



Caracterización de propiedades físico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura

M. Navarrete¹, W. Martínez^{1,2}, E. Alonso^{1,2,3}, C. Lara², A. Bedolla³, H. Chávez¹, D. Delgado⁴, J. C. Arteaga⁴

¹Maestría en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías Terrestres, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México 58040.

²Departamento de Materiales, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 58070.

³Facultad de Arquitectura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 58070

⁴Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, 50100.

Información del artículo

DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v3i2.49>

Artículo recibido el 07 de Marzo de 2013, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 16 de Mayo de 2013. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el primer número del año 2014 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2013

© 2013 ALCONPAT Internacional

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 3, No. 2, Mayo - Agosto 2013, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Av. Zamná No. 295 entre 61 y 63 Fraccionamiento Yucalpetén, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97248, Tel.5219997385893, alconpat_int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org
Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, ISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Av. Zamná No. 295 entre 61 y 63 Fraccionamiento Yucalpetén, Mérida Yucatán, México, C.P. 97248, fecha de publicación: 30 de mayo de 2013.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

RESUMEN

Los materiales pétreos se emplean actualmente en casi todos los procesos edificatorios y debido a esto se les realizan diferentes pruebas, pudiendo ser tanto físicas como mecánicas; en éstas, el ensayo de carga puntual normado por ASTM D 5731, describe el empleo del equipo Point Load para determinar la resistencia mecánica en rocas no labradas, con tamaño aproximado de 4 pulgadas de diámetro, determinándose características mecánicas con alta confiabilidad y facilidad; es método económico porque el equipo se puede llevar al sitio o (banco) cantera, no siendo necesario labrar los especímenes. Si además se realizan pruebas físicas como humedad actual, absorción, densidad y gravedad específica, estos resultados ayudan a conocer mejor el comportamiento mecánico de los materiales pétreos, pudiéndose lograr beneficios económicos reflejados en la elaboración del concreto, tanto hidráulico como asfáltico. En este trabajo también se comparan las propiedades físicas y mecánicas de los bancos de materiales de la región de Morelia, Michoacán, México.

Palabras Clave: materiales pétreos; point load; muestra no labrada.

ABSTRACT

Stone materials are currently used in almost all building processes and because of this they perform different tests can be both physical and mechanical, in these, the load test regulated by ASTM D 5731, describes the use of the instrument Point Load to determine the mechanical strength unheewn rocks, with approximate size of 4 inches in diameter, determining mechanical properties with high reliability and ease, it is economical method because the team can take the site or (bank) quarry, not necessary till the specimens. If further tests are physical and current humidity, absorption, density, specific gravity, these results help to better understand the mechanical behavior of the stone, being able to achieve an economy, as in the preparation of concrete, hydraulically and asphalt. This paper also compares the physical and mechanical properties of materials banks in the region of Morelia, Michoacan, Mexico

Keywords: stone materials; point load; sample worked.

Autor de contacto: M. A. Navarrete Seras (markns_21@yahoo.com.mx)

1. INTRODUCCIÓN

Las rocas son agregados naturales duros y compactos de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes, que habitualmente se consideran un sistema continuo. La proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica" (González, 2002). Siempre se ha utilizado la roca en las construcciones civiles las cuales constan de superestructura y subestructura (o cimentación); ésta última transmite las cargas de la estructura al suelo de desplante. Para proyectar y construir la subestructura o cimentación, es necesario conocer las propiedades de los materiales que serán empleados, ya sea que las dimensiones de la cimentación están directamente relacionadas con las propiedades de los pétreos y el suelo, así que tal conocimiento es crucial para cualquier construcción.

