

Caracterización de rocas utilizadas en la formación de escolleras del Puerto de Tampico

Anette Michaelle Barragán Flores; Rodolfo Barragán Ramírez; Andrés González Hernández; Roberto Pichardo Ramírez; José Luis Martínez Navarro

RESUMEN

El presente estudio tiene como propósito analizar las condiciones de las rocas calizas que conforman el sistema de escollera norte del puerto de Tampico, y conocer si conservan sus propiedades mecánicas de origen debido al tiempo transcurrido y a las condiciones ambientales a las que han estado expuestas. En esta investigación, se realizaron pruebas mecánicas e índices en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Tampico para conocer sus propiedades, de las rocas de la escollera norte del puerto de Tampico y las rocas del banco “El Abra”, Cd. Valles, S.L.P., y, asimismo, se compararon ambas con la normativa de la SICT para determinar su grado de conservación y establecer posibles recomendaciones para su uso futuro. De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, concluimos que las propiedades mecánicas son mayores en las rocas procedentes del banco “El Abra”, localizado en Cd. Valles, S.L.P. Sin embargo, las condiciones actuales de las rocas ubicadas en la Escollera Norte del Puerto de Tampico, según los resultados obtenidos, se encuentran dentro del rango aceptable conforme a la Norma N CTR PUE 1 02 001/06, lo que permite garantizar su seguridad estructural y su durabilidad en el tiempo.

Palabras clave: roca caliza, escolleras, propiedades mecánicas, banco “El Abra”, puerto de Tampico.

Cómo citar: Barragán, A., Barragán, R., González, A., Pichardo, R., Martínez, J. (2025). Caracterización de rocas utilizadas en la formación de escolleras del Puerto de Tampico. En De los Reyes Villarreal, E. R., Del Ángel Cortés L., Hernández Rejon E. M. (Coord). (2025). *Geografías del conocimiento: Perspectivas de mujeres científicas en la construcción de una Iberoamérica sostenible*. High Rate Consulting. <https://doi.org/10.38202/geografias-06>

Characterization of rocks used in the formation of breakwaters at the Port of Tampico

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the condition of the limestone rocks that make up the North Breakwater system of the Port of Tampico and to determine whether they have retained their original mechanical properties despite the time elapsed and the environmental conditions to which they have been exposed. In this research, mechanical tests and index tests were conducted in the Materials Laboratory of the Faculty of Engineering of Tampico to determine the properties of the rocks from the North Breakwater of the Port of Tampico and those from the “El Abra” quarry, located in Ciudad Valles, San Luis Potosí. Both sets of rocks were then compared with the regulations of the Ministry of Infrastructure, Communications and Transportation (SICT) in order to determine their degree of preservation and to establish possible recommendations for their future use. According to the results obtained from the tests carried out, it was concluded that the mechanical properties are higher in the rocks from the “El Abra” quarry in Ciudad Valles, San Luis Potosí. However, the current condition of the rocks located in the North Breakwater of the Port of Tampico, based on the results obtained, falls within the acceptable range established by Standard N-CTR-PUE-1-02-001/06, which ensures their structural safety and long-term durability.

Keywords: limestone rock, breakwaters, mechanical properties, El Abra quarry, Port of Tampico.

INTRODUCCIÓN

Los puertos de México se han convertido en estructuras esenciales para la economía del país, debido al incremento del comercio internacional, ya que más del 80 % de las mercancías a nivel mundial se transportan por vía marítima (Altamaritima, 2023). El transporte marítimo es considerado actualmente el método más económico a nivel global, gracias a la capacidad de los modernos portacontenedores y a los avances en eficiencia energética. Actualmente, Tampico es uno de los puertos más importantes de la costa este de México y un motor de desarrollo económico regional, destacando por su participación en el comercio internacional y su infraestructura logística (The Logistics World, 2023).

Las escolleras son materiales que, a lo largo de los siglos, han sido empleados en la construcción de obras de infraestructura. Su estructura está compuesta por materiales granulares de diversas dimensiones que evitan daños materiales de gran valor y protegen a las personas ante los efectos del oleaje. El enrocamiento utilizado en las escolleras está formado normalmente por calizas, una roca sedimentaria compuesta mayormente por carbonato de calcio. La calcita suele contener minerales como cuarzo, arcilla, hematita, siderita, trazas de magnesita y otros carbonatos.

En esta investigación se realiza una evaluación para caracterizar las propiedades mecánicas e índices de las rocas utilizadas en la formación de la Escollera Norte del Puerto de Tampico. Este tipo de infraestructura ha sido objeto de estudios técnicos recientes debido a su importancia para la protección costera y la operación portuaria (Administración

Portuaria Integral de Tampico, 2021). El objetivo es determinar si las rocas conservan sus propiedades mecánicas de origen pese al tiempo transcurrido, o si han sufrido desgaste debido al oleaje, la erosión o el intemperismo.

