

Incremento de la Rugosidad en el Mármol tipo Café Tabaco Mediante Cristalización de Sales por Sulfato de Sodio al 14%

A. M. Morales-Tassinari^{1*}, J. Ramírez-Peña¹, P. Cruz-Ortega¹, J. A. Hernández-Zárate², A. Servín-Martínez²

Resumen—El estudio tuvo como propósito realizar un ensayo de cristalización de sales por sulfato de sodio al 14% para determinar el porcentaje de incremento en la rugosidad del mármol tipo Café Tabaco procedente de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. Para el ensayo de cristalización de sales se utilizaron 12 probetas cúbicas con dimensión de 50 ± 0.5 mm. El ensayo de cristalización de sales consistió en el secado de las probetas en un horno a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 16 horas, enfriado de las probetas a temperatura ambiente durante 2 horas, e inmersión de las probetas en solución de sulfato de sodio al 14% a temperatura ambiente durante 6 horas; de esta manera, se finalizó un ciclo de 24 horas. Se realizaron 15 ciclos para completar la prueba de cristalización de sales por sulfato de sodio. El resultado muestra que el mármol tipo Café Tabaco procedente de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, tuvo un porcentaje de incremento en la rugosidad del 159.35%. Con este resultado, el mármol tipo Café Tabaco de esta localidad tiene una alta alteración superficial; por lo tanto, es importante el uso de selladores que mitíguen la alteración superficial.

Palabras claves— Incremento de la rugosidad, mármol tipo Café Tabaco, prueba de cristalización de sales, sulfato de sodio.

Abstract—This study had the purpose to perform a salt crystallization test by sodium sulfate of 14% to determine the percentage of increase in the roughness of the marble type Café Tabaco from Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, Mexico. For the salt crystallization test, 12 cubic specimens with a size of 50 ± 0.5 mm were used. The salt crystallization test consisted of drying the specimens in an oven at a temperature of $60 \pm 2^\circ\text{C}$ for 16 hours, cooling the specimens at room temperature for 2 hours, and immersing the specimens in sodium sulfate solution at 14% at room temperature for 6 hours; in this way, a 24-hour cycle was completed. 15 cycles were performed to complete the salt crystallization test by sodium sulfate. The result shows that marble type Café Tabaco from Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, Mexico, had a percentage of increase in roughness of 159.35%. With this result, the marble type Café Tabaco of this locality has a high surface alteration; therefore, the use of sealants that mitigate surface alteration is important.

Keywords— Increase of roughness, marble type Café Tabaco, salt crystallization test, sodium sulfate.

¹ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez, Ingeniería Mecánica, Avenida Tecnológico s/n, Col. Barrio San Sebastián Sección Primera, C.P. 74690, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

I. INTRODUCCIÓN

La roca es un agregado natural que mediante la combinación de uno o más minerales (cristalinos o amorfos) tienen características homogéneas [1]; por lo que, la naturaleza y el aspecto de esta roca están fuertemente influidos por los minerales que la componen [2]. Una de las rocas más utilizadas como material de construcción y ornamental es el mármol y que se define como una roca carbonatada que tiene una textura cristalina por recristalización metamórfica, frecuentemente por calor y presión durante el metamorfismo, y compuesta principalmente por minerales de calcita y/o dolomita [3].

En la localidad de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, existe una cantera de mármol tipo Café Tabaco que se extrae para su transformación en diferentes productos como solería, aplacados de fachadas, pisos, peldaños de escaleras, etc.; de esta forma, suelen ser que son comercializados en distintas regiones de México. En la Figura 1, se muestra una fotografía de la cantera del mármol tipo Café Tabaco:



Figura 1. Fotografía de la cantera de mármol tipo Café Tabaco

En la Figura 2, se muestra una fotografía de la superficie del mármol tipo Café Tabaco procedente de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México:

² Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Veracruz. Calzada Miguel Ángel de Quevedo No. 2772, Col. Formando Hogar, CP. 91820, Veracruz, Veracruz, México.