A comienzos de los años 70 del siglo XX, el Colegio Imperial de Londres, desarrolló un equipo hidráulico portátil para medir la Resistencia de las Rocas Bajo Carga Puntual (I_s), parámetro que está totalmente correlacionado con la Resistencia a la Compresión Uniaxial Simple. Esta prueba se puede realizar en fragmentos irregulares o regulares de rocas, ya sea en especímenes cilíndricos aplicada en forma diametral y axial o en especímenes en forma de paralelepípedo. Para cualquier elección de la forma que tenga la roca, sobre testigos de 50 mm de diámetro, la resistencia se calcula con la siguiente expresión:

$$I_s = \frac{P * 1000}{D_e^2} \quad (1)$$

Donde:

I_s = Índice de carga puntual, sin corregir (MPa)

P = Carga de rotura (kN)

D_e = Distancia entre los puntas cónicas de carga (mm)

Franklin et al (1971), propusieron clasificar los macizos rocosos mediante el empleo de dos parámetros: el Índice de Resistencia Bajo Carga Puntual (I_s), y el Índice de Espaciamiento entre Fracturas (If), el cual no se tratará en este trabajo.

El índice de carga puntual proporciona una valoración útil de resistencia mecánica, en particular de la compresión uniaxial de rocas sanas sin daños, la cual se deberá corregir en función de las dimensiones reales que tengan los especímenes a analizar. Algunos autores han propuesto métodos de correlación entre el índice de carga puntual (I_s) y la Resistencia mecánica a compresión de las rocas (σ) (Broch y Franklin, 1972, Akram M. y Bakar 2007, Singh et al. 2012).

La relación entre σ y I_s para núcleos de 50mm de diámetro es de 24, que es una constante definida como K entre ambos parámetros, con lo que se llega a la siguiente expresión (Broch y Franklin, 1972):

$$\sigma = K I_s \quad (2)$$

El valor de K fue posteriormente corroborado por Bieniawski (1975), utilizando núcleos con diámetro de 54 mm NX (diámetro de broca) en muestras de arenisca, cuarcita y norita. En este trabajo se utilizará dicha constante, en tanto se determine una propia para los tipos de roca en estudio.

La ciudad de Morelia, Michoacán, México se encuentra localizada en el Sistema Neovolcánico Transversal Mexicano, con una concentración alta de conos de trefa jóvenes, entre ellos el Jorullo y el Parícutin, lo que ha dado lugar a innumerables formaciones de bancos de materiales de construcción de origen ígneo en las cercanías de la región de Morelia; por tal motivo, la caracterización de los mismos permite a los ingenieros de diseño conocer las características mecánicas de las rocas presentes en los depósitos de material, entre las que destacan el valor de la resistencia a compresión, grado de absorción, entre otras. Con esta información es posible generar correlaciones entre distintas propiedades y poder inferir el posible comportamiento mecánico dentro de las mamposterías, y seleccionar aquel banco de material que cumpla con la normativa, utilizando un método confiable para estimar σ como es el Point Load. Con este equipo la prueba se puede realizar en el sitio y además en fragmentos de forma geométrica irregular, lo cual reduce los costos y el tiempo en preparar muestras con geometrías regulares para conocer su resistencia (Yagiz, 2013).

2. DESARROLLO

En el presente trabajo, se determinaron las propiedades ingenieriles de las rocas bajo estudio, procedentes de algunos yacimientos de materiales de construcción más representativos de la región, estas propiedades constan de: resistencia a compresión simple mediante el ensayo de carga puntual o point load, porcentaje de humedad actual, porcentaje de absorción, densidad por medio de picnómetro, densidad aparente o gravedad específica, ensayo de absorción capilar; este tipo de información es altamente empleada en el diseño estructuras de mampostería natural, así como en la dosificación de mezclas de concreto hidráulico y asfáltico.

2.1 Ensayo de carga puntual (Point Load) (ASTM D 5731-05).

En este trabajo se realizó la prueba de carga puntual en muestras de geometría irregular. El objetivo es determinar la resistencia mecánica a compresión de la roca al someterla a una carga puntual que se aplica mediante un par de piezas cónicas. Es una prueba de índice y el valor obtenido de este modo está destinado a ser utilizado para clasificar y caracterizar la roca.

El índice de carga puntual sin corregir se calcula con la ecuación 3:

$$I_s = \frac{P * 1000}{D_e^2} \quad (3)$$

Dónde:

P = Carga aplicada en kN.

