

26

Revista de divulgación científica
de la Facultad del Hábitat - UASLP

Publicación semestral
año 12 | número 26 | 2021

H+D

HÁBITAT **MAS**
DISEÑO



UASLP
Universidad Autónoma
de San Luis Potosí



FACULTAD DEL
HÁBITAT

Colaboradores en este número

Gerardo Javier Arista González
Alma María Cataño Barrera
Daniel Jiménez Anguiano
Jonathan Hammurabi González Lugo
Juan Manuel Lozano de Poo
María Elena Molina Ayala
Rocío Ramírez Villalpando

ISSN: 2007-2112

Precio en México \$ 60.00
En el extranjero 8.00 USD

COMITÉ EDITORIAL Y ARBITRAJE

NOMBRE COMITÉ

DR. FÉLIX BELTRÁN CONCEPCIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA, AZCAPOTZALCO

DRA. LUZ DEL CARMEN VILCHIS ESQUIVEL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MÉXICO

DRA. EUGENIA MARÍA AZEVEDO SALOMAO

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

MTRA. GUADALUPE GAYTÁN AGUIRRE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

DR. LUIS ALBERTO TORRES GARIBAY

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

COLABORADORES EN ESTE NÚMERO

GERARDO JAVIER ARISTA GONZÁLEZ

ALMA MARÍA CATAÑO BARRERA

DANIEL JIMÉNEZ ANGUIANO

JONATHAN HAMMURABI GONZÁLEZ LUGO

JUAN MANUEL LOZANO DE POO

MARÍA ELENA MOLINA AYALA

ROCÍO RAMÍREZ VILLALPANDO

DIRECTORIO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS
POTOSÍ

ALEJANDRO JAVIER ZERMEÑO GUERRA
RECTOR

FEDERICO ARTURO GARZA HERRERA
SECRETARIO GENERAL

JORGE ALBERTO PÉREZ GONZÁLEZ
SECRETARIO ACADÉMICO

AMAURY DE JESÚS POZOS GUILLÉN
SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DEL HÁBITAT

ROSA MA. REYES MORENO

DIRECTORA

MARÍA LETICIA VILLASEÑOR ZÚÑIGA

SECRETARÍA ACADÉMICA

JUANA MARÍA MIRANDA VIDALES

COORDINADORA DEL POSGRADO, F.H

JUAN MANUEL LOZANO DE POO

COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN, F.H

RUTH VERÓNICA MARTÍNEZ LOERA

EDITORA

EULALIA ARRIAGA HERNÁNDEZ

REDACCIÓN

ISMAEL POSADAS MIRANDA GARCÍA

DISEÑO EDITORIAL

CEDEM, CENTRO DE DISEÑO EDITORIAL

MULTIMEDIA, FACULTAD DEL HÁBITAT

H+D
HÁBITAT MAS
DISEÑO

H+D HÁBITAT MAS DISEÑO, año 12, número 26, julio-diciembre 2021, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Álvaro Obregón #64, Centro Histórico, C.P. 78000, San Luis Potosí, S.L.P. A través de la Facultad del Hábitat por medio del Instituto de Investigación y Posgrado del Hábitat. Con dirección en: Niño Artillero # 150, Zona Universitaria C.P. 78290, San Luis Potosí, S.L.P. Tel. 448-262481. <http://habitat.uaslp.mx>.

Editora responsable: Ruth Verónica Martínez Loera. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2010-120716055100-102, ISSN: 2007-2112. Licitud de Título y Licitud de Contenido: 15577. Registrada en el Catálogo y Directorio LATINDEX ISSN-L 2007-2112 e indexada en: EBSCO México, Inc. S.A. de C.V. Impresa en los Talleres Gráficos Universitarios, Av. Topacio esq. Blv. Río Española s/n, Fracc. Valle Dorado, C.P. 78399, San Luis Potosí, S.L.P. Distribuida por la Facultad del Hábitat con dirección en Niño Artillero # 150, Zona Universitaria C.P. 78290, San Luis Potosí, S.L.P. Este número se terminó de imprimir en el mes de junio de 2021 con un tiraje de 500 ejemplares.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, a través de la Facultad del Hábitat.