* Correo electrónico: tassinari.adolfo1973@gmail.com

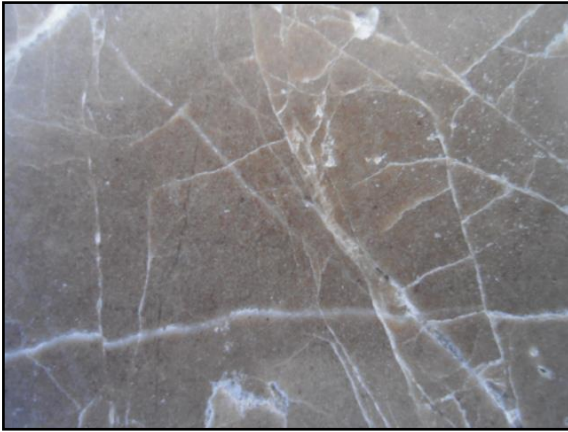


Figura 2. Fotografía de la superficie del mármol tipo Café Tabaco

En investigaciones realizadas a esta cantera de mármol tipo Café Tabaco se ha determinado un porcentaje de absorción de agua del 0.34% y una densidad de 2773 kg/m³ [4]; además, mediante una prueba de humedad-sequedad se obtuvo un porcentaje de pérdida de peso del 0.03% [5] y un porcentaje de aumento en la rugosidad del 26.54% [6] debido al proceso de disgregación granular.

El uso de cualquier roca fomenta la realización de estudios de alteración; en este sentido, la alteración es la modificación de sus características, de su composición o de sus propiedades, por exposición al ambiente [7]. Muchos estudios han demostrado que la alteración salina es un mecanismo importante de la alteración de la roca [8]; cabe mencionar que, las soluciones salinas penetran la roca y cuando el agua se evapora la sal se cristaliza dependiendo de: la solubilidad de la sal, características del sistema poroso y condiciones ambientales [9].

Para reproducir en laboratorio la alteración salina que sufre una roca existe el ensayo la prueba de cristalización de sales solubles que es un ensayo acelerado de durabilidad en condiciones ambientales extremas [10]; por lo que, en esta prueba los daños se deben al incremento de volumen debido a los procesos de cristalización y en especial a los de hidratación de las sales, sobre todo en el interior de los poros [11].

Uno de los aspectos importantes de una roca puesta en obra es la apariencia de la superficie exterior porque proporciona información sobre su color, brillo, textura, etc.; por lo que, la resistencia de una roca ante la alteración salina está relacionada con la superficie y controlada por la rugosidad que se define como la irregularidad que presenta una superficie a intervalos pequeños [12].

El presente estudio presenta los resultados del porcentaje de incremento en la rugosidad en el mármol tipo Café Tabaco de la cantera ubicada en Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, mediante un ensayo de

cristalización de sales solubles por sulfato de sodio al 14%.

La metodología empleada para el ensayo de cristalización de sales por sulfato de sodio consiste en la saturación de las muestras a ensayar en una disolución salina de sulfato de sodio al 14% y posterior secado; después, tras un periodo de enfriamiento se completa el ciclo con la nueva inmersión de las probetas en la disolución [10]. En este sentido, el sulfato de sodio es una sal soluble que se considera muy peligrosa para la descomposición de la piedra, debido a su fuerte presión de cristalización [13]; en la Figura 3, se muestra una imagen del ensayo de cristalización de sales por sulfato de sodio:

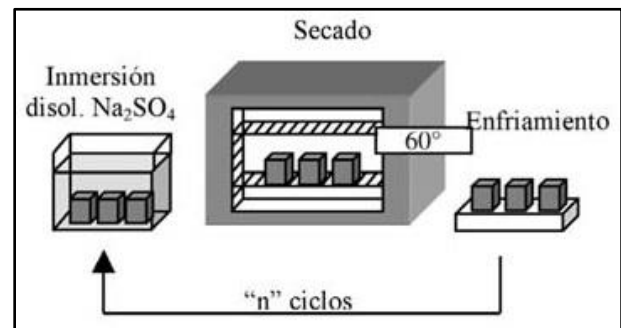


Figura 3. Imagen de la prueba de cristalización de sales por sulfato de sodio [10].

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El ensayo de cristalización de sales solubles por sulfato de sodio realizada al mármol tipo Café Tabaco de la cantera de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, se realizó en el Laboratorio de Ciencias e Investigación en Materiales (LACIIM) ubicado en el Centro de Competitividad y Tecnología para la Industria del Mármol perteneciente al Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez.

