedio de pérdida de peso.

Tiempo (días)	Peso Promedio de las Probetas (gramos)	Porcentaje Promedio de Pérdida de Peso (%)
0 (Inicial)	349.69	0.00
1	349.71	0.00
2	349.68	0.00
3	349.68	0.00
4	349.67	-0.01
5	349.66	-0.01
6	349.66	-0.01
7	349.66	-0.01
8	349.66	-0.01
9	349.65	-0.01
10	349.65	-0.01
11	349.65	-0.01
12	349.64	-0.01
13	349.64	-0.01
14	349.64	-0.01
15	349.63	-0.02
17 (Final)	349.57	-0.03

A partir de los valores de los porcentajes promedio de las pérdidas de peso dados en la Tabla 5, en la Figura 11 se muestra la gráfica del comportamiento cinético del porcentaje de la pérdida de peso:

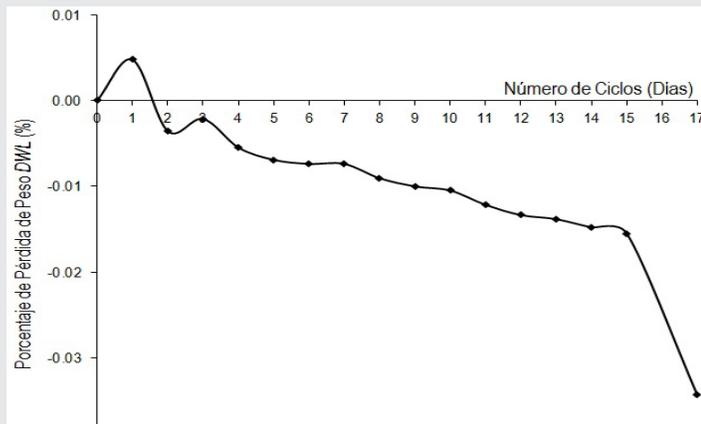


Figura 11. Gráfica del comportamiento cinético.

Además de la pérdida de peso, las principales alteraciones visuales sufridas en el mármol tipo Café Tabaco después de la prueba de humedad-sequedad fueron las grietas superficiales y las rupturas.

En la Figura 12 se muestra una fotografía de una probeta con grietas en la superficie:



Figura 12. Fotografía de una probeta con grietas.

En la Figura 13 se muestra una fotografía de una probeta con rupturas en las orillas:

De esta forma, las conclusiones de la presente investigación respecto del mármol tipo Café Tabaco extraído de la cantera ubicada en Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, son las siguientes:

- El porcentaje de pérdida de peso es de 0.03% con una desviación estándar de 0.01%.

- Como se muestra en la Figura 11, a partir del segundo día existe una pérdida de peso mediante el mecanismo de disgregación.

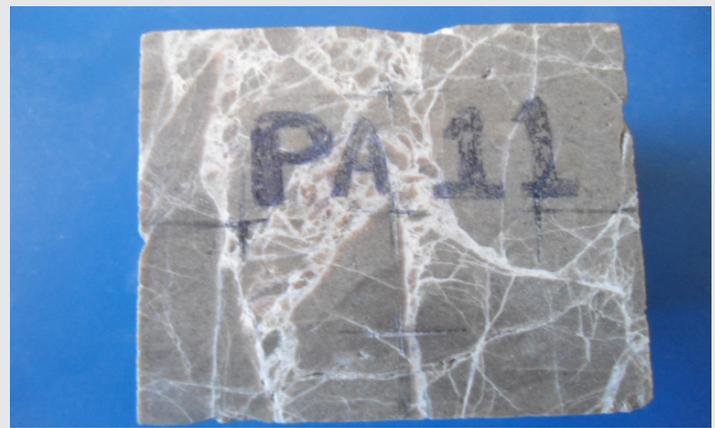


Figura 13. Fotografía de una probeta con ruptura.

- Se presentan agrietamientos en la cara superficial y rupturas en las orillas; por lo que, afecta sus cualidades estéticas.

- El porcentaje de pérdida de peso no es muy elevado, por lo que este material en condiciones normales de días lluviosos es adecuado para su uso; sin embargo, resulta importante que se pueda proteger ante este medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ruiz, V.; Calleja, L.; Suárez, L.; Rodríguez, A. y Celorio, C. (2005). Durabilidad en Ambientes Húmedos de la Arenisca de la Marina (Formación Lastres, Jurásico Superior de Asturias). Universidad de Oviedo, Trabajos de Geología, 25, 105-115.
- [2] Freire, David. (2016). El Granito como Piedra de Construcción en Madrid: Durabilidad y Puesta en Valor. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas, Departamento de Petrología y Geoquímica. Madrid, España.
- [3] De Rosario, I. y Feijoo, J. (2016). Alteración de las Rocas y Otros Materiales de Construcción en los Monumentos. Técnicas de Conservación. Tecnoloxia e Ciencias Experimentais. Universidad de Vigo. Vigo, España.
- [4] Iñigo, A.; Vicente, M. y Rives, V. (2000). Reproducción en Cámara Climática de las Formas de Alteración Más Frecuentes Detectadas en Materiales Graníticos, en Clima de Tendencia Continental. Materiales de Construcción, 50(257), 57-60.
- [5] Alonso, F. (2013). Durabilidad de Materiales Roccosos. Universidad de Oviedo. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). 1-20.
- [6] Benavente, D.; Bernabéu, A. y Cañaveras, J. (2004). Estudio de Propiedades Físicas de las Rocas. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 12(1), 62-68. ISSN: 1132-9157.
- [7] ASTM International. (2016), ASTM C119-16 Standard Terminology Relating to Dimension Stone. ASTM International. USA.
- [8] Tlatempa, M.; Estrada, R.; Rubio, E. y Rodríguez-Lugo, V. (2011). Caracterización Microestructural de Mármol de la Cantera Café Tabaco Procedente de Tepexi de Rodríguez, Puebla. Acta Microscópica, (20) 1, 60-65.