D_e = Diámetro del núcleo equivalente, mm (ver figura 1).

I_s = Índice de carga puntual, MPa.

Se toman las dimensiones de los fragmentos los cuales deben cumplir con las prescripciones que se indican en la norma. La razón $0.3 < D / W < 1$ que de preferencia quede cerca de 1. La distancia $L > 0.5W$ (L distancia del extremo de la roca a las puntas cónicas) y se conoce el W , como se muestra en la figura 1.

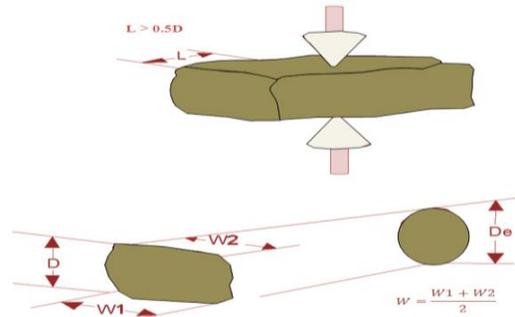


Figura 1. Determinación de las dimensiones de los fragmentos irregulares (ASTM D 5731-05).

Para fragmentos irregulares el diámetro equivalente se calcula con la ecuación 4:

$$D_e^2 = \frac{4A}{\pi} \quad (4)$$

Donde $A = WD = \text{Área transversal mínima paralela a la dirección de la carga en mm}^2$.

El índice de resistencia a la carga puntual corregido, $I_{s(50)}$, de una muestra de roca se define como el valor de I_s que se ha medido por una prueba diametral con $D = 50$ mm.

Cuando una clasificación de roca es esencial, el método más fiable para obtener $I_{s(50)}$ es llevar a cabo las pruebas con diámetros de $D = 50$ mm o muy cercanos a dicho valor, por ejemplo, en el caso de las prueba diametral NX (diámetro de la broca), el diámetro del núcleo es igual 54 mm y la corrección de tamaño a D igual a 50 mm no es necesario. La mayoría de las pruebas de carga puntual, son llevadas a cabo utilizando tamaños de muestras diferentes al diámetro mencionado.

Para la corrección de tamaño se utiliza la ecuación 5:

$$I_{s(50)} = FxI_s \quad (5)$$

Donde F es el factor de corrección por tamaño y se realiza mediante la ecuación 6:

$$F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0.45} \quad (6)$$

Para las pruebas realizadas en muestras cercanas al estándar de 50 mm de diámetro, la corrección se realiza mediante el uso de la ecuación 7:

$$F = \sqrt{\left(\frac{D_e}{50} \right)} \quad (7)$$

La resistencia a la compresión uniaxial δ_{uc} puede obtenerse mediante el uso de la figura 2 o utilizando la ecuación 8:

$$\sigma = kI_{s(50)} \quad (8)$$

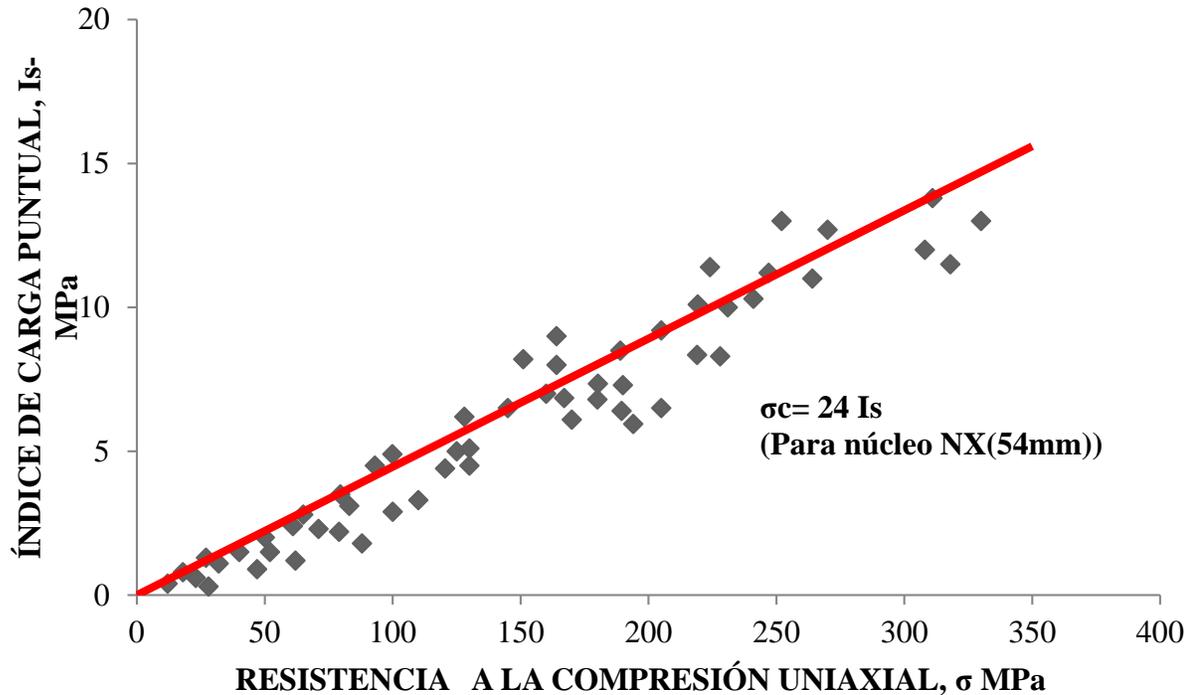


Figura 2. Relación entre la resistencia a la compresión uniaxial y el índice de carga puntual (ASTM D5731-05). Resistencia a la compresión uniaxial de 125 pruebas en Piedra Arenisca, Cuarcita, Marikana, Norita y Belfast Norite.

De acuerdo a la figura 2, tomada de ASTM D5731-05, el valor de la constante K es igual a 24:

$$\sigma = (K)I_{s(50)} = 24I_{s(50)} \quad (9)$$

σ = Resistencia a la Compresión Uniaxial

2.2 Porcentaje de humedad actual (ASTM C 127-04)

El objetivo de esta prueba es determinar el contenido de humedad que presenta una roca en estado natural; el cual es un indicador del contenido de agua acumulado en el agregado ya sea por las condiciones del banco, de la humedad del ambiente, de poros interconectados, etc.

El procedimiento consiste en muestrear el banco de materiales, numerar las muestras y pesar cada una de ellas, secándose en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas; posteriormente las muestras se retiran del horno y se dejan enfriar hasta la temperatura ambiente, se determina el peso (Navarro L., 2011).

El valor de este parámetro se determina empleando la ecuación 10.

$$\% \text{ Humedad Actual} = \frac{P_i - P_f}{P_f} 100 \quad (10)$$

Dónde:

P_i = Peso inicial de la muestra, en g.

P_f = Peso final de la muestra, en g.

Se determina un promedio de las muestras representativas de las rocas.

2.3 Porcentaje de absorción (ASTM C 127-04).

De acuerdo con ASTM C127, el contenido de humedad puede entenderse como el incremento de la masa de un agregado, debido a la penetración de agua dentro de los poros de la partícula durante un periodo establecido de tiempo, sin considerar el agua adherida a las paredes externas de dicha partícula; el porcentaje de humedad se expresa como una fracción de la masa seca de la roca.

El procedimiento para la realización de esta prueba consiste en secar las muestras en horno, a una temperatura de $100 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas, posteriormente se dejan enfriar para pesarlas (p_s = peso seco), una vez hecho esto las muestras se saturan en un recipiente con agua durante 24 horas como mínimo; transcurrido este tiempo, las muestras se retiran del agua y se secan superficialmente con un lienzo o paño absorbente y se pesan (p_h = peso húmedo). El porcentaje de absorción se determina por medio de la ecuación 11:

$$\% \text{ De humedad de absorción} = \frac{P_h - P_s}{P_s} 100 \quad (11)$$

Dónde:

P_h = peso húmedo de la muestra, en g.