Para la realización del ensayo de cristalización de sales por sulfato de sodio se utilizaron los siguientes equipos y materiales: pulidora marca MTI modelo UNIPOL-820, vernier analógico marca MITUTOYO, horno de secado marca MEMMERT modelo UP500, báscula digital marca METTLER TOLEDO modelo SP30002-S, rugosímetro marca MITUTOYO modelo SJ201, termómetro digital marca MATEST, agua destilada, sulfato de sodio anhidro y lijas con tamaño de grano 400. De la Figura 4a) a la Figura 4i), se muestran las fotografías de los equipos y materiales empleados para el ensayo:



Figura 4. Equipos y materiales empleados en la prueba de cristalización de sales: a) Pulidora marca MTI; b) Vernier analógico marca MITUTOYO; c) Horno de secado marca MEMMERT; d) Báscula digital marca METTLER TOLEDO; e) Rugosímetro marca MITUTOYO; f) Termómetro digital marca MATEST; g) Agua destilada; h) Sulfato de sodio anhidro; i) Lijas con tamaño de grano 400

A. Selección y preparación de las probetas

La empresa Mármoles de Tepeaca S.A. de C.V., procesó las probetas de mármol tipo Café Tabaco para el ensayo de cristalización de sales mediante muestras obtenidas de la cantera de la localidad de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. De las probetas procesadas, se seleccionaron 12 probetas con base al color característico café oscuro; además, que cada probeta tuviera una dimensión de 50 ± 0.5 mm en cada superficie o arista cara.

Para la preparación de las 12 probetas, se seleccionó una superficie para que fuera la cara de referencia para la medición de rugosidad. La cara seleccionada, se lijó y pulió en una pulidora para eliminar las imperfecciones del proceso de corte y tener una superficie uniforme para la medición de la rugosidad. Posteriormente, a la cara pulida, se le marcaron 5 puntos de referencia para medir la rugosidad en dicha cara. Finalmente, se les asignó un número para que fueran identificadas durante la prueba. En la Figura 5a), se muestra una fotografía del pulido de la cara de referencia, mientras que en la Figura 5b), se muestra una fotografía de las probetas numeradas:



Figura 5. a) Lijado de una probeta; b) Probetas numeradas y marcadas.

B. Obtención del peso seco inicial de las probetas

Después de preparar las probetas, se secaron en un horno a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas. Para garantizar que las 12 probetas estuvieran secas, se pesaron en una báscula digital en la hora 46, hora 47 y hora 48; así, como en estas tres horas consecutivas los pesos de las probetas permanecieron constantes, se consideró que en la hora 48 las probetas tenían su peso seco inicial. En la Figura 6a), se muestra una fotografía del secado inicial de las probetas; mientras que en la Figura 6b), se muestra una fotografía del peso seco inicial de la probeta PC01:



Figura 6. a) Secado inicial; b) Peso seco inicial de la probeta PC01.

C. Obtención de la rugosidad inicial

Para la medición de la rugosidad inicial de las 12 probetas secas de mármol tipo Café Tabaco, se utilizó un rugosímetro; por lo que, a cada probeta seca se le midió la rugosidad inicial en los cinco puntos de la cara de referencia, donde el punto 1 es la marca superior, el punto 2 es la marca derecha, el punto 3 es la marca inferior, el punto 4 es la marca izquierda y el punto 5 es la marca central. De la Figura 7a) a la Figura 7d), se muestran las fotografías de la rugosidad inicial en el punto 5 (medición en el centro) de las probetas secas PC01, PC04, PC08 y PC12 respectivamente:



Figura 7. Rugosidad inicial en el punto 5 de las probetas: a) PC01; b) PC04; c) PC08; d) PC12.

