

# Resistencia a la Abrasión de la Piedra Caliza Procedente de El Rosario de Xochitiopan, Zacapala, Puebla, México

A. M. Morales-Tassinari<sup>1\*</sup>, M. E. Velasco-Ordóñez<sup>1</sup>, P. Cruz-Ortega<sup>1</sup>.

**Resumen**—El presente estudio tiene como finalidad realizar una prueba de abrasión por el método del disco de abrasión ancho de la piedra caliza de la cantera ubicada en El Rosario Xochitiopan, Zacapala, Puebla, México. La prueba se realizó aplicando el procedimiento de la norma UNE-EN 14157:2005, donde se utilizaron 6 probetas prismáticas con dimensión de 150X100X30 mm y arena de corindón grado 80 como material abrasivo. Las probetas se acondicionaron en seco dentro de un horno de secado a una temperatura de 60 °C durante 48 horas. Después, a cada probeta se le realizaron dos pruebas de abrasión a una velocidad de 75 rpm durante 60 segundos. El resultado muestra que la piedra caliza tiene una resistencia al desgaste abrasivo de 31 mm de ancho de huella. Este resultado muestra que esta piedra caliza tiene una baja resistencia al desgaste abrasivo; por lo que, no es recomendable su uso como pavimento en tráfico pesado.

**Palabras claves**— Ancho de huella, método del disco de abrasión ancho, piedra caliza, resistencia a la abrasión, tráfico pesado.

**Abstract**—This study has the purpose to perform an abrasion test using the wide abrasion disc method of limestone from the quarry located in El Rosario Xochitiopan, Zacapala, Puebla, México. The test was carried out applying the procedure of the standard UNE-EN 14157:2005, where were use 6 prismatic specimens with dimension of 150X100X30 mm and grade 80 corundum sand as abrasive material. The specimens were dry conditioned in a drying oven at a temperature of 60 °C for 48 hours. Then, each specimen was subjected to two abrasion tests at a speed of 75 rpm for 60 seconds. The result shows that the limestone has an abrasive wear resistance of 31 mm width of footprint. This result shows that this limestone has a low resistance to abrasive wear; therefore, its use as pavement in heavy traffic is not recommended.

**Keywords**— Abrasion resistance, footprint width, heavy traffic, limestone, wide abrasion disc method.

## I. INTRODUCCIÓN

La roca es uno de los materiales que más abundan en la naturaleza y desde la antigüedad han sido consideradas como elementos constructivos y ornamentales. Por su origen, las rocas se clasifican en: a) rocas ígneas, formadas por el enfriamiento y la solidificación del magma del interior de la Tierra; b) rocas metamórficas, son 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, la acumulación de material de origen biológico, la precipitación de sustancias químicas o bioquímicas, o una combinación de ellas [1].

En la localidad de El Rosario Xochitiopan, Zacapala, Puebla, México, existen bancos de roca caliza, que es una roca de origen sedimentario compuesta principalmente de carbonato de calcio (calcita) o de carbonato doble de calcio y magnesio (dolomita) o una combinación de estos dos minerales [2]. En la Figura 1, se muestra una imagen satelital de los bancos de roca caliza en la localidad de El Rosario Xochitiopan:

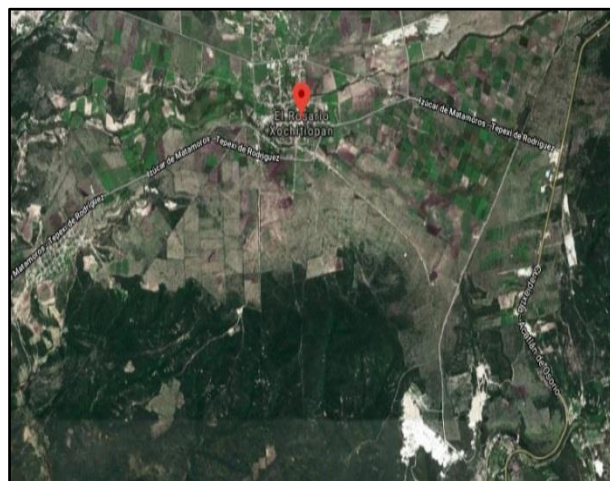


Figura 1. Imagen satelital de las bancos de piedra caliza [3]