P_s = peso seco de la muestra, en g.

Se calcula el promedio para aproximarse a la humedad real de la muestra.

2.4 Densidad por medio del picnómetro

Como su nombre lo indica, esta prueba se emplea para determinar la densidad de la roca; las muestras a caracterizar se enumeran para identificarlas, se dejan saturar en el agua durante un periodo de 24 horas, después se procede a secar superficialmente y registrar su peso húmedo (W en gramos), una vez determinado este valor se llena con agua el picnómetro (aparato que sirve para medir el volumen de agua desalojado por el material sólido equivalente al volumen del mismo, tal como grava y arena), colocando dentro de éste la muestra de roca. El volumen de agua desalojado (V en cm^3) es cuantificado con una probeta (Navarro L., 2011), la densidad se determina por medio de la ecuación 12:

$$D = \frac{W}{V} \quad (12)$$

Dónde:

D = Densidad de la muestra, g/cm^3 .

W = Peso de la muestra, g.

V = Volumen de agua desalojado por la muestra de roca, cm^3 .

2.5 Densidad Aparente o Gravedad Específica (ASTMC 127-04).

La densidad relativa (gravedad específica), es la relación de la densidad de un material con respecto a la densidad del agua destilada a una temperatura estandarizada, por lo anterior los valores de esta propiedad son adimensionales.

El procedimiento consiste en secar las muestras en el horno a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, dejar enfriar y pesar (p_s =peso seco), poner a saturar en agua durante 24 horas; una vez transcurrido este período de tiempo se determina el peso superficial seco (p_{ss}), finalmente la muestra se coloca en la canastilla adaptada en la báscula y se sumerge, obteniéndose el peso sumergido o peso en agua (p_a) (Navarro L., 2011). La Gravedad Específica se determina empleando la ecuación 13:

$$G.E = \frac{P_s}{P_{ss} - P_a} \quad (13)$$

Dónde:

P_s = peso seco de la muestra, en g.

P_{ss} = peso superficial seco de la muestra, en g.

P_a = peso sumergido de la muestra, en g.

Se calcula el promedio para aproximarse a la humedad real de la muestra

2.6 Ensayo de Absorción Capilar (Carpio J. J. y miembros de la Red DURAR, 1998).

El movimiento vertical del agua a través de un material rocoso (ascensión capilar) se fundamenta en la presión de succión. Un material poroso, puesto en contacto con una película de agua, es capaz de succionar agua con una presión que es inversamente proporcional al tamaño de los capilares. La altura alcanzada será tanto mayor cuanto menor sea el diámetro de los conductos entre los poros y dependerá, en primera instancia y para una evaporación dada, del rango de distribución de tamaño de los poros. Así pues, las rocas con mayor proporción de microporos serán las que, en general, exhiban mayores alturas o coeficientes de penetración capilar (Esbert, R. M., 1997). La propuesta de la metodología de ensayo lo describe Göran Fagerlund y cuantifica la cinética de la absorción capilar de morteros y concretos a través de tres coeficientes:

m .- Resistencia a la penetración del agua.

K .- Coeficiente de absorción capilar.

E_o .-Porosidad efectiva.

El ensayo se realiza en especímenes de espesor $H \leq 50$ mm, luego de un pre-acondicionamiento de secado a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 48 horas hasta peso constante y posteriormente un enfriamiento.

Luego de registrar su peso inicial W_o , la muestra es colocada sobre una esponja húmeda en el interior de un recipiente de fondo plano con un tirante de agua de solo 3 mm por encima de la parte inferior de la probeta de ensayo. Se recomienda previamente cubrir con resina o parafina las áreas laterales del espécimen, para garantizar que la muestra solo absorba agua por la parte inferior, a lo largo del ensayo es necesario mantener cubierto el recipiente para evitar evaporación. El cambio de peso ($W_t - W_o$) de la probeta por unidad de área expuesta del espécimen (A) se registra a intervalos de tiempo de 1/12, 1/6, 1/4, 1/2, 1, 2, 3, 4, 6, 24, 48... horas.

Los coeficientes se calculan en base en las ecuaciones (14, 15 y 16):

$$m = \frac{t}{z^2} \left(\frac{s}{m^2} \right) \quad (14)$$

Dónde: z representa la profundidad de penetración del agua al tiempo t .

$$k = \frac{(w_t - w_o) / A}{\sqrt{t}} \left(\frac{kg}{m^2 s^{1/2}} \right) \quad (15)$$

k es evaluada como la pendiente de la región lineal al graficar $(W_t - W_o)/A$ en función de \sqrt{t} . El coeficiente k puede ser determinado calculando el tiempo requerido para que el agua ascienda a la cara superior de la probeta, es decir, cuando $z=H$ (Carpio J. J. y miembros de la Red DURAR, 1998). Con la anterior información la Succión Capilar, se calcula como:

$$S = \frac{1}{\sqrt{m}} \left(\frac{mm}{h^{1/2}} \right) \text{ o } \left(\frac{kg}{m^2 s^{1/2}} \right) \quad (16)$$

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Las Tablas 1 a 4 muestran los resultados promedio de las diferentes pruebas físicas, que se le realizaron a las muestras así como la prueba de carga puntual (Point Load). Se analizaron materiales de diez bancos.

Tabla 1. Resultados de % de humedad actual, % de humedad de absorción, gravedad específica, densidad y carga puntual como un promedio de 35 fragmentos irregulares por banco.

NOMBRE	%H. A.	%H. ABS.	G. E.	D (g/cm ³)	$I_{s(50)}$ (Mpa)	σ (MPa)
CERRITOS (C)	0.22	5.00	1.70	1.70	2.27	54.48
HURAMBA(H)	0.24	4.01	1.70	1.93	3.27	78.48
JOYITAS (J)	1.49	5.40	1.80	1.80	3.29	78.96
COMANJA (CO)	1.06	5.08	1.91	2.09	3.56	85.44
CUENEMBO(U)	0.15	5.80	2.00	2.00	2.43	58.32
TIGRE(T)	0.19	5.90	1.70	1.70	1.82	43.68
MASKUTAN(K)	0.80	15.82	1.31	1.49	1.68	40.32
MELÓN(M)	0.60	15.00	1.50	1.60	1.71	41.04
AGC(G)	2.99	1.26	2.57	2.64	3.77	90.48
EL COLEGIO(S)	0.83	0.83	2.63	2.61	4.33	103.92

Tabla 2. Resultados de % de humedad actual, % de humedad de absorción, gravedad específica, densidad y carga puntual, como un promedio de 12 fragmentos irregulares por banco.

NOMBRE	%H. A.	%H. ABS.	G. E.	D (g/cm ³)	<i>I_{s(50)}</i> (Mpa)	σ (MPa)
CERRITOS (C)	0.09	6.87	1.47	1.45	2.27	54.48
HURAMBA(H)	0.31	4.63	1.71	1.70	3.27	78.48
JOYITAS (J)	0.51	2.76	1.58	1.60	3.29	78.96
COMANJA (CO)	1.71	2.81	1.65	1.71	3.56	85.44
CUENEMBO(U)	0.20	7.87	1.58	1.71	2.43	58.32
TIGRE(T)	2.06	4.49	1.42	1.46	3.64	87.36
MASKUTAN(K)	0.23	9.25	1.40	1.60	2.54	60.96
MELÓN(M)	0.42	2.82	1.75	1.77	3.82	91.68
AGC(G)	1.82	1.86	2.51	2.57	3.82	91.68
EL COLEGIO(S)	0.68	1.00	2.54	2.61	3.37	80.88

Tabla 3. Resultados de % de humedad actual, % de humedad de absorción, gravedad específica y densidad, como un promedio de 12 cubos de 5cm de arista por banco.

NOMBRE	%H. A.	%H. ABS.	G. E.	D (g/cm ³)
CERRITOS (C)	0.15	6.62	1.46	1.53
HURAMBA(H)	0.29	2.69	1.63	1.68
JOYITAS (J)	0.68	3.31	1.45	1.49
COMANJA (CO)	1.71	2.99	1.61	1.71
CUENEMBO(U)	0.23	5.15	1.65	1.72
TIGRE(T)	1.58	4.65	1.35	1.44
MASKUTAN(K)	0.27	9.42	1.46	1.58
MELÓN(M)	0.56	2.69	1.73	1.73
AGC(G)	2.02	1.51	2.52	2.51
EL COLEGIO (S)	0.86	0.88	2.59	2.62

En una primera etapa de esta investigación se realizaron pruebas a 350 fragmentos irregulares es decir 35 por cada banco (Tabla 1). En la segunda etapa de la investigación se obtuvieron 12 fragmentos irregulares (Tabla 2) y 12 cubos de 5 cm de arista extraídos de bloques de rocas que se obtuvieron en cada uno de los bancos de materiales (Tabla 3).

El porcentaje de humedad actual es un indicativo de la cantidad de humedad que tiene una muestra en el sitio, el cual se ve afectado al momento de labrar los especímenes como en este caso en particular en la elaboración de los cubos.

En las Tablas 1 y 2 correspondientes a resultados obtenidos para fragmentos irregulares, se observa que tanto la densidad como la gravedad específica presentan ligeras variaciones de entre 1 a 2 g/cm³ para rocas volcánicas, y para material pétreo triturado de entre 2 a 3 g/cm³. En cuanto a la gravedad específica se encuentran en el mismo rango de variación.

La Tabla 3 correspondiente a resultados de los cubos, muestra que las cuantificaciones en rocas labradas y sin labrar no muestran una gran diferencia en cuanto a las propiedades físicas.

El porcentaje de humedad de absorción varía con la porosidad de la roca, los materiales pétreos triturados (AGC y El Colegio) registran los menores valores de absorción con un promedio de 0.5- 2.0 % por tratarse de materiales ígneos intrusivos, basaltos.

El Índice de carga Puntual para los diferentes bancos de materiales en estudio se encuentran entre los 1.5 MPa a 4.4 MPa.

Tabla 4. Promedio de tres cubos por banco, prueba de absorción capilar

NOMBRE	K(g/m ² S ^{0.5})	m (s/m ²)	εε(%)	S(m/s ^{0.5})
CERRITOS (C)	29.252	1824981.40	0.29	0.000991
HURAMBA(H)	51.786	949553.86	0.49	0.00106
JOYITAS (J)	1.750	607486896.15	0.43	0.000041
COMANJA (CO)	26.550	1660379.76	0.25	0.00115
CUENEMBO(U)	58.482	617581.82	0.46	0.00127
TIGRE(T)	18.436	445140.98	0.11	0.00154
MASKUTAN(K)	38.673	595795.19	0.31	0.00135
MELÓN(M)	30.301	486644.48	2.66	0.00147
AGC(G)	19.808	1866415.70	0.19	0.000941
COLEGIO (S)	9.100	65751952.84	0.23	0.000454

4. CONCLUSIONES

Las propiedades tales como la densidad y gravedad específica presentan valores muy similares para cada tipo de roca estudiada, mostrando una variación poco significativa. Esto puede ser debido a que los bancos estudiados se encuentran en una misma región y las rocas estudiadas son todas de origen ígneo extrusivo.

Las propiedades cuantificadas en cubos de roca y en fragmentos son muy similares debido a que tienen las mismas propiedades intrínsecas, lo cual nos permite conocer con certeza sus propiedades físicas en rocas labradas así como en no labradas.

En cuanto a la prueba de carga puntual (Point Load) se observa que el mayor índice ($I_{S(50)}$) se presenta en los bancos *AGC* y *El Colegio* (bancos de triturados), mismos que obtuvieron las mayores valores de densidades y la menor absorción; por lo tanto es posible considerar que sean materiales pétreos compactos aptos para su uso en ingeniería. En contraste, los bancos de materiales no triturados presentan mayores valores de porosidad, lo cual se ve reflejado en menores valores del índice $I_{S(50)}$, asociado con el valor de la resistencia a compresión de la roca.

De acuerdo a la norma N-CMT-2-01-003/02 y el Reglamento de Construcción del Estado de Michoacán, el valor mínimo de resistencia a compresión para rocas utilizadas en la construcción de mampostería es de 15MPa (150 kgf/cm²). Para los bancos de triturados caracterizados en el presente estudio, el Índice de Carga Puntual, $I_{S(50)}$ es 3.80 MPa, para el banco *AGC* y 3.85 MPa para el banco *El Colegio*. Empleando la ecuación (9), los valores de la resistencia a compresión para cada banco de material se determinaron en 91.2 MPa y 92.4 MPa respectivamente, por lo anterior, se puede recomendar el uso de las rocas procedentes de dichos bancos para ser empleadas como piezas para elementos estructurales de mampostería.

En la misma Normativa, se especifica que los valores de absorción en rocas deben ser menores al 4%; al igual que en el caso de la resistencia a compresión, los bancos de triturados presentan valores por debajo de este límite (ver Tablas 1 a 3), por lo anterior se observa que dichos materiales cumplen con la especificación y pueden ser empleados para propósitos de construcción estipulados. Igualmente, el valor mínimo de gravedad específica indicado en la reglamentación vigente en el Estado de Michoacán, México es de 2.3, observándose que los bancos de pétreos triturados superan este valor, clasificándolos así como aptos como materiales de construcción en mampostería.

Con base en el conocimiento de las propiedades índice de las rocas, se puede lograr abatir costos asociados con la formulación de mezclas, tanto para concreto asfáltico como hidráulico y elementos de mampostería, ya que conocer dicha información es sumamente útil para los diseñadores encargados de dosificar ya sea concreto hidráulico, emulsiones asfálticas o elementos de mampostería sismo-resistentes, optimizando la cantidad necesaria de agentes aglomerantes. El trabajo aquí presente muestra este tipo de datos experimentales sumamente apreciados en la industria de la construcción.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y el apoyo de las instalaciones del Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH, así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), y el Programa SEP-Promep de Redes Temáticas de México.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ASTM Standards, Standard: C 127-04. Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM Standards, Standard: D 5731-05. Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock.
- Akram M. and Bakar M. Z. A. (2007). *Correlation between Uniaxial Compressive Strength and Point Load Index for Salt-Range Rocks*. Pak. J. Engg. & Appl. Sci. Vol. 1: 1-8.
- Bieniawski, Z. T. (1975) *Point load test in geotechnical practice*, Engineering Geology, 9(1), 1-11.
- Broch, E. and Franklin, J. A. (1972) *Point load strength test*, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 9(6), 669-97.
- Carpio J. J. y miembros de la Red DURAR (1998), *Manual de Inspección, Evaluación y Diagnostico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado*, Segunda Edición. Agosto, ISBN 980-296-541-3, pp. 117-119.
- Esbert, R. M.; Ordaz, J.; Alonso, F. J. y Montoto, M. (1997) *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales cerámicos pétreos y cerámicos*. col•legid'AparelladorsiArquitectes Tècnics de Barcelona, 139 pp.
- González de Vallejo L. I., Ferrer M., Ortuño L., Oteo C., (2002) *Ingeniería Geológica*, Editorial Pearson Educación, Madrid, ISBN84-205-3104-9.
- Navarro L., Martínez W., Espinoza A. (2011), “*Análisis de Materiales*”, Libro de Análisis de Materiales, Resistencia de Materiales, FIC – UMSNH, tercera edición.
- Singh T. N., Kainthola A., Venkatesh A. (2012) *Correlation between point load index and uniaxial compressive strength for different rock types*, Rock Mech Rock Eng 45(2):259–264.
- Yagiz Saffet (2013) Comment on “*Point Load Test on Meta-Sedimentary Rocks and Correlation to UCS and BTS*” by Diyuan Li and Lous Ngai Yuen Wong, Rock Mechanics and Rock Engineering, DOI: 10.1007/s00603-012-0299-x. Rock Mech Rock Eng 46:909–912.