Cabe mencionar que, cada medición de la rugosidad inicial en los cinco puntos de la cara de referencia de cada probeta se realizó a temperatura ambiente. En la Tabla I, se muestran los valores de las rugosidades previo al inicio del test iniciales de las 12 probetas secas:

TABLA I
RUGOSIDAD INICIAL DE LAS 12 PROBETAS

| Número de Probeta | Rugosidad Inicial de Probetas Secas (R_a) μm | | | | | Promedio |
|-------------------|---|---------|---------|---------|---------|----------|
| | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 | Punto 4 | Punto 5 | |
| PC01 | 0.38 | 0.41 | 0.37 | 0.33 | 0.32 | 0.36 |
| PC02 | 0.42 | 0.36 | 0.38 | 0.44 | 0.36 | 0.39 |
| PC03 | 0.34 | 0.38 | 0.41 | 0.43 | 0.38 | 0.39 |
| PC04 | 0.34 | 0.38 | 0.30 | 0.33 | 0.28 | 0.33 |
| PC05 | 0.32 | 0.39 | 0.43 | 0.41 | 0.30 | 0.37 |
| PC06 | 0.38 | 0.37 | 0.43 | 0.34 | 0.39 | 0.38 |
| PC07 | 0.47 | 0.34 | 0.37 | 0.43 | 0.44 | 0.41 |
| PC08 | 0.35 | 0.34 | 0.33 | 0.37 | 0.31 | 0.34 |
| PC09 | 0.43 | 0.35 | 0.41 | 0.34 | 0.35 | 0.38 |
| PC10 | 0.42 | 0.37 | 0.36 | 0.37 | 0.31 | 0.37 |
| PC11 | 0.44 | 0.38 | 0.37 | 0.41 | 0.39 | 0.40 |
| PC12 | 0.36 | 0.44 | 0.39 | 0.43 | 0.33 | 0.39 |

D. Ensayo de cristalización de sales por sulfato de sodio

Se preparó una solución salina conteniendo 1.4 kg de sulfato de sodio anhidro y 8.6 kg de agua destilada; por lo que se obtuvo, una solución de sulfato de sodio al 14%. Posteriormente, las probetas se sumergieron en dicha solución de sulfato de sodio al 14% a una temperatura ambiente durante 48 horas para que se saturaran. Para garantizar que las 12 probetas estuvieran saturadas, se pesaron en una báscula digital en la hora 46, hora 47 y hora 48; así, como en estas tres horas consecutivas los pesos de las probetas fueron constantes, se consideró que en la hora 48 las probetas tenían peso saturado.

En la Figura 8a), se muestra una fotografía con las 12 probetas sumergidas en la solución de sulfato de sodio al 14%; mientras que en la Figura 8b), se muestra una fotografía del peso saturado de la probeta PC01:



Figura 9. a) Probetas sumergidas en solución; b) Peso saturado de probetas PC01.

Una vez que se obtuvieron los pesos saturados de todas las probetas se inició el ciclo de prueba secando las 12 probetas en un horno de secado a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 16 horas. Posteriormente, las probetas se enfriaron a temperatura ambiente durante 2 horas, para evitar en lo posible un choque térmico superficial. Finalmente, las probetas se sumergieron en la solución de sulfato de sodio al 14% a temperatura ambiente durante 6

horas. De esta manera, el ciclo de prueba de secado-enfriado-inmersión duró 24 horas; por lo tanto, este ciclo de prueba se repitió durante 15 ciclos. En las Figuras 9a) y 9b), se muestran las fotografías de las patinas superficiales de las probetas PC04 y PC05 respectivamente:

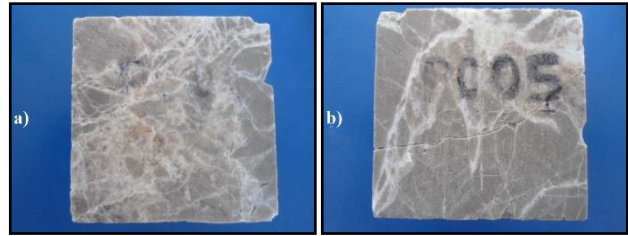


Figura 9. Patinas superficiales en las probetas: a) PC04; b) PC05.