La roca caliza generalmente es de origen marino, químico u orgánico; además, de todas las rocas explotadas en el mundo la caliza representa un porcentaje superior a 35 por ciento [4]. La piedra caliza contiene al menos 50% de carbonato de calcio, el otro 50% puede ser uno de varios minerales de otros tipos de piedra como la arcilla, el limo, el cuarzo u otras arenas, guijarros y especialmente fósiles [5]; de esta manera, los rasgos de cada piedra caliza dependen de la composición específica. En la Figura 2, se muestra una fotografía de la superficie de la roca caliza extraída del banco de la localidad de El Rosario Xochitiopan, Zacapala, Puebla, México:

<sup>1</sup> 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.  
\* Correo electrónico: tassinari.adolfo1973@gmail.com



Figura 2. Fotografía de la superficie de la roca caliza

Las propiedades que determinan las cualidades de la superficie de una roca son: la resistencia a la penetración, resistencia al deslizamiento y resistencia a la abrasión [6]. Es por esto que, la mayoría de las especificaciones arquitectónicas requieren que la piedra caliza cumpla con ciertas especificaciones antes de que se acepte su uso, por lo tanto, es posible que se requiera cumplir con los estándares relacionados con la resistencia a la abrasión [7].

La resistencia a la abrasión es una característica esencial para determinar si una piedra es adecuada para usar como piso [8]; por lo que, estima el comportamiento de la superficie rugosa de un pavimento, que vaya a estar expuesto al desgaste por el uso peatonal o del tránsito rodado [9]. En este sentido, para estimar la resistencia a la abrasión de una roca, se aplican métodos y/o ensayos que se realizan en laboratorio; de esta forma, uno de los ensayos más utilizados en laboratorio para determinar la resistencia a la abrasión es el ensayo de abrasión de disco ancho.

En este sentido existen investigaciones de la resistencia a la abrasión de disco ancho donde se han encontrado que la roca caliza Griote proveniente de Asturias, España, tiene una resistencia a la abrasión de 19.4 mm [10]; también, la roca caliza Gris Pupis tiene una resistencia a la abrasión de  $19.5 \pm 0.1$  mm [11]. Además, en la comarca de Macael, Almería, España, se tiene que el mármol Blanco Macael en su denominación Polonia tiene una resistencia a la abrasión de 24.5 mm [12].

De esta forma, el presente estudio tiene como objetivo determinar la resistencia a la abrasión de la roca caliza de la localidad de El Rosario Xochitopan, Zacapala, Puebla, México, mediante un ensayo de abrasión de disco ancho a probetas prismáticas con dimensión de 150X100X30 mm aplicando la norma UNE-EN 14157:2005 Métodos de ensayo para piedra natural: Determinación de la resistencia a la abrasión.

La metodología empleada para los ensayos de abrasión mediante disco ancho se basó en la norma UNE-EN 14157:2005, esta norma consiste en someter una superficie al rozamiento con un abrasivo seco contra un disco de acero de 70 mm de grosor y 200 mm de diámetro que gira 75 revoluciones en 60 segundos [13]; por lo que, el resultado de este ensayo es la medida del ancho de la huella dejada por el disco sobre la piedra [14]. En la Figura 3a), se muestra una imagen del método de ensayo; mientras que en la Figura 3b), se muestra una imagen de la medición del ancho de huella:

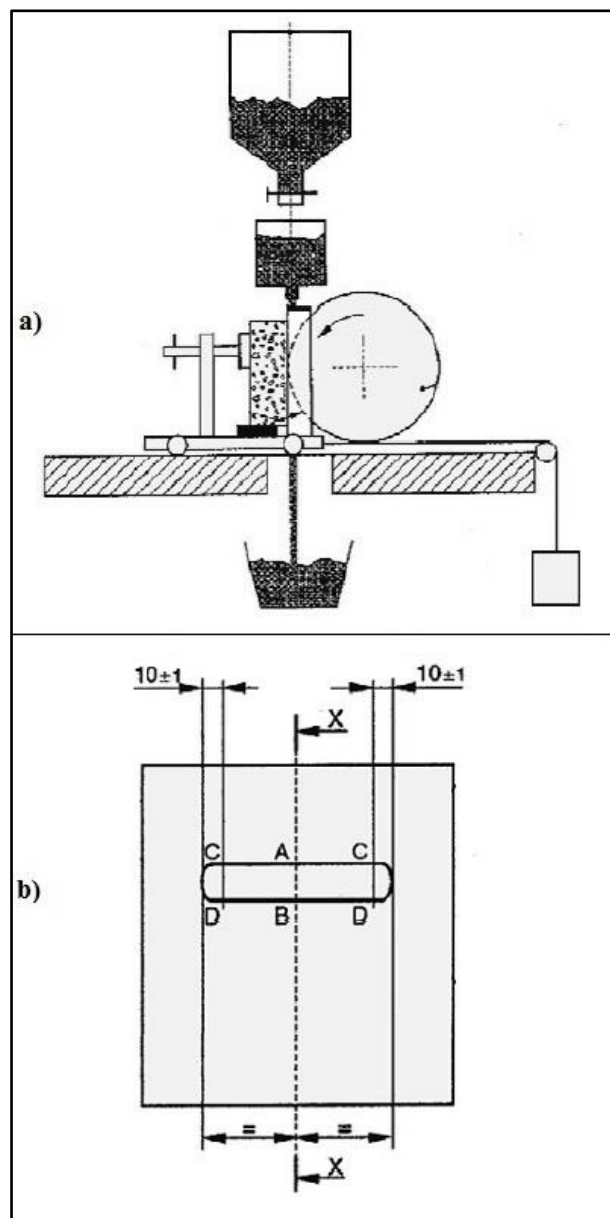


Figura 3. a) Imagen del método de ensayo [13]; b) Imagen de la medición del ancho de huella [13].

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La prueba de abrasión mediante disco ancho realizada a la roca caliza de la cantera de El Rosario, Zacapala, Puebla, México, se realizó en el Laboratorio de Pruebas de Materiales ubicado en el Centro de Competitividad y Tecnología para la Industria del Mármol perteneciente al Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez en la Ciudad de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

Para la realización de las pruebas de abrasión 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, máquina de abrasión de disco ancho marca MATEST, termómetro digital marca MATEST, arena de corindón grado 80 y lijas con tamaño de grano 400; de la Figura 4a) a la 4h), se muestran las fotografías de los equipos y materiales empleados:



Figura 4. a) Pulidora marca MTI; b) Vernier analógico marca MITUTOYO; c) Horno de secado marca MEMMERT; d) Báscula digital marca METTLER TOLEDO; e) Máquina de abrasión de disco ancho marca MATEST; f) Termómetro digital marca MATEST; g) Arena de corindón grado 80; h) Lija con tamaño de grano 400.

### A. Selección y preparación de las probetas

La empresa Mármol Tres Hermanos S.A. de C.V., procesó las probetas para los ensayos de abrasión, mediante muestras obtenidas de la cantera de la localidad de El Rosario Xochitlan, Zacapala, Puebla, México. De las probetas que la empresa procesó se seleccionaron seis probetas con base en el color característico de la roca caliza; además, que cada probeta tuviera una dimensión de 150X100X30 mm con una tolerancia de 0.5 mm en cada una de sus caras.

Las seis probetas se lijaron en la cara que iban a quedar en contacto con la máquina de abrasión; en la Figura 5, se muestra una fotografía del pulido de una probeta:



Figura 5. Fotografía del pulido de una probeta.

Después de lijar las probetas en ambas caras, se les asignó un número para que fueran identificadas durante los ensayos de abrasión; en la Figura 6, se muestra una fotografía de las seis probetas pulidas y numeradas:

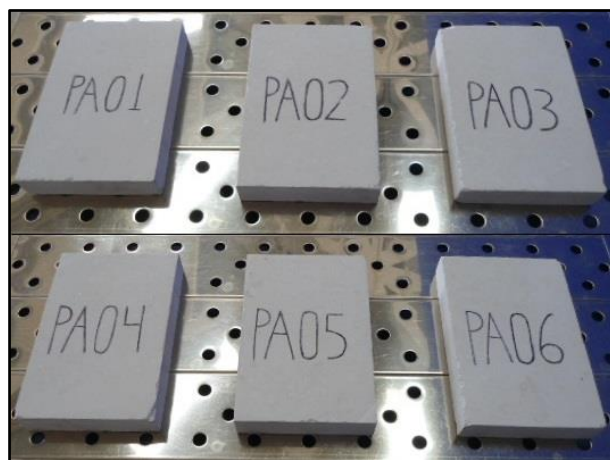


Figura 6. Probetas pulidas y numeradas.

### B. Obtención del peso seco inicial

Para la prueba de abrasión mediante disco grueso, las seis probetas se secaron en un horno de secado a una temperatura de  $60 \pm 2$  °C durante 48 horas. En la Figura 7, se muestra una fotografía de las probetas dentro del horno de secado:



Figura 7. Fotografía de las probetas dentro del horno de secado.

Para garantizar que las seis probetas estuvieran secas, se pesaron con una báscula digital en la hora 46, 47 y 48; por lo tanto, como en estas tres horas consecutivas las seis probetas no tuvieron cambio en su peso, se consideró que en la hora 48 las seis probetas estaban totalmente secas. En la Figura 8, se muestra una fotografía del peso seco de la probeta PA01:



Figura 8. Fotografía del peso seco de la probeta PA01.

Cabe mencionar que, las probetas se pesaron a temperatura ambiente promedio de 22 °C.

### C. Abrasión de las probetas secas

Cada probeta fue ubicada en la máquina de abrasión, de tal forma que la probeta estuviera centrada. Cabe mencionar que en ensayo se realizó a una velocidad 75 rpm durante 60 segundos; además, el abrasivo utilizado fue arena de corindón grado 80. En la Figura 9, se muestra una fotografía de la probeta PA03 durante la prueba de abrasión:

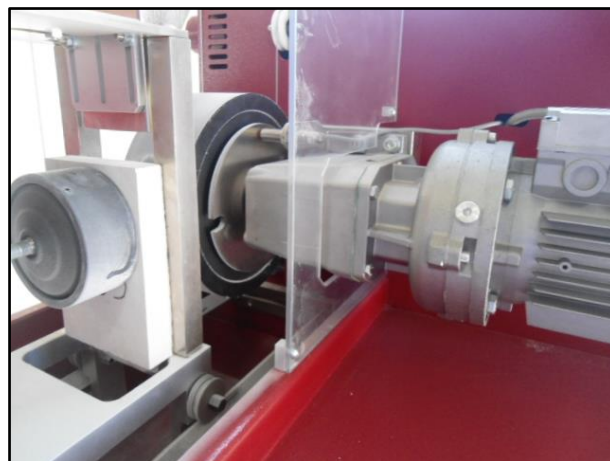


Figura 9. Fotografía de la probeta PA03 durante el ensayo de abrasión.

Cabe mencionar que, a cada probeta se le realizaron dos pruebas de abrasión en la misma cara; en la Figura 10, se muestra una fotografía de las seis probetas después de los ensayos de abrasión:

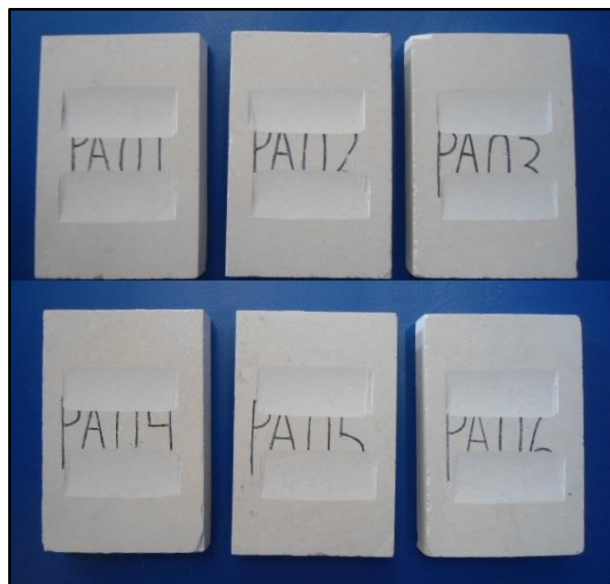


Figura 10. Fotografía de las probetas después del ensayo de abrasión.

*D. Medición del ancho de huella de las probetas*

Después de que las probetas fueron sometidas al ensayo de abrasión, se midió el ancho de huella producido en cada probeta. Para esto, se marcaron dos líneas a 10 mm de los extremos de la huella; después, se marcó el centro entre las dos líneas de los extremos de la huella. En la Figura 11, se muestra la fotografía de las seis probetas con las marcas para la medición de la huella:



Figura 11. Fotografía de las probetas marcadas para la medición.

Una vez marcadas las seis probetas, se midió el ancho de huella; en la Figura 12, se muestra una fotografía de la medición del ancho de huella de la probeta PA01:

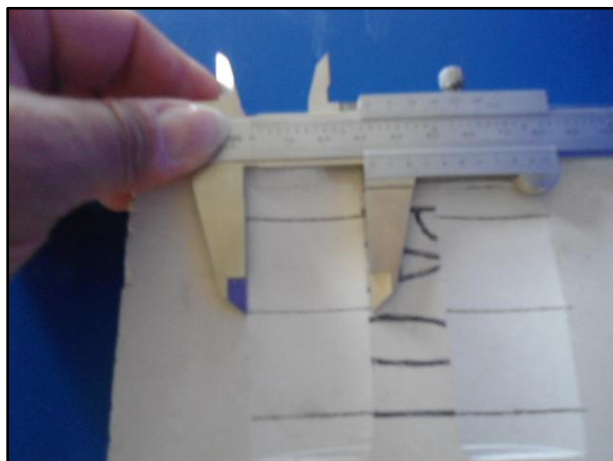


Figura 12. Fotografía de la medición del ancho de huella de la probeta PA01.

III. RESULTADOS

De acuerdo con la norma UNE-EN 14157:2005, en la Tabla I, se muestra el resultado obtenido de la resistencia a la abrasión de las 6 probetas ensayadas:

TABLA I  
RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

Número de probeta	Ancho de huella (mm)		
	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>prom</sub>
PA01	32.00	31.50	31.75
PA02	28.40	29.80	29.10
PA03	28.90	29.00	28.95
PA04	28.20	30.40	29.30
PA05	30.90	30.90	30.90
PA06	29.90	32.30	31.10
Promedio			30.18
Desviación Estándar			1.38

De acuerdo con la Tabla I, la resistencia a la abrasión promedio es de 30.18 mm con una desviación estándar del 1.38 mm. En la Figura 13, se muestra la gráfica de caja-bigote de la resistencia a la abrasión de la roca caliza:

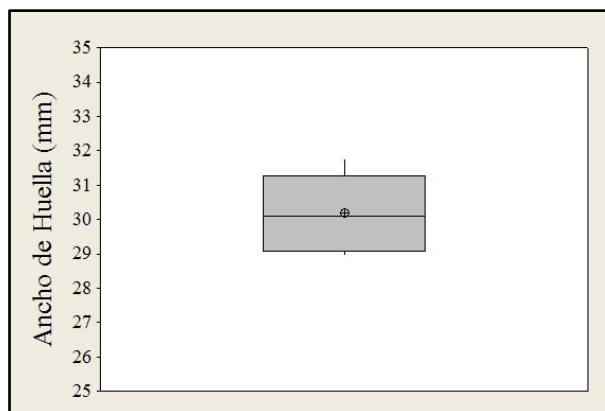


Figura 13. Diagrama caja-bigote de la resistencia a la abrasión.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con el estudio realizado a la piedra caliza de la localidad de El Rosario Xochitiopan, Zacapala, Puebla, México, sometido a un ensayo de abrasión de disco ancho se obtuvo que la resistencia a la abrasión es de 30.18 mm.

De acuerdo con las normas UNE 22202-1 y UNE 22202-4, los valores máximos recomendados de la resistencia a la abrasión de un pavimento son: 30 mm para espacios restringidos, 27 mm para espacios de uso común, 23 mm para espacios comerciales o industriales de circulación

peatonal lenta, y 20 mm para espacios comerciales o industriales de circulación peatonal rápida [9]. Por lo tanto, este material no es adecuado considerarlo como piso de uso peatonal; sin embargo, es posible su uso como piso de uso restringido.

En otro orden de ideas, para conocer cómo se comporta esta piedra caliza en ambientes salinos y/o contaminados, se debe realizar un estudio de degradación acelerada de cristalización de sales para determinar la durabilidad de este material.

## V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Mármoles Tres Hermanos S.A. de C.V., por haber permitido el acceso a su planta y procesado las probetas; además, agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez por el financiamiento y el préstamo de sus instalaciones y equipos para la realización de los ensayos de abrasión.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Orozco-Centeno, W.; Branch, J. y Jiménez-Builes, J. (2014) "Clasificación de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas en secciones delgadas a través programación estructurada" *Boletín de Ciencias de la Tierra*, vol. 36, pp. 5-9.
- [2] *Standard Terminology Relating to Dimension Stone*, ASTM Standard C119-16 May. 2016.
- [3] Google Maps. (2018). Disponible en: <https://www.google.com.mx/maps/place/El+Rosario+Xochitopan,+Pue./@18.6245806,-97.9499565,4965m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x85cf7800867f8aef:0xeabada97020bd40d!8m2!3d18.6369443!4d-97.9552777>
- [4] Marble Institute of America. (2016). Limestone, *Dimension Stone Design Manual, Version VIII*. Ohio, USA: Author, pp. 8.
- [5] López, V.; Ascanio, G.; Guerrero, V. y Bertorelli, J. (2003). *Rocas Industriales de Venezuela*. Venezuela: Fundacite Aragua p. 15.
- [6] Esbert, R.; Alonso, F. y Ordaz, J. (2008) "La petrofísica en la interpretación del deterioro y la conservación de la piedra de edificación" *Trabajos de Geología*, vol. 28, pp. 87-95.
- [7] Marble Institute of America. (2016). Standards and Specifications for Stone Products. *Dimension Stone Design Manual, Version VIII*. Ohio, USA: Author. pp. 2.
- [8] Marble Institute of America. (2016). Stone Testing. *Dimension Stone Design Manual, Version VIII*. Ohio, USA: Author. pp. 8.
- [9] Molina, A. (2017). *Guía técnica de la piedra natural*. Murcia, España: Piedra Cluster. pp. 41.
- [10] Suarez, L.; Calleja, L.; Díez, I.; Ruiz, V.; Rodríguez, A. y Alonso, F. (2002) "Características tecnológicas de las rocas ornamentales de Asturias" *Trabajos de Geología*, vol. 23, pp. 73-82.
- [11] García-del-Cura, M.; Benavente, D.; Bernabéu, A. y Martínez-Martínez, J. (2008) "Estudio del efecto de los acabados superficiales en granitos y calizas para su aplicación en pavimentos exteriores de baldosas de piedra" *Materiales de Construcción*, vol. 58, pp. 65-79.
- [12] Navarro, R.; Cruz, A.; Arriaga, L. y Baltuille, J. (2017) "Caracterización de los principales tipos de mármol extraídos en la comarca de Macael (Almería, sureste de España) y su importancia a lo largo de la historia" *Boletín Geológico y Minero*, vol. 128, No. 2, pp. 345-361.
- [13] *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la abrasión.*, UNE-EN Standard 14157:2005, 2005.
- [14] Fundación Centro Tecnológico do Granito de Galicia. (2013). *Guía para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos interiores de piedra natural*. Vigo, España: Ideaspropias.

## 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 y la certificación CSWA de SolidWorks en 2018.

**Velasco Ordóñez María Esperanza.** Nació el 12 de Enero de 1971 en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. Es:



-Ingeniera Mecánica titulada en 2002 por el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

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

Ing. Velasco obtuvo la certificación CSWA de SolidWorks en 2013.

**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 el reconocimiento al Mérito Investigador durante el Congreso Internacional de Academia Journals Fresnillo 2017.