Alma María Cataño Barrera
Juan Manuel Lozano de Poo
Gerardo Javier Arista González

Caracterización de la roca potosina como material de construcción

Characterization of potosine rock as a construction material

Caracterização da rocha da potosina como material de construção

Resumen

La caracterización del material pétreo ha sido poco abordada porque tradicionalmente este tipo de roca se considera un material resistente y su proceso de producción sigue siendo altamente artesanal. Por lo tanto, el interés de realizar un estudio profundo de las propiedades índices (densidad, absorción y porosidad) de los tipos más comunes y representativos de rocas en la región centro del estado de San Luis Potosí, obedece a la revaloración del material pétreo como insumo tradicional de construcción desde su dimensión estructural y ornamental. Esta investigación considera cinco tipos de rocas de la región cuya tipología estética está ampliamente representada en la construcción histórica de nuestra ciudad a lo largo de sus 430 años. Por la falta de una normativa específica para estas pruebas se propuso el método estándar ASTM C642-97 para concretos. De forma adicional, se evaluaron las resistencias a la compresión axial de las muestras para su análisis estructural. Los resultados de este estudio aportan información valiosa para que este material regional sea considerado en proyectos constructivos sustentables desde sus propiedades estructurales, así como de su alto valor patrimonial.

Recibido: 5 de julio de 2021
Dictaminado: 21 de septiembre de 2021
Aceptado: 25 de noviembre de 2021

Palabras clave: caracterización de rocas, estudios geológicos regionales, propiedades físico-mecánicas, pruebas índices, pruebas de resistencia, cantera.

Characterization of potosine rock as a construction material.

Abstract

The characterization of stone material has been poorly addressed because traditionally, this type of rock is considered as a resistant material and its production process continues to be highly artisanal. Hence, the interest in carrying out an in-depth study of the index properties (density, absorption and porosity) of the most common and representative types of rocks in the central region of the state of San Luis Potosí, is to rediscover the value of stone as a traditional construction material understood from its structural and ornamental dimensions. This research analyses five types of rocks in the region, whose aesthetic typology is widely represented in the historical construction of our city throughout its 430 years. Due to the lack of a specific standard for these tests, the ASTM C642-97 standard method for concrete was applied. Additionally, the axial compression strengths of the samples were obtained for their structural evaluation. The results of this study provide valuable information for this regional material to be considered in sustainable construction projects from its structural properties, as well as its great heritage value.

Keywords: Characterization of rocks, regional geological studies, physical-mechanical properties, index test, resistant test.

Caracterização da rocha da potosina como material de construção

Resumo

A caracterização do material pétreo tem sido pouco abordada porque tradicionalmente este tipo de rocha é considerado um material resistente e porque o seu processo de produção continua a ser altamente artesanal. Consequentemente, o interesse em realizar um estudo aprofundado das propriedades dos índices (densidade, absorção e porosidade) dos tipos de rochas mais comuns e representativas da região central do estado de San Luís Potosí, deve-se a reavaliação dá o material pétreo como insumo tradicional da construção na sua dimensão estrutural e ornamental. Esta pesquisa considera cinco tipos de rochas da região cuja tipologia estética está amplamente representada na construção histórica de nossa cidade ao longo de seus 430 anos. Devido a falta de uma norma específica para esses ensaios, foi proposto o método da norma ASTM C642-97 para concretos. Além disso, as resistências a compressão axial das amostras foram avaliadas para análise estrutural. Os resultados deste estudo fornecem informações valiosas para que este material regional seja considerado em projetos de construção sustentável desde as suas propriedades estruturais, bem como o seu elevado valor patrimonial.

Palavras chaves: Caracterização de rochas, estudos geológicos regionais, propriedades físico-mecânicas, testes de índices, testes de resistência, pedreiras.

Introducción

Resulta imposible hablar sobre la historia constructiva de la región centro del Estado de San Luis Potosí sin hacer referencia a la cantera. Sus edificaciones patrimoniales más emblemáticas fueron concebidas y erigidas a partir de las características de este material regional y se ven enriquecidas estéticamente y constructivamente a través de su uso aparente en fachadas y elementos esculpidos al interior de los edificios. Es común apreciar en el primer cuadro de la ciudad el uso de la cantera como un recurso estructural y ornamental que expresa su profundo arraigo cultural y constructivo. Por consiguiente, la inquietud de esta investigación gira en torno a incrementar el conocimiento de este material e identificar sus propiedades físico-mecánicas, específicamente las denominadas propiedades índice de las canteras de la región: densidad, absorción y porosidad. Lo anterior, responde primordialmente al objetivo de establecer una conexión entre las teorías, técnicas y metodologías de construcción del pasado y del presente para su implementación a casos actuales que involucren a los recursos y materiales regionales sin afectar el entorno y aprovechar las cualidades estéticas en el contexto urbano actual.

De esta forma, se pretende encontrar resultados mediante pruebas de laboratorio y establecer las correlaciones entre las características mecánicas de resistencia a la compresión y propiedades índices. Su aplicabilidad va desde la conservación y restauración de una estructura antigua hasta la edificación de nuevas estructuras de vivienda que revaloren a la piedra como elemento estructural y constructivo explotando al máximo sus características físico-mecánicas y su potencial estético más allá de ser empleado únicamente como recubrimiento.

Esta investigación identificará algunas de las propiedades físico-mecánicas de

densidad, absorción, porosidad y resistencia a la compresión, así como las cualidades estéticas de color y textura de los cinco tipos más representativos de cantera de la región centro del estado de San Luis Potosí con la finalidad de crear una base de datos que permita explotar las ventajas y desventajas del uso de este material como elemento para la edificación de vivienda y aprovechar sus capacidades resistentes, estéticas y de tradición constructiva regional.

En la literatura actual existen pocos estudios de materiales pétreos regionales, lo cual se explica fácil porque sus características se interpretan tradicionalmente como conocidas. La elección de la piedra como materia prima, no es sólo por razones estéticas, sino por su consistencia y dureza; es un material duradero, sin destrucción (Fort, 2013). Este autor, hace referencia a todo aquel material que puede ser incorporado en la estructura y fabricación de monumentos debido fundamentalmente a su resistencia mecánica, siendo su elaboración sencilla de corte y labra. Es decir, el conocimiento de las propiedades intrínsecas de los materiales, que es lo que aquí nos ocupa. En el mismo tenor, (Álvarez, 2014) comenta que la piedra tradicional utilizada para edificación configura el color y textura de las ciudades, marcando la percepción de su estética. El valor propio de la piedra natural como material de alta durabilidad, con periodos de vida muy altos, superiores a los 100 años, hacen que los valores intrínsecos de sus propiedades no sean tomados en cuenta del todo; otorgándole mayor importancia a la selección del material y el control de calidad de las diferentes piezas, por su homogeneidad cromática y textural. A pesar de que para la selección de la piedra es indispensable que cumpla con tres características fundamentales: idoneidad, compatibilidad y durabilidad.

De acuerdo con (Fort, 2013) una roca es idónea cuando cumple las características de calidad para ser seleccionada en una obra determinada, es decir, presenta requisitos petrológicos y mineralógicos que le dan la homogeneidad cromática y textural deseada para la obra específica. En cuanto a la compatibilidad, se refiere a conocer propiedades físicas de la piedra que le permitan afrontar el reto climatológico y de uso que el proyecto demande. Y finalmente, la durabilidad es considerada una capacidad de la roca para mantener sus propiedades y características a lo largo de su función sin que disminuya su valor. Estas tres características se hacen más evidentes cuando se trata de remplazar una cantera existente, pero también son vitales para prolongar sus cualidades estéticas a lo largo de su vida útil.

Para (Martín, 1993), la construcción de edificios en piedra dota al edificio de valores emocionales (de admiración, espirituales, simbólicos); valores culturales (técnicos, históricos, documentales, arqueológicos, estéticos, urbanísticos, paisajísticos); valores de uso (funcionales, económicos, sociales y políticos) y valores de apariencia general (color, alteración superficial, estructura y naturaleza mineralógica).