E. Lavado de las probetas

Después del quinceavo ciclo, las 12 probetas se lavaron con agua destilada hasta que la sal fuera eliminada por completo; para esto, las probetas se sumergieron en agua destilada durante dos horas; al término de esas dos horas, se verificó que la resistividad del agua destilada era fuera la misma que la resistividad inicial de $200\text{M}\Omega\text{-cm}$. Se realizaron cuatro lavados adicionales hasta que la resistividad del agua destilada fuera la misma, antes y después del lavado. En la Figura 10a), se muestra una fotografía del lavado de las probetas; mientras que en la Figura 10b), se muestra una fotografía de la medición de la resistividad:

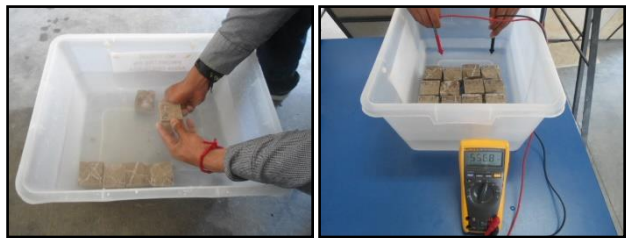


Figura 10. a) Lavado de las probetas; b) Medición de la resistividad.

F. Obtención del peso seco final

Finalmente, las 12 probetas se secaron en un horno de secado a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas. Para garantizar que las 12 probetas estuviesen secas, se pesaron en una báscula digital en la hora 46, hora 47 y hora 48, como en estas tres horas consecutivas los pesos de las probetas permanecieron constantes, se consideró que en la hora 48 las probetas tenían su peso seco final. En la Figura 11a), se muestra una fotografía del secado final de las probetas; mientras que, en la Figura 11b), se muestra una fotografía del peso seco final de la probeta PC01:



Figura 11. a) Secado final; b) Peso seco final de la probeta PC01.

G. Rugosidad final de las probetas

Para la medición de la rugosidad final de las 12 probetas secas de mármol tipo Café Tabaco, se utilizó un rugosímetro; por lo que, a cada probeta seca se le midió la rugosidad final en los cinco puntos señalados, donde el punto 1 es la marca superior, el punto 2 es la marca derecha, el punto 3 es la marca inferior, el punto 4 es la marca izquierda y el punto 5 es la marca central. De la Figura 12a) a la Figura 12d), se muestran las fotografías de la rugosidad final en el punto 5 de las probetas secas PC01, PC04, PC08 y PC12 respectivamente:



Figura 12. Rugosidad final en el punto 5 de las probetas: a) PC01; b) PC04; c) PC08; d) PC12.

Cabe mencionar que, cada medición de la rugosidad inicial en los cinco puntos de la cara de referencia de cada probeta se realizó a temperatura ambiente. En la Tabla I, se muestran los valores de las rugosidades previo al inicio del test iniciales de las 12 probetas secas:

TABLA II
RUGOSIDAD FINAL DE LAS 12 PROBETAS

| Número de Probeta | Rugosidad Inicial de Probetas Secas (R ₀) μm | | | | | |
|-------------------|--|---------|---------|---------|---------|----------|
| | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 | Punto 4 | Punto 5 | Promedio |
| PC01 | 0.74 | 0.92 | 0.94 | 0.99 | 0.83 | 0.88 |
| PC02 | 1.01 | 1.08 | 0.95 | 0.96 | 0.82 | 0.96 |
| PC03 | 0.99 | 0.91 | 0.93 | 0.95 | 0.92 | 0.94 |
| PC04 | 0.95 | 1.04 | 0.93 | 1.04 | 0.94 | 0.98 |
| PC05 | 0.98 | 0.94 | 0.98 | 0.90 | 0.92 | 0.94 |
| PC06 | 0.84 | 0.83 | 0.91 | 0.94 | 0.85 | 0.87 |
| PC07 | 0.98 | 0.95 | 1.08 | 1.02 | 1.01 | 1.01 |
| PC08 | 1.05 | 1.09 | 0.96 | 1.07 | 0.99 | 1.03 |
| PC09 | 1.06 | 1.03 | 1.04 | 1.08 | 1.05 | 1.05 |
| PC10 | 0.97 | 1.06 | 0.81 | 0.90 | 0.95 | 0.94 |
| PC11 | 0.96 | 0.98 | 1.07 | 0.92 | 1.02 | 0.99 |
| PC12 | 1.01 | 1.03 | 1.08 | 0.96 | 1.01 | 1.02 |

III. RESULTADOS

A partir de la rugosidad promedio inicial (R₀) y de la rugosidad promedio final (R_F), se obtiene el porcentaje de aumento en la rugosidad (AR) mediante la ecuación 1:

$$AR = \frac{R_F - R_0}{R_0} \times 100\%$$

1

En la Tabla III, se muestra el resultado del porcentaje de aumento en la rugosidad del mármol tipo Café Tabaco de la cantera de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, mediante una prueba de cristalización de sales solubles de por sulfato de sodio:

TABLA III
RESULTADOS DEL PORCENTAJE PROMEDIO DEL INCREMENTO DE LA RUGOSIDAD

| Número de Probeta | Rugosidad Promedio Inicial R ₀ (μm) | Rugosidad Promedio Final R _F (μm) | Porcentaje de Incremento de la Rugosidad AR (%) |
|----------------------------|--|--|---|
| PC01 | 0.36 | 0.88 | 144.20 |
| PC02 | 0.39 | 0.96 | 145.92 |
| PC03 | 0.39 | 0.94 | 142.27 |
| PC04 | 0.33 | 0.98 | 200.61 |
| PC05 | 0.37 | 0.94 | 155.14 |
| PC06 | 0.38 | 0.87 | 128.80 |
| PC07 | 0.41 | 1.01 | 145.85 |
| PC08 | 0.34 | 1.03 | 203.53 |
| PC09 | 0.38 | 1.05 | 179.79 |
| PC10 | 0.37 | 0.94 | 156.28 |
| PC11 | 0.40 | 0.99 | 148.74 |
| PC12 | 0.39 | 1.02 | 161.03 |
| Promedio | | | 159.35 |
| Desviación Estándar | | | 23.42 |

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos se concluye que, el mármol tipo Café Tabaco de la cantera de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, presenta un porcentaje de aumento en la rugosidad del 159.35% con una desviación estándar del 23.42%. El porcentaje de aumento en la rugosidad que presenta este material pétreo crea una pérdida en su principal cualidad estética que es el brillo; por lo que, para el cuidado estético de este material en condiciones de ambiente contaminado debe de considerarse el uso de recubrimientos que mitiguen la posible alteración que puede sufrir.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez por realizar el financiamiento, además del préstamo de sus instalaciones y equipos para la

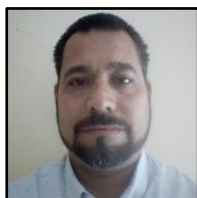
realización de la prueba de cristalización de sales.

VI. REFERENCIAS

- [1] López, V., Ascanio, G. y Guerrero, V. (2014). "Rocas industriales de Venezuela", Editorial Fundacite Aragua, Venezuela.
- [2] Tarbuck, E. y Lutgens, F. (2005). "Ciencias de la tierra. Una introducción a la geología física", Editorial Pearson Education, S. A., Madrid, España.
- [3] *Standard terminology relating to dimension stone*, ASTM Standard C119-16, MMMM, 2016.
- [4] Morales, A., Velasco, M., Cruz, P. y Chametla, C. (2017) "Estudio de Absorción y Densidad en el Mármol Tipo Café Tabaco Procedente de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México". *Memoria del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals CICS Tuxpan 2017*, vol. 9, no. 4, pp. 1366-1371.
- [5] Morales, M., Guevara, J., Ortega, P. y Hernández J. (2017) "Estudio de Alteración del Peso en el Mármol tipo Café Tabaco Mediante una Prueba de Humedad-Sequedad". *Ingeniantes*, año 4, vol. 1, no. 1, pp. 22-27.
- [6] Morales, A., Velasco, M., Chametla, C., Servín, A. y Hernández, J. (2017). "Estudio en la Rugosidad del Mármol tipo Café Tabaco Mediante una Prueba de Humedad-Sequedad". *Capital Intelectual*, año 3, no. 9, pp. 5-10.
- [7] Alonso, F., Esbert, R., Ordaz, J. y Vázquez, P. (2006). "Análisis del deterioro en los materiales pétreos de edificación". *RECOPAR*, no. 3, pp. 23-32.
- [8] Rodríguez, C. y Doehne, E. (1999). "Salt weathering: Influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern". *Earth Surface Processes and Landforms*, no. 24, pp. 191-209.
- [9] Aira, N. (2007) "Pátinas oscuras sobre rocas graníticas: Génesis y composición". Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela, España.
- [10] Benavente, D., Bernabéu, A. y Cañaveras, J. (2004). "Estudio de propiedades físicas de las rocas". *Enseñanzas de la Ciencia de la Tierra*, vol. 12, no.1, pp. 62-68.
- [11] Alonso, F. (2013). "Durabilidad de materiales rocosos". Departamento de Geología (Petrología y Geología), Universidad de Oviedo, Oviedo, España.
- [12] Fort, R., Álvarez, M., Vázquez-Calvo, C. y Gómez-Villalva, L. (2013). "Análisis de la microrugosidad mediante técnicas portátiles: Aplicaciones y casos de estudio en patrimonio". *Las Ciencias y el Arte IV. Ciencias Experimentales y Conservación del Patrimonio*, pp. 198-216.
- [13] Jamshidi, A., Reza, M. y Khamechiyan, M. (2013). "Estimating the Durability of Building Stones Against Salt Crystallization: Considering the Physical Properties and Strength Characteristics". *Journal Geope*, vol. 3, no. 2, pp. 35-48.