DESARROLLO DE TEMAS Y SUBTEMAS

Puerto de Tampico

La ciudad de Tampico fue proclamada como puerto marítimo en 1824. En 1870 se estableció el primer embarcadero; en 1889 se concluyeron las escolleras, el dragado y las instalaciones de carga; y, en 1903, se construyeron tres almacenes de 145 metros y cuatro muelles. ASIPONA (2019) señala que Tampico es uno de los principales puertos de la costa este de México, destacando por el movimiento de productos agrícolas, mineros, petroquímicos, acero, madera e industriales. Su sector productivo más relevante es el de servicios, comercio y turismo, seguido de la construcción y de la industria manufacturera petroquímica, alimenticia, metalúrgica, naviera y pesquera. El puerto de Tampico es natural y se extiende 22 km a ambas orillas del río Pánuco, desde las escolleras en el Golfo de México hasta el puente Prieto, en Pánuco, Veracruz (ASIPONA, 2024).

Durante la época virreinal, la región adquirió relevancia debido a la explotación de sus minas de sal, recurso que impulsó de manera significativa las actividades comerciales. A inicios del siglo XX, el auge petrolero transformó profundamente la ciudad; para la década de 1920 ya contaba con

la primera embotelladora de Coca-Cola en México y con la aerolínea Agencia Mexicana de Aviación, factores que incrementaron su proyección e interés a nivel internacional (National Geographic, 2018).

Historia de las rocas

Según GeolInfoMex, la piedra constituye el material más antiguo utilizado por el ser humano, al provenir de rocas inorgánicas compuestas por diversos minerales. Las primeras rocas que conformaron la corteza terrestre tienen más de cuatro mil millones de años y han acompañado el desarrollo de las sociedades humanas (SGM, 2024).

Los antepasados tallaron piedra para fabricar herramientas y utensilios hasta que el cobre comenzó a sustituirla; sin embargo, continuó empleándose en actividades de defensa, en la construcción de caminos y murallas, así como en la elaboración de esculturas y edificaciones (UBUInvestiga, 2020).

Con el avance de la tecnología moderna, surgieron materiales pétreos derivados, como el yeso, la cal, los ladrillos y el cemento, los cuales se han vuelto fundamentales en la industria de la construcción debido a la resistencia y durabilidad inherentes a la piedra.

Ciclo de las rocas

Como se puede apreciar en la literatura científica publicada sobre el tema, el ciclo de las rocas es un modelo geológico que describe cómo cualquier tipo de roca puede transformarse en ígnea, sedimentaria o metamórfica a lo largo del tiempo, mediante procesos internos y externos de la Tierra (SGM, 2017). Específicamente se entiende por:

1. **Ígneas:** son aquellas que son formadas como resultado de la solidificación del magma.
2. **Sedimentarias:** son resultado de la acumulación de partículas transportadas por agua, hielo o viento (Gallegos, 1995).
3. **Metamórficas:** se originan por el cambio de estructura y composición por presión, temperatura o fluidos.

Este ciclo opera durante millones de años y no todas las rocas atraviesan necesariamente todas sus etapas, puesto que los procesos geológicos pueden interrumpir o desviar su transformación. En la Figura 1 se muestra el ciclo de las rocas según el documental publicado por Secretos de la Tierra (2017).



Figura 1.
El ciclo de las rocas

Fuente: Elaboración propia a partir del original del documental " Secretos de la Tierra (2017)"

Escolleras

Las escolleras son estructuras construidas con material pétreo que se han empleado desde siglos atrás como elementos de relleno en carreteras, ferrocarriles, presas y zonas costeras (Báez García, 2018). De acuerdo con la Norma N-CTR-PUE-1-02-001/06 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2006), estas estructuras deben diseñarse con dimensiones, masa y durabilidad adecuadas para resistir, de manera técnica y económica, la acción del oleaje y las corrientes marinas.

Su función principal consiste en amortiguar la energía de impacto de las olas promovidas por la magnitud, disminuyendo los daños materiales y contribuyendo a la protección de las personas. En el ámbito portuario, las escolleras facilitan el atraque seguro de los buques, mientras que, en las playas, desempeñan un papel relevante en la gestión de corrientes, la reducción de la erosión y la prevención de la acumulación excesiva de arena.

Escolleras del puerto de Tampico

Una de las características del puerto de Tampico es que enfrentaba serias dificultades para el ingreso de embarcaciones debido a la presencia de una barra de sedimentos en la desembocadura del río Pánuco (Acosta Hernández, 2021). Para dar solución a este problema, se construyeron dos escolleras paralelas de 2 km de longitud y 305 m de separación, cuya ejecución inició en 1890 bajo la dirección de la compañía del Ferrocarril Central Mexicano.

Con el propósito de facilitar el transporte de materiales, se habilitó una vía férrea, y las escolleras fueron edificadas utilizando ramas y rocas provenientes de la región de El Abra, Ciudad Valles, San Luis Potosí. En 1893 se excavó el canal hasta alcanzar una profundidad de 15 pies, resolviendo obstáculos generados por restos de embarcaciones y acumulaciones de sedimentos arrastrados por las crecientes del río. Para 1895, el canal había alcanzado una anchura de 200 m y una profundidad de 7,30 m dentro de las escolleras.



Figura 2.
Escolleras lado norte y sur en Golfo de México

Fuente: Sol de Tampico (2022).

En la actualidad, la escollera norte (playa Marimar) cuenta con una extensión de 1.340 m, y la escollera sur (Pueblo Viejo, Veracruz) tiene una longitud de 1.445 m. Ambas constituyen una división física entre el río Pánuco y el Golfo de México. Esta infraestructura desempeña un papel fundamental en la reducción de la energía del oleaje, lo que permite condiciones de navegación seguras y favorece el desarrollo portuario de la región.

Justificación

Hace aproximadamente 67 años, la región de Tamaulipas fue impactada por un fenómeno meteorológico de gran magnitud: el huracán Hilda, de categoría 3, cuyas ráfagas alcanzaron velocidades estimadas de hasta 150 mph (240 km/h). Este sistema provocó precipitaciones intensas sobre las ciudades de Tampico y Ciudad Madero, generando inundaciones extensas en la zona huasteca. Los efectos se vieron agravados por la influencia simultánea de los huracanes Gladys y Janet. Además, los fuertes vientos asociados a Hilda ocasionaron daños severos, afectando aproximadamente a la mitad de las viviendas de la región.

Posteriormente, el 15 de septiembre de 1988, el huracán Gilberto —clasificado como categoría 5— registró vientos máximos de 215 km/h. Su trayectoria devastó inicialmente los estados de Quintana Roo y Yucatán, para luego cruzar el Golfo de México e impactar nuevamente en Tamaulipas. A su paso, generó inundaciones severas en el estado de Nuevo León y, finalmente, se disipó en Coahuila. Tras su impacto, la fuerza del oleaje llegó a desplazar una de las estructuras tipo matatenas, de aproximadamente 8 toneladas de concreto, depositándola sobre la escollera, donde permaneció durante varios meses.

Tanto Hilda como Gilberto se consideran entre los ciclones más intensos y destructivos que han afectado las costas de Tampico y Ciudad Madero, dejando daños significativos en la infraestructura regional (Sistema Tecnológico de Monterrey, 2011).

A partir de los fenómenos climatológicos mencionados, se justifica la necesidad de realizar un estudio detallado de las rocas que conforman la escollera norte del Puerto de Tampico. Este análisis es fundamental para garantizar la seguridad, estabilidad y sostenibilidad de la infraestructura portuaria, así como para contribuir a la protección del entorno ambiental circundante.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Analizar las condiciones actuales de las rocas que conforman la escollera norte del puerto de Tampico mediante la realización de pruebas de laboratorio que permitan determinar sus propiedades físico mecánicas y compararlas con las rocas provenientes del banco “El Abra”, en Ciudad Valles, S.L.P., con el fin de evaluar su grado de conservación.

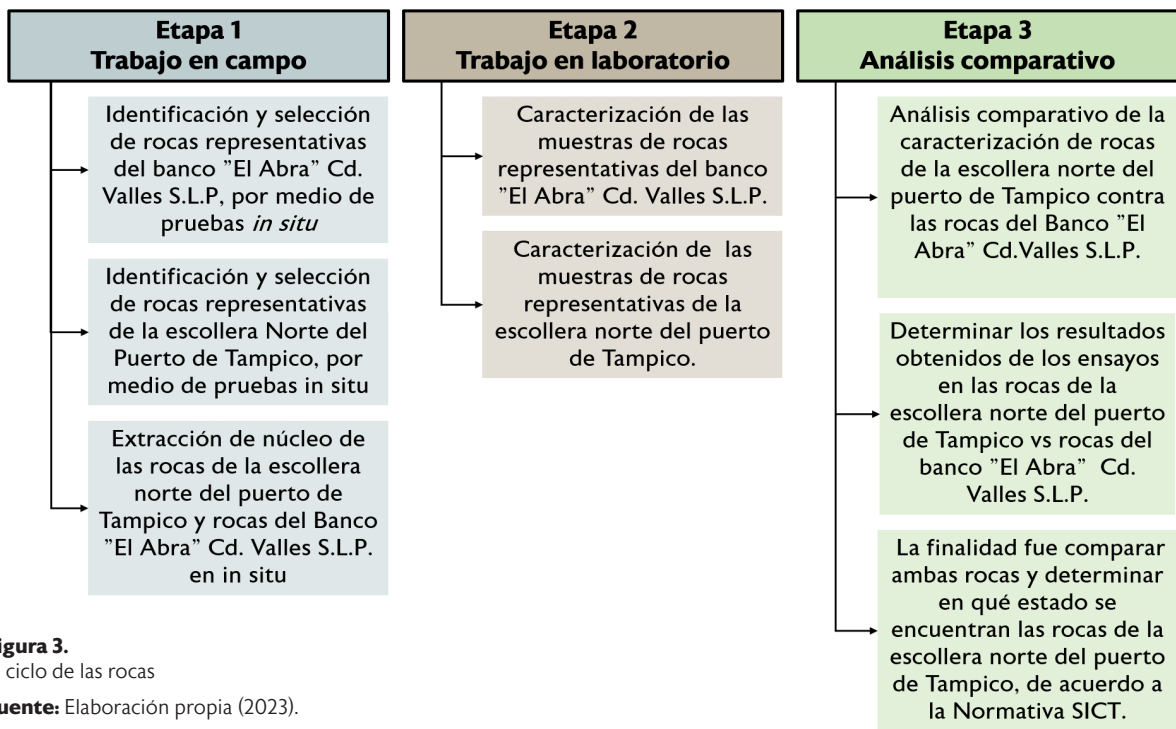
Objetivos particulares

- Identificar y seleccionar muestras de rocas provenientes del banco “El Abra”, en Ciudad Valles, S.L.P., así como de la escollera norte del puerto de Tampico, mediante la aplicación de pruebas esclerometrías in situ para estimar su resistencia a la compresión.
- Extraer núcleos de las rocas seleccionadas tanto del banco “El Abra” como de la escollera norte del puerto de Tampico, con el propósito de determinar sus propiedades físico mecánicas mediante la realización de pruebas mecánicas y pruebas índice en laboratorio.
- Comparar los resultados obtenidos de las muestras analizadas de la escollera norte del puerto de Tampico con las propiedades de las rocas del banco “El Abra”, con el fin de evaluar el grado de conservación de sus características originales.

PROCESO METODOLÓGICO

La metodología propuesta, que se ilustra en la Figura 3, es adecuada para este estudio, debido a que permite integrar de manera secuencial el trabajo en campo, la caracterización en laboratorio y el análisis comparativo de los materiales utilizados en las escolleras del puerto de Tampico. El trabajo en campo permite seleccionar rocas representativas del banco “El Abra”, así como de la sección de las escolleras del puerto de Tampico, garantizando que las muestras analizadas reflejen las condiciones reales.

Posteriormente, el trabajo en laboratorio permite obtener parámetros mecánicos y físicos con precisión, necesarios para evaluar la calidad y el comportamiento de las rocas. Finalmente, el análisis comparativo verifica el cumplimiento normativo e identifica diferencias entre las propiedades naturales del material y su desempeño en la escollera. Este enfoque metodológico asegura una evaluación completa, objetiva y sustentada de la problemática planteada, por lo que resulta plenamente adecuado para los fines de la investigación.



Etapa 1.
a) Obtención de rocas del banco “El Abra”, Ciudad Valles.
Según la Norma N CTR PUE 1 02 001/06, los materiales pétreos utilizados en enrocamientos deben ser densos, resistentes y durables, y provenir de bancos previamente aprobados (SCT, 2006). Para esta investigación se recolectaron rocas calizas del banco “El Abra”, ubicado a 10.1 km al este de Ciudad Valles, S.L.P., a una altitud aproximada de 170 m s. n. m.

b) Obtención de rocas de la escollera norte del puerto de Tampico
El puerto de Tampico cuenta con dos escolleras de enrocamiento; la escollera norte, con una longitud de 1.340 m, y la escollera Sur, con 1.445 m, separadas entre sí por 300 m. El canal de navegación presenta una plantilla de 100 m de ancho y una profundidad de 11 m.
Para la selección de los puntos de extracción de núcleos de roca se realizó una visita técnica a Playa Miramar, en Ciudad Madero, Tamaulipas.

c) Extracción de núcleos

Con el propósito de evaluar la resistencia del enrocamiento y conforme a la Norma NMX C 169 ONNCCE 2010, se extrajeron núcleos cilíndricos mediante un taladro equipado con brocas de 2" y 3" con punta de diamante, utilizando refrigeración por inyección de agua para evitar daños térmicos o mecánicos en el material.

El análisis se concentró en los últimos 500 m de la escollera norte, zona que recibe el mayor impacto del oleaje. Se seleccionaron cinco puntos de muestreo, distribuidos a intervalos de 100 m. En cada punto se obtuvieron tres muestras: una en el nivel del espejo de agua, otra en la parte central y una más en la parte superior de la escollera, como se muestra en la Figura 4

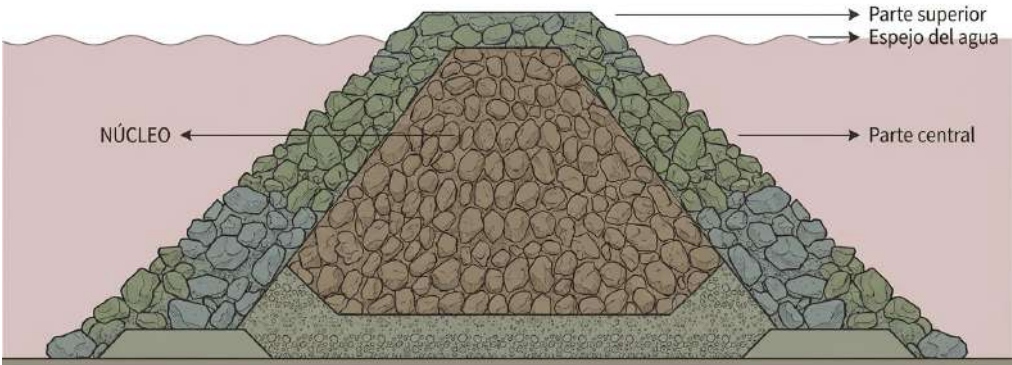


Figura 4.
Estructura de escollera.
Fuente: Ríos y costas-charros (2012)

En total se extrajeron 15 muestras de la escollera norte del puerto de Tampico y 15 muestras del banco “El Abra”, las cuales fueron sometidas a las pruebas correspondientes.

Etapas 2.

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Tampico, donde se evaluaron las propiedades mecánicas e índices de cada una de las muestras.

a) Propiedades mecánicas evaluadas

- Resistencia a compresión simple (ONNCCE, 2014a)
- Resistencia a la tensión indirecta (ONNCCE, 2019)
- Resistencia a la degradación mediante la máquina de Los Ángeles (ONNCCE, 2010)
- Resistencia a la compresión mediante esclerómetro (ONNCCE, 2018)

b) Propiedades índices evaluadas

- Peso específico (ONNCCE, 2014b)
- Absorción de agua (ASTM C127)
- Intemperismo acelerado (IMT, 2019)

Etapas 3

Análisis comparativo

Una vez obtenidos los resultados de las pruebas mecánicas y de las propiedades índice para las rocas del banco “El Abra” y de la escollera norte del puerto de Tampico, se realizó un análisis comparativo entre ambos conjuntos de muestras. Este análisis permitió evaluar el estado actual de conservación de las rocas que conforman la escollera norte, y se determinaron posibles variaciones respecto a las propiedades originales del material.

Se determinaron los resultados obtenidos de las pruebas correspondientes de las rocas de la escollera norte del puerto de Tampico y las rocas del banco “El Abra, Cd. Valles S.L.P., con el propósito de comparar y determinar el estado en el que se encuentran. A continuación, se presentan las comparaciones en ambas rocas:

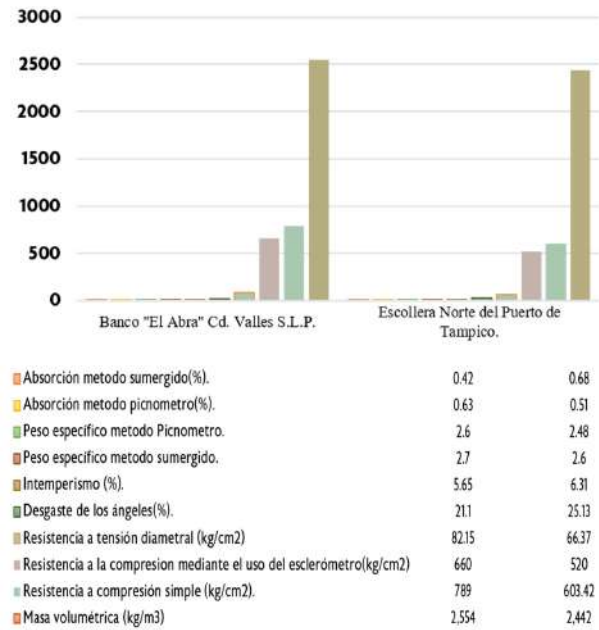


Figura 5.
Comparativa de ambas.
Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 1.
Pruebas de las rocas del banco “El Abra” Cd. Valles S.L.P.

P1. ABSORCIÓN Y PESO ESPECÍFICO SUMERGIDO.	Se realizaron 4 pruebas de absorción y peso específico sumergido, donde se obtuvo un promedio de absorción de 0.42 % y de peso específico se obtuvo un promedio de 2.70.
P.2 ABSORCIÓN Y PESO ESPECÍFICO MÉTODO PICNÓMETRO.	Se efectuaron 3 pruebas de absorción y peso específico con el método picnómetro, en las que se obtuvo en absorción un promedio total de 0.63 %, y en peso específico se logró un promedio total de 2.60.
P3. INTEMPERISMO.	Se llevaron a cabo 3 pruebas de intemperismo en las rocas correspondientes con un promedio total de 5.65 %.
P4. MASA VOLUMÉTRICA.	Se realizaron 30 muestras de extracciones de corazones, donde 15 muestras fueron para compresión y 15 muestras a tensión; se obtuvo un promedio de 2,554 kg/m3.
P5. DESGASTE DE LOS ÁNGELES.	Se hicieron 3 pruebas de desgaste en las rocas correspondientes con un promedio total de 21.1 %.
P6. RESISTENCIA A LA TENSIÓN DIAMETRAL.	Se realizaron 15 muestras de extracciones de corazón, donde conseguimos un promedio total de resistencia a tensión diametral de 82.15 kg/cm2.
P7. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MEDIANTE EL USO DEL ESCLERÓMETRO.	Se efectuaron 15 pruebas con esclerómetro, donde obtuvimos un promedio de lecturas igual a 53. Con esta lectura se tiene una resistencia de 662.35 kg/cm2.
P8. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.	Se elaboraron 15 muestras de extracciones de corazón, donde obtuvimos un promedio total de resistencia a compresión simple de 789.30 kg/cm2.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 2.
Pruebas de las rocas de la escollera norte del puerto de Tampico.

P1. ABSORCIÓN Y PESO ESPECÍFICO SUMERGIDO.	Se realizaron 4 pruebas de absorción y peso específico sumergido, donde se obtuvo un promedio de absorción de 0.68 % y de peso específico se obtuvo un promedio de 2.65.
P.2 ABSORCIÓN Y PESO ESPECÍFICO MÉTODO PICNÓMETRO.	Se llevaron a cabo 3 pruebas de absorción y peso específico con el método picnómetro, donde se obtuvo en absorción promedio total de 0.51 %, y en peso específico se logró un promedio total de 2.48.
P3. INTEMPERISMO.	Se realizaron 3 pruebas de intemperismo en las rocas correspondientes con un promedio total de 6.31 %.
P4. MASA VOLUMÉTRICA.	Se efectuaron 30 muestras de extracciones de corazones, donde 15 muestras fueron para compresión y 15 muestras a tensión; se alcanzó un promedio de 2,442 kg/m3.
P5. DESGASTE DE LOS ÁNGELES.	Se realizaron 3 pruebas de desgaste en las rocas correspondientes con un promedio total de 25.13 %.
P6. RESISTENCIA A LA TENSIÓN DIAMETRAL.	Se llevaron a cabo 15 muestras de extracciones de corazón, en las que se alcanzó un promedio total de resistencia a tensión diametral de 66.37 kg/cm2.
P7. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MEDIANTE EL USO DEL ESCLERÓMETRO.	Se hicieron 15 pruebas con esclerómetro, donde obtuvimos un promedio de lecturas igual a 39; con esta lectura se tiene una resistencia de 520 kg/cm2.
P8. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.	Se elaboraron 15 muestras de extracciones de corazón, donde obtuvimos un promedio total de resistencia a compresión simple de 603.46 kg/cm2.

Fuente: Elaboración propia (2024).

En esta investigación se puede observar el desglose, mediante un resumen de pruebas y resultados, realizados a muestras obtenidas en rocas in situ; es decir, se tomaron muestras de roca en campo, tanto en el banco original (Valles, S. L. P.) como en la escollera (margen izquierda del río Pánuco, lado Veracruz).

En pruebas 1 al 7 se observan valores que indican, en un grado mínimo, el impacto por erosión marina que ha tenido el conjunto de rocas que conforman la escollera en estudio, esto debido a una combinación de factores naturales, entre

los que se destacan principalmente el oleaje, el gradiente de temperatura, los vientos o tormentas y las lluvias.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el laboratorio, se concluye que las propiedades mecánicas son mayores en las rocas procedentes del banco “El Abra”, localizado en Cd. Valles, S. L. P., que en las rocas ubicadas en la escollera. Por ejemplo, se puede observar una disminución de resistencia a la compresión de 186 kg/cm², correspondiendo a un 23 %; para el caso de la tensión diametral, disminuye 15.78 kg/cm², correspondiendo a un

20 %; en el desgaste por intemperismo se incrementa un 0.6 %, y el desgaste por abrasión se eleva un 4 %.

Sin embargo, las condiciones actuales de las rocas localizadas en la escollera norte del puerto de Tampico, con base en los resultados obtenidos, se encuentran dentro del rango aceptable según la Norma N-CTR-PUE-1-02-001/06.

CONCLUSIONES

Para las muestras procedentes del banco El Abra (Cd. Valles, S. L. P.), los valores de peso específico y absorción, determinados mediante el método de picnómetro y por pesos sumergidos, se ubicaron en rangos de 2.6 a 2.7 y de 0.4 a 0.6 %, respectivamente. En contraste, las muestras de la escollera norte del puerto de Tampico presentaron valores de peso específico entre 2.4 y 2.6, y absorciones en el intervalo de 0.5 a 0.7 %.

La prueba de intemperismo aplicada a las muestras del banco El Abra arrojó un desgaste de 5.65 %, inferior al registrado en las muestras de la escollera norte del puerto de Tampico (6.31 %). Ambos resultados se encuentran dentro de los límites establecidos por la normativa N-CMT-2-02-002-19, que establece un máximo de 12 %.

En la determinación de la masa volumétrica de los especímenes se consideraron diámetros, alturas y pesos de los núcleos. El análisis incluyó 15 muestras ensayadas a compresión y 15 a tensión. El promedio obtenido para las rocas del banco El Abra fue de 2,554 kg/m³, mientras que para las de

la escollera norte del puerto de Tampico fue de 2,442 kg/m³. Se observa que la masa volumétrica de las rocas del banco El Abra supera la de las muestras de la escollera.

En la prueba de desgaste de Los Ángeles, las muestras del banco El Abra registraron un valor de 21.1 %, inferior al 25.13 % obtenido en las muestras de la escollera norte del puerto de Tampico. Ambos resultados cumplen con la normativa N-CMT-2-02-002-19, que establece un límite máximo de 30 %.

En las pruebas de tensión diametral, las muestras del banco El Abra alcanzaron un esfuerzo medio de 82.15 kg/cm², mientras que las de la escollera norte del puerto de Tampico registraron un promedio de 66.37 kg/cm². Se evidencia que las rocas del Banco El Abra presentan mayor resistencia en comparación con las de la escollera.

Las lecturas obtenidas mediante el dispositivo martillo de rebote o esclerómetro (marca PROCEQ, modelo 34) indicaron valores promedio de esfuerzo de 660 kg/cm² para las rocas del banco El Abra. En contraste, las mediciones realizadas en campo sobre las rocas de la escollera norte del puerto de Tampico arrojaron valores medios de 520 kg/cm².

En la prueba de resistencia a compresión simple, las muestras del banco El Abra alcanzaron un esfuerzo de 789 kg/cm², superior al valor de 603.46 kg/cm² obtenido en las muestras de la escollera norte del puerto de Tampico. Se confirma que las rocas del banco El Abra presentan mayor resistencia a compresión que las de la escollera.

REFERENCIAS

- Acosta Hernández, F. (25 de marzo de 2021). Escollera de Miramar (Miramar Breakwater). Facostah. <https://facostah.wordpress.com/2021/03/25/escollera-de-miramar>
- Administración Portuaria Integral de Tampico. (2021). Factibilidad técnica: Construcción, redimensionamiento y prolongación de escolleras y protección marginal. Secretaría de Hacienda y Crédito Público. <https://www.mst.hacienda.gob.mx/SCI/public-rest/cartera/archivo/483511>
- Altamaritima (2023). Los principales puertos marítimos y su conectividad en México (The main seaports and their connectivity in Mexico). <https://www.altamaritima.com.mx/los-principales-puertos-maritimos-y-su-conectividad-en-mexico/>
- ASIPONA Tampico (27 de marzo de 2019). Quiénes somos (Who we are). Administración del Sistema Portuario Nacional Tampico. <https://puertodetampico.com.mx/quienes-somos/>
- ASIPONA Tampico (2 de septiembre de 2024). Localización (Location). Administración del Sistema Portuario Nacional Tampico. <https://puertodetampico.com.mx/localizacion/>
- ASTM International. (2015). Normas ASTM C127: Densidad y Absorción de Agregado Grueso (ASTM C127 Standards: Density and Absorption of Coarse Aggregate). <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-cesar-vallejo/mecanica-de-suelos/normas-astm-c127-densidad-y-absorcion-de-agregado-grueso/148243193>
- Báez García, C. E. (2018). Efecto de la succión en el comportamiento mecánico de un enrocamiento, interpretado mediante el principio de una proporcionalidad natural (Effect of suction on the mechanical behavior of a rockfill, interpreted by the principle of natural proportionality) [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/80503>
- Gallegos, J. A. G. (1995). La clasificación de las rocas sedimentarias: Sugerencias para su aprendizaje (The classification of sedimentary rocks: Suggestions for learning). Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 3(3), 154–163. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=234455>
- Instituto Mexicano del Transporte. (2019). N-CMT-2-02-002/19: Calidad de materiales – Materiales pétreos para terracerías. <https://normas.imt.mx/storage/normativa/N-CMT-2-02-002-19.pdf>
- Los secretos de la Tierra. (29 de noviembre de 2017). Ciclo de las rocas (imagen). <https://secretostierra2017.blogspot.com/2017/11/10-ciclo-de-las-rocas.html>
- National Geographic. (2018). Puerto de Tampico – National Geographic en español. <https://www.ngenespanol.com/traveler/puerto-tampico/>
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE) (2010a). NMX-C-169-ONNCCE-2010: Industria de la construcción – Concreto - Extracción de especímenes cilíndricos o prismáticos

- de concreto hidráulico endurecido (NMX-C-169-ONNCCE-2010: Construction Industry – Concrete - Extraction of cylindrical or prismatic specimens of hardened hydraulic concrete). D.O.F. 20 de noviembre de 2009. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-de-ciencia-y-tecnologia-descartes/derecho-agrario/nmx-c-169-onncce-2009-extraccion-de-especimenes/31092165>
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE) (2010b). NMX-C-196-ONNCCE-2010: Industria de la construcción – Agregados – Determinación de la resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregados gruesos usando la máquina de Los Ángeles (NMX-C-196-ONNCCE-2010: Construction Industry – Aggregates – Determination of the resistance to degradation by abrasion and impact of coarse aggregates using the Los Angeles machine). D.O.F. 25 de octubre de 2010. <https://es.scribd.com/document/624130109/NMX-C-196-ONNCCE-2010-Agregados-Degradacion-los-angeles>
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación ONNCCE. (2014a). NMX-C-083-ONNCCE-2014: Industria de la construcción - Concreto - Determinación de la resistencia a la compresión de especimene - Método de ensayo (NMX-C-083-ONNCCE-2014: Construction Industry - Concrete - Determination of the compressive strength of a specimen - Test method). D.O.F. 6 de abril de 2015. <https://es.scribd.com/document/842530210/NMX-C-083-ONNCCE-2014-Compresion>
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE) (2014b). NMX-C-164-ONNCCE-2014: Industria de la construcción – Agregados – Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado grueso (NMX-C-164-ONNCCE-2014: Construction Industry – Aggregates – Determination of the relative density and water absorption of coarse aggregate). D.O.F. 7 de noviembre de 2014. <https://es.scribd.com/document/361322590/NMX-C-164-OnNCCE-2014-Densidad-y-Absorcion-Agregado-Grueso-pdf-pdf>
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE) (2018). NMX-C-192-ONNCCE-2018: Industria de la construcción – Concreto - Determinación del número de rebote utilizando el dispositivo conocido como esclerómetro -Método de ensayo (NMX-C-192-ONNCCE-2018: Construction Industry – Concrete - Determination of rebound number using the device known as a sclerometer - Test method)). D.O.F. 4 de julio de 2019. <https://es.scribd.com/document/618267981/NMX-C-192-ONNCCE-2018-Esclero-metro-rebote>
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE) (2019). Industria de la construcción - Concreto Hidráulico - Determinación de la resistencia a la tensión por compresión diametral de cilindros de concreto - Método de ensayo (Construction industry - Hydraulic concrete - Determination of the tensile strength by diametral compression of concrete cylinders - Test method). <https://onncce.org.mx/tienda?view=item&mc=65&mi=896>
- Secretaría Comunicaciones y Transportes (2003). Intemperismo acelerado de materiales pétreos. En: M-MMP-4-04-008/03:Métodos de muestreo y prueba de materiales (Accelerated weathering of stone materials. In: M-MMP-4-04-008/03: Sampling and testing methods for materials). <https://normas.imt.mx/storage/normativa/M-MMP-4-04-008-03.pdf>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2006). N-CTR-PUE-1-02-001/06: Obras de protección (Norma técnica [N-CTR-PUE-1-02-001/06: Protection works (Technical standard)]). <https://es.scribd.com/doc/266967258/N-CTR-PUE-1-02-001-06>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Subsecretaría de de Infraestructura (2019). Calidad de agregados pétreos para concreto hidráulico. En: N-CMT-2-02-002-19: Características de los materiales (Quality of aggregates for hydraulic concrete. In: N-CMT-2-02-002-19: Characteristics of materials). <https://normas.imt.mx/storage/normativa/N-CMT-2-02-002-19.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano (22 de marzo de 2017a). El ciclo de las rocas (The rock cycle). <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/El-ciclo-de-las-rocas.html>
- Servicio Geológico Mexicano (22 de marzo de 2017b). El microscopio petrográfico (The petrographic microscope). https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Informacion_complementaria/El-microscopio-petrografico.html
- Servicio Geológico Mexicano (22 de marzo de 2017c). Introducción (Introduction). <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Introduccion-rocas.html>
- Servicio Geológico Mexicano (2024). GeolInfoMex: El Banco de Datos del SGM (GeolInfoMex: The SGM Data Bank). <https://www.sgm.gob.mx/GeolInfoMexGobMx/#>
- Sistema Tecnológico de Monterrey (21 de junio de 2011). Agilizar la ayuda comunitaria (Streamline community aid). <https://cicpprd.itesm.mx/DocumentosPrincipalAlumno/457ee60a-e7b4-9a99-34fa-372c729e4543.pdf>
- The Logistics World (20 de agosto de 2023). Puerto de Tampico: ¿Cómo ha evolucionado en los últimos años para mejorar la competitividad? (Port of Tampico: How has it evolved in recent years to improve competitiveness?) <https://thelogisticsworld.com/comercio-internacional/puerto-de-tampico-como-ha-evolucionado-en-los-ultimos-anos-para-mejorar-la-competitividad/>
- Unidad de Cultura Científica e Innovación de la Universidad de Burgos [UBUinvestiga] (2020). Historia y evolución de la piedra. Una historia sobre la evolución humana y los avances tecnológicos (History and evolution of stone. A story about human evolution and technological advances). [Video] Youtube. <https://historiamateriales.ubuinvestiga.es/piedra/#Paso-4>