Origen de la roca potosina

La composición litológica y estructural de las rocas en el estado muestra episodios diversos de tipo orogénico, en combinación con actividad ígnea volcánica. Esta configuración fue afectada subsecuentemente por fracturas del suelo, movimientos de tierra y procesos de alteraciones con agua, disolución, transporte y depósito de sedimentos. Las características geológicas del municipio de San Luis Potosí marcan que está delimitada por roca volcánica del Cuaternario (45.99%), el Neógeno (41.51%) y el Cretácico (1.34%). Con roca ígnea extrusiva: riolita-toba ácida (28.37%), riolita (10.86%), basalto (0.21%) y toba-ácida (0.05%). Sedimentaria: conglomerado (2.22%), caliza (0.92%) y caliza-lutita (0.43%). Suelo: aluvial (45.65%) y lacustre (0.13%). (INEGI, 2010)

Mientras que en el mapa geológico proporcionado por el Consejo de Recursos Minerales y el Gobierno del Estado de San Luis Potosí (Hiriart, 1992) se observa el predominio de tres tipos de rocas: ígneas extrusivas, *Tige* (lavas, tobas y brechas río líticas con andesitas en la base y basaltos en la cima); cuaternarias, *Qal* (aluviones, suelos y depósitos de bolsón y lacustres); y cuaternarias continentales, *Qc* (gravas y conglomerados poco consolidados. Estas capas tienen una permeabilidad media-alta. Y existe la presencia de rocas calcáreas en estructuras poco plegadas. Por la ubicación de la cantera de donde se extrajeron las probetas para esta investigación se considera que las rocas de Escalerilla y de la Cañada del Lobo corresponden a rocas ígneas extrusivas tipo *Tige*.

Para recuperar la utilización de las distintas rocas regionales como material base de construcción es necesario conocer sus propiedades. Es costoso y lento obtener las propiedades de las rocas, por tanto, resulta valioso contar con una base de datos que incluya características mecánicas (resistencia y posibilidad de deformación) y propiedades índices (grado de absorción, densidad relativa y peso volumétrico).

Metodología

El diseño metodológico para la realización de este estudio contempló cuatro pasos: *estudios históricos y morfológicos* preliminares; *preparación de probetas*; caracterización de los materiales; análisis integral de los resultados obtenidos con base en pruebas de laboratorio para identificar las propiedades de las muestras.

Para los estudios históricos y morfológicos nos basamos en referencias bibliográficas y el análisis de los documentos facilitados por el Consejo de Recursos Minerales. Sin embargo, para la preparación de las probetas se hizo una revisión documental de la normativa y de la bibliografía sobre el tema para diseñar adecuadamente las probetas, se encontró que:

Las pruebas índices son procedimientos que permiten determinar características

naturales de las rocas y que muestran algunas de sus propiedades mecánicas; en este estudio nos enfocaremos al grado de absorción, densidad relativa aparente y peso volumétrico seco. (Alonzo, 2010)

La obtención de estos valores se realizó con un procedimiento a cada espécimen (tres diferentes para cada tipo de roca), con la siguiente finalidad:

- Determinar el grado de absorción, lo que permitirá tener un parámetro de la calidad de la cantera en cuestión.
- Determinar la densidad relativa aparente permitiendo reconocer la calidad del material, ya que está íntimamente relacionada con el valor de la absorción.
- Conocer el peso volumétrico seco de un espécimen para reforzar los valores de calidad del material. (ver tabla 1)
- Es pertinente comentar que existen materiales porosos de baja densidad y alta absorción que son altamente resistentes y se identifican por su estructura a base de poros o cavidades visibles.

Materiales estudiados y probetas

La mayor limitante que se encontró durante esta investigación fue la selección y clasificación de los especímenes debido a que no existe un proceso de estandarización que permita identificar una roca de otra. Además, los artesanos locales nombran de muy variadas formas a las rocas regionales. Por lo que el nombre de las rocas fue proporcionado por un reconocido artesano local según la acepción común y la región de origen. Las muestras de los cinco tipos de cantera utilizados son propias de la zona entre la sierra de San Miguelito y la sierra de Álvarez, en el suroeste del estado.

- Rosa Escalerilla (B)
- Morado Duro Escalerillas (G)
- Amarillo Escalerillas (M)
- Café Apastillado Cañada del Lobo (F)
- Café Duro Cañada del Lobo (P)

Para lograr establecer un correcto espécimen según la norma DIN EN 772-4 (Beuth,

1998), la probeta correcta debió tener al menos 340 cm^3 , por lo cual se determinaron probetas cúbicas de 7 cm. Posteriormente fueron sometidas a dos tratamientos distintos, primero se obtuvieron sus condiciones de referencia de acuerdo a la norma; después se ensayaron las probetas en una máquina universal de compresión marca FORNEY, modelo LT-1150, capacidad de 150 Ton. del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP).

Procedimiento:

Según el procedimiento de la norma ASTM C642-97, primero se asignaron claves a los cinco diferentes tipos de especímenes seleccionados para su identificación utilizando tres muestras de cada variedad. En segundo lugar, se verificó su volumetría revisando ancho, largo y alto de cada una de las probetas. En tercer lugar, se especificaron las condiciones originales para referencia. Finalmente, las condiciones originales de cada probeta fueron definidas, (ver tabla 2).

Cabe resaltar que el método estándar ASTM C642-97 para determinar densidad, absorción y porcentaje de vacíos en rocas naturales es útil para desarrollar algunos datos indispensables sobre las propiedades básicas de especímenes con un volumen de al menos 350 cm^3 o de pesos menores a los 800 g. A continuación, se describen las cuatro pruebas de este método que fueron realizadas para este estudio.

1ª prueba: Peso seco. Se introdujeron las probetas en un horno a 100°C durante un primer ciclo de secado de 24 horas. Los datos recabados fueron dos pesos promediados, su diferencia en peso y porcentaje de variación. Se verificó un segundo ciclo de secado de otras 24 horas y se repitió la toma de datos. Esta prueba permite eliminar la humedad de cada probeta, si en el segundo ciclo la medición mostraba una diferencia superior al 10 %, sería requerido un tercer ciclo de secado.

2da. prueba: **Peso saturado.** Se sumergieron las rocas a un primer y segundo ciclo, el cual tuvo una duración de 24 horas cada uno. Los datos que se obtuvieron fueron los mismos que en prueba de peso seco, con los registros correspondientes para cada espécimen. Esta prueba permite saturar la muestra llenando sus poros con agua lo cual informa la cantidad límite que puede admitir cada probeta.

3ª prueba: **Peso hervido.** Las probetas se sometieron a un proceso de hervido en un recipiente con agua durante 5 horas, con la intención de abrir los poros en cada uno de los especímenes. Los datos extraídos fueron dos pesos que finalmente se promediaron. Este procedimiento tiene la finalidad de preparar las probetas para la siguiente prueba, permitiendo que la probeta absorba los fluidos. (Ver figura 2)

4ª prueba: **Peso en aire.** Para efectuar la prueba se requiere tomar cada probeta enseguida de la prueba del peso hervido y colgarla de manera individual con ayuda de un hilo. Posteriormente, se sumerge nuevamente en agua durante 5 a 10 segundos para la medición de su peso. Los datos capturados durante esta prueba fueron: el peso del recipiente vacío, el peso del recipiente con agua, el peso de cada probeta y la diferencia en peso del recipiente con la probeta.

Cálculos y resultados a las pruebas del método estándar.

A continuación, se presentan los valores obtenidos en cada prueba para cada una de las probetas en las cuatro etapas del método ASTM C642-97. (En la tabla 3 se muestra como fueron obtenidos los valores para cada probeta). De los cinco tipos de cantera estudiados podemos observar que solo la denominada Rosa Escalerillas presenta menor peso con valores promedio de peso hervido de 705.48 g. y peso en aire de 950.30 g.; mientras que los otros cuatro tipos se encuentran entre los mismos rangos destacando el tipo Café Apastillado de la Cañada

del Lobo como la más pesada, cuyos valores promedio son peso hervido de 779.87 g. y peso en aire de 1497.30 g.

El haber encontrado estas características permitió realizar otros cálculos que serán de utilidad para entender las propiedades físico-mecánicas de estas canteras. Las variables empleadas son:

- $A =$ masa de muestra secada al horno
- $B =$ masa de muestra después de la inmersión
- $C =$ masa de muestra después de la inmersión y ebullición
- $D =$ masa aparente de muestra en agua después de ebullición
- $g_1 =$ densidad de muestra seca, Mg/m^3
- $g_2 =$ densidad aparente, Mg/m^3
- $\rho =$ densidad del agua $= 1 Mg/m^3 = 1 g/cm^3$

1. Absorción después de la inmersión

Es la capacidad de un material para captar líquido y se define como el cociente entre el peso de agua que absorbe y su propio peso cuando está seco. Se expresa en tantos por ciento.

$$\text{capacidad de absorción de agua} = \frac{\text{peso saturado} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \times 100$$

Para expresarla en porcentaje y utilizando las variables propuestas tenemos:

$$\text{Absorción después de la inmersión} = \left[\frac{B - A}{A} \right] \times 100$$

Ecuación 6.1.1. ASTM C 642-97

2. Absorción después de la inmersión y la ebullición

Es la capacidad de un material para captar líquido y se define como el cociente entre la masa de muestra saturada después de la inmersión y ebullición menos la masa seca. Se expresa en tantos por ciento.

Para expresarla en porcentaje y utilizando las variables propuestas tenemos:

$$\text{Absorción después de la inmersión y la ebullición} = \left[\frac{C - A}{A} \right] \times 100$$

Ecuación 6.1.2. ASTM C 642-97

3. Densidad seca

La densidad seca se define como la relación entre el contenido de humedad óptimo y su densidad expuesto a una variación por trabajo mecánico externo (ASTM D 1557).

Para expresarla en Mg/ m³ y utilizando las variables propuestas tenemos:

$$\text{Densidad seca}(g_1) = \left[\frac{A}{(C - D)} \right] \times \rho$$

Ecuación 6.1.3. ASTM C 642-97

Densidad aparente

La densidad aparente está relacionada directamente con la absorción; a densidades altas y bajas absorciones, corresponden materiales compactos y resistentes, a no ser que presenten planos y superficies de debilitamiento. Existen materiales porosos de baja densidad y alta absorción que son bastante resistentes, de fácil identificación de poros y cavernas. (Alonzo, 2010: 11). La densidad aparente se define como la relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo huecos y poros que contenga, aparentes o no. (Keller & Hakansson, 2010)

Para expresarla en Mg/ m³ y utilizando las variables propuestas tenemos:

$$\text{Densidad seca}(g_2) = \left[\frac{A}{(A - D)} \right] \times \rho$$

Ecuación 6.1.6. ASTM C 642-97

Volumen del espacio de poros permeables (vacíos)

La porosidad es la fracción de volumen de una muestra que es ocupada por poro o espacio vacío, y corresponde a una medida del tamaño del vacío. Dependiendo del medio poroso, esta característica puede variar de valores cercanos a cero o valores cercanos a uno.

Para expresarla en porcentaje y utilizando las variables propuestas tenemos:

$$\text{Volumen del espacio de poros permeables} = \frac{(g_2 - g_1)}{g_2} \times 100$$

Ecuación 6.1.7. ASTM C 642-97

Los resultados obtenidos de los cinco tipos de roca estudiados y de sus probetas fueron organizados y analizados. Sin embargo, es conveniente señalar que de los cinco tipos de roca, el que muestra un peso volumétrico más bajo es el Morado Duro de Escalerillas (105.62 g/cm³) y el más alto el Amarillo de Escalerillas (117.64 g/cm³). En relación con la densidad seca, el valor más elevado los obtuvo el Morado Duro de Escalerillas (2.10 Mg/m³) y el de menor densidad el tipo Rosa de Escalerillas (1.21 Mg/m³). En cuando a la absorción después de la inmersión expresada en porcentaje, tenemos que el de menor grado de absorción es el tipo Morado Duro de Escalerillas (4.96%), dejando con el máximo grado de absorción a los tipos Amarillo y Rosa de Escalerillas (13.60 y 13.48 %) respectivamente. Estos hallazgos explican por qué los artesanos de la localidad han escogido frecuentemente tanto al tipo Rosa, como al Amarillo de Escalerillas para la escultura de elementos ornamentales de cantera. Sin embargo, no se ha promovido el tipo Morado Duro de Escalerillas para usos constructivo y/o estructural. (Ver tabla 4).

Resistencia a la compresión

Para la mecánica de rocas se incluyen propiedades como la resistencia a tracción y compresión simple. La prueba de resistencia a tracción presenta dificultades con probetas cúbicas, ya que no se ha encontrado un método que no introduzca tensiones a flexión, lo cual implica que el equipo de laboratorio necesario sea más delicado. Sin embargo, la compresión simple o la resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) ASTM-D2938-86 es posible medirla con un equipo común en los laboratorios.

Esta prueba fue realizada únicamente en rocas seleccionadas y se concluyó en la Facultad de Ingeniería de la UASLP. Se determinó el área transversal multiplicando

el ancho por el largo de la probeta y por medio de la máquina universal se fallaron los especímenes seleccionados. Se identificó la carga transversal que soportaron, y considerando su área transversal se calculó finalmente la resistencia a la compresión. En la tabla 5 se detallan los resultados de cada probeta a la prueba de resistencia a la compresión axial, una función sugerida y cualidades texturales y cromáticas aparentes. Las distintas probetas presentan composiciones mineralógicas con variedades polimorfas de cuarzo que sólo se forman a temperaturas muy elevadas y a presiones bajas (García, 1975).

Los resultados obtenidos permiten observar que las propiedades índices estudiadas, sobre todo lo relativo a densidad y absorción, pronosticaban un comportamiento a la resistencia a la compresión y los resultados lo confirmaron. El tipo Morado Duro de Escalerillas resultó obtener la mayor resistencia a la compresión (7365 kg/cm²) y los de menor capacidad de carga coinciden con los tipos Amarillo (1740 kg/cm²), Café Apastillado (1710 kg/cm²) y Rosa (1455 kg/cm²). Si comparamos estos valores con los de los materiales de construcción tradicionales vemos que el tipo Morado Duro supera ampliamente el concreto reforzado (2400 kg/cm²) y para los tipos Amarillo, Café Apastillado y Rosa, son equiparables al ladrillo común (1500-1600 kg/cm²) empleado en la construcción tradicional de muros.

Discusión y conclusiones

Para el caso de los valores obtenidos en peso volumétrico se puede apreciar que las muestras se encuentran entre 105.62 y 117.64 (g/cm³). Para el caso de los valores de pruebas de densidad se puede observar que las muestras se encuentran entre 1.21 y 2.10 (Mg/m³). Para el caso de los valores de pruebas de absorción se aprecia que existe mayor variabilidad oscilando desde 4.96 hasta 13.60 %. En relación a los resultados a la compresión axial se observan dos grupos de valores entre 5405-7365 y 1455-1740(kg/cm²). Esto último permite pro-

poner a los tipos de cantera más resistentes para funciones estructurales y los del segundo grupo para funciones ornamentales o constructivas simples.

Las pruebas realizadas para este estudio resultan lentas y costosas por ello mismo se consideró realizar algunas correlaciones que permitan obtener ecuaciones donde con un solo dato se puedan calcular las otras propiedades. (Ver figuras 3 a 6). Como un trabajo a futuro quedará la determinación de la resistencia a tracción, pero para ello será necesario el diseño apropiado de otras probetas donde no se introduzcan tensiones a flexión como en la probeta cúbica.

Tablas

Descripción	Unidad	Normas ASTM
Porcentaje de absorción	%	C97-83
Peso volumétrico seco	g/cm ³	C97-83
Densidad relativa aparente	s/u	C97-83

Tabla 1. Normas ASTM para algunas pruebas índice en rocas.

NOMBRE	Café apastillado			
REGIÓN	Cañada de Lobo			
CLAVE	CARACTERÍSTICAS DEL ESPECÍMEN			
	ANCHO (mm)	LARGO (mm)	ALTO (mm)	VOLÚMEN (cm ³)
F-1	71.66	71.35	71.66	366.39
F-2	71.80	72.10	72.20	373.76
F-3	71.80	72.32	71.50	371.27

Condiciones Originales			
CLAVE	PESO 1	PESO 2	PESO PROMEDIO
F-1	716.40	716.50	716.45
F-2	725.80	724.80	725.30
F-3	720.60	720.70	720.65

Tabla 2. Condiciones originales de la roca Café Apastillado (F-1, F-2 y F-3).



Tabla 3. Resultados de etapa 3 y 4. Rosa Escalerilla (B-1, B-2 y B-3).

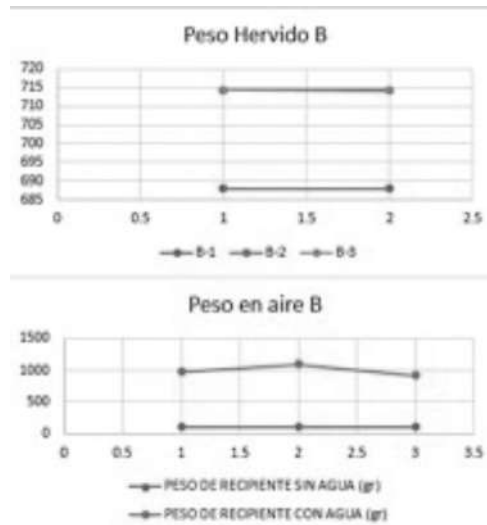


Tabla 4. Resumen de propiedades de los cinco tipos de rocas estudiados.

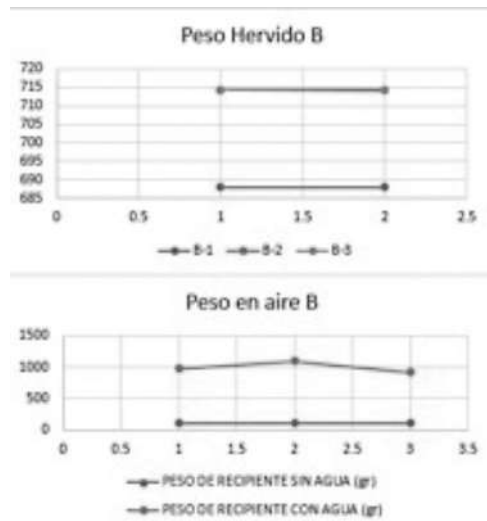


Tabla 5. Resultados de resistencia a la compresión, función sugerida y cualidades texturales y cromáticas de los cinco tipos de rocas estudiados.

Referencias

Álvarez Montiel, T. (2014). John Ruskin vs Viollet le Duc. Conservación vs Restauración. ArtyHum. Revista digital de Artes y Humanidades, 3: 151-160.

Alonzo Salomón, L. A, (2010) Características geotécnicas de los suelos y rocas de los estados de Yucatán y Campeche. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán PRI ORI – UADY, México

Alonzo Salomón, L. A y Espinosa Graham, L. (2003) Estudio de las propiedades de la roca caliza de Yucatán. Ingeniería 7-1, págs. 27-36

ASTM C 642-97 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.

DIN EN 772-4: *Methods of test for masonry units – Part 4: Determination of density and bulk density and total porosity and the open porosity of bricks made of natural stone*; German version (Beuth, 1998).

Fort González, R., Álvarez de Buergo, M., Pérez-Monserrat, E., Gómez-Heras, M., Varas, M.J., Freire, D.M (2013). Evolution in the use of natural building stone in Madrid, Spain. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 46,4: 421-429.

García de Miguel, J. M. (1975) Petrología de rocas. Ed. Fundación Gómez Pardo- E.T.S. de Ingenieros de Minas, Madrid.

Hiriart Balderrama, F., Martínez Corbalá, G., Elías Ayub, A. y Arvizu Lara, F. (1992). Mapa Geológico del Estado de San Luis Potosí. Consejo de Recursos Minerales. Compilado por: H.A. Durán M.; J. J. Praga P, Hilario Arriaga, M. y J. Manuel Maldonado L. Escala 1: 500000.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010. San Luis Potosí. Clave geo-estadística 24028.

Keller, T.; Hakansson, I. (2010). Estimation of refence bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. Geoterma 154: 398-406.

Martín Pérez, A. (1993) Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico-artístico. Revista de Edificación, RE13. Conservación del Patrimonio Arquitectónico de agua. (53–57)