VII. BIOGRAFÍA

Morales Tassinari, Adolfo Manuel. Nació el 19 de Junio de 1973 en Veracruz, Veracruz, México. Es:



-Ingeniero Industrial Mecánico titulado en 1998 por el Instituto Tecnológico Veracruz ubicado en Veracruz, Veracruz, México.

-Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica titulado en 2015 por el Instituto Tecnológico de Veracruz ubicado en Veracruz, Veracruz, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, como Docente de Ingeniería Mecánica; además, es líder de la línea de investigación de Caracterización e Industrialización de Materiales Pétreos.

M.C. Morales es miembro de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica (SOMIM) desde septiembre de 2017; además, obtuvo la certificación como Auditor Líder Internacional en Sistemas de Gestión en

2009, la certificación como Green Belt Lean Six Sigma en 2015, el reconocimiento al Mérito Investigador durante el Congreso Internacional de Academia Journals Fresnillo 2017, la certificación CSWA de SolidWorks en 2018 y la certificación SolidWorks Accredited Educator en 2018.

Ramírez Peña, Jaime. Nació el 03 de Marza de 1992 en San Salvador Atoyatempan, Puebla, México. Es:



El actualmente es estudiante de Ingeniería Mecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. Participó en el intercambio SUNY en la University of Buffalo, New York, USA, en 2014.

El estudiante Peña es tesista del proyecto de investigación "Estudio de Propiedades Físicas y de la Alteración del Mármol tipo Café Tabaco".

Cruz Ortega, Pedro. Nació el 05 de Octubre de 1985 en Ciudad Netzahualcóyotl, Estado de México, México. Es:



-Ingeniero Mecánico titulado en 2008 por el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

-Maestro en Educación Matemática titulado en 2018 por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla ubicada en Puebla, Puebla, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, como Docente de Ingeniería Mecánica; además, es colaborador de la línea de investigación de Caracterización e Industrialización de Materiales Pétreos.

M.E.M. Cruz obtuvo la certificación CSWA de SolidWorks en 2013 y la certificación SolidWorks Accredited Educator en 2018.

Hernández Zárate, Jorge Arturo. Nació el 06 de Octubre de 1967 en Xalapa, Veracruz, México. Es:



-Ingeniero Mecánico Electricista titulado en 1992 por la Universidad Veracruzana ubicada en Veracruz, Veracruz, México.

-Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica titulado en 1999 por el Instituto Tecnológico de Veracruz ubicado en Veracruz, Veracruz, México.

-Doctor en Sistemas Integrados de Manufactura y Estrategias de Calidad titulado en 2007 por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla ubicada en Puebla, Puebla, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Veracruz en Veracruz, Veracruz, México, como profesor-investigador y docente de Ingeniería Mecánica y de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica.

Servín Martínez, Alberto. Nació el 15 de Febrero de 1954 en Xalapa, Veracruz, México. Es:



-Ingeniero Industrial Mecánico titulado en 1984 por el Instituto Tecnológico Veracruz ubicado en Veracruz, Veracruz, México.

-Maestro en Ingeniería Mecánica titulado en 1995 por la Universidad Autónoma del Estado de México ubicada en Toluca, Estado de México, México.

-Doctor en Ciencias Químicas titulado en 2004 por la Universidad Nacional Autónoma de México ubicada en Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Veracruz en Veracruz, Veracruz, México, como profesor-investigador y docente de Ingeniería Mecánica y de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica.