EVALUACIÓN DE ROCAS ÍGNEAS SOMETIDAS A INTEMPERIZACIÓN POR CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

**J. C. GARCÍA PERDOMO, C. LARA GÓMEZ, D. GARCÍA ROMERO,
C. U. ESPINO GONZÁLEZ, F. DE J. JERÓNIMO RODRÍGUEZ.**

Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Avenida Francisco J. Mujica S/N
Ciudad Universitaria C.P. 58030, Morelia, Michoacán México.

RESUMEN

Se analizaron rocas ígneas en el laboratorio de materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Los especímenes se extrajeron de diferentes bancos de materiales del municipio de Tlalpujahua Michoacán. Se aplicó la prueba de congelamiento y deshielo a vigas con dimensiones de 6x6x26 cm, las cuales se clasificaron por su color en: bronce (BR), café oscuro (Co), café rojizo (CR), dorado (D), gris (G), negro (N) y rosa (R). Se realizó una evaluación de pruebas no destructivas: velocidad de pulso ultrasónico (VPU), resistividad eléctrica (RE), humedad de absorción, frecuencia de resonancia (FR) y destructivas: flexión. Se determinó su resistencia a flexión una vez que se afectaron los especímenes por congelamiento y deshielo durante un periodo de 25 ciclos (3 horas de cada ciclo), aplicando una carga de flexión en las vigas en el centro del claro, con base en la norma mexicana NMX-C-303-ONNCCE-2010. De acuerdo con los resultados obtenidos del esfuerzo a flexión de cada una de las vigas, las de color dorado (D) resistieron menor carga (kg) que las demás rocas; respecto al módulo de ruptura (MR), los esfuerzos a cortante y a flexión se representan en kg/cm². Quienes presentaron mayor flexión estática son las vigas de color negro (N) y mayor esfuerzo de cortante las vigas de color rosa (R) y negro (N). Con los datos obtenidos se determinó el porcentaje de durabilidad de cada una de las rocas en el periodo de los ciclos analizados

Palabras clave: corrosión en concreto armado; sustitución del cemento; arcilla poliolica; durabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de infraestructura de nuestro Estado de Michoacán ha aumentado de tal manera que el turismo es una fuente principal por su estructura arquitectónica e individual que contiene los diferentes municipios que son representativos al estado y contienen construcciones de cantera, pero no se sabe con exactitud cuál es su característica física, mecánica y durabilidad en bajas temperaturas de rocas ígneas en la región.

La caracterización del material de la región de Tlalpujahua Michoacán, nos permite conocer las características físicas, mecánicas y de durabilidad de las rocas que son sometidas a intemperización por ciclos de congelamiento y deshielo. Para esto se utiliza pruebas no destructivas y destructivas.

La evaluación realizada en pruebas no destructivas: Velocidad de Pulso Ultrasónico, Resistividad Eléctrica, frecuencia de resonancia, nos ayuda a determinar sus características físicas de los siete tipos de roca diferenciadas por su color y localizadas en la misma región. Las pruebas destructivas realizadas: resistencia a flexión.

2. CONGELAMIENTO Y DESHIELO EN ROCAS DE CANTERA ÍGNEA

Objetivo: Determinar las variaciones de resistencia por medio de ciclos de congelamiento y deshielo especificados en dos procedimientos de los cuales en ninguno de los dos proporciona cuantitativamente la durabilidad que se puede esperar, (NMX-C-205-ONNCCE-2005).

Equipo:

- 5 muestras representativas de roca de forma prismática de 6 x 6 x 26 centímetros de 7 colores diferentes por los 3 bancos de material de cantera, las probetas se usan por recomendación de la norma NMX-C-169-ONNCCE, no menores de 76 mm de grueso ni mayores de 137 mm de ancho y no menores de 360 mm ni mayores de 406 mm de longitud, pueden ser de corazones o prismas cortados.
- Recipiente de plástico con capacidad para alojar 4 prismas por color de roca.
- Aparato para la congelación y deshielo, equipo de refrigeración con control para producir una temperatura continua y automáticamente especificada para el procedimiento.
- Equipo de medición de temperatura
- Báscula o balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Equipo de Velocidad de Pulso Ultrasónico.
- Equipo para medir la Resistividad Eléctrica.
- Máquina Universal de pruebas marca Forney.

Procedimiento:

1. Se preparó el aparato enfriador un día antes para tener una temperatura constante de -18°C .
2. Los prismas que se utilizaron fueron sometidos en proceso de saturación por 48 horas hasta obtener masa constante. Ver figura 2.1.

Figura 2.1. Las muestras en forma de prisma fueron sometidas en proceso de saturación por 48 horas hasta obtener masa constante, ciclo 0, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2019.

3. Se clasificaron por color y se enumeraron, se tomaron las dimensiones de cada uno de los especímenes. Ver figura 2.2.

Figura 2.2. Se enumeran y se registran las dimensiones reales los prismas, ciclo 0, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2019.

4. Realizando pruebas de resistencia eléctrica, Velocidad de Pulso Ultrasónico y frecuencia de resonancia. Registrando los valores obtenidos en el ciclo cero considerando como valor inicial o testigo de los especímenes antes de ser sometidos al proceso de congelamiento y deshielo. Ver figura 2.3, 2.4 y 2.5.

Figura 2.3. Se realiza la prueba de Velocidad de Pulso Ultrasónico, ciclo 0, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2019.

Figura 2.4. Se realiza la prueba de Resistividad Eléctrica, ciclo 0, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2019.

Figura 2.5. Se realiza prueba de Frecuencia de Resonancia, ciclo 0, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2019.

5. La probeta debe estar completamente cubierta por 3 mm de agua durante todo el tiempo de la prueba y debe estar colocada en el fondo del recipiente de plástico adecuado para 4 especímenes. Ver figura 2.6.

Figura 2.6. Se colocan 4 especímenes en cada recipiente, con un nivel de 3 mm sobre la superficie de la muestra, ciclo 0, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2019.

6. Se ingresó cada recipiente con las muestras al aparato enfriador (refrigerador), tomando un tiempo de inicio, cumpliendo un periodo de 3 horas por ciclo dentro del aparato enfriador. Ver figura 2.7.

Figura 2.7. Se colocan todos los recipientes dentro del aparato enfriador cumpliendo un periodo de tiempo de 3 horas en el transcurso de cada ciclo, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2019.

7. Una vez concluido el ciclo se sacan las muestras, se realizan pruebas de temperatura, dimensiones, masa, Resistividad Eléctrica, Velocidad de Pulso Ultrasónico y frecuencia de resonancia, registrando estos valores obtenidos en el ciclo uno. El procediendo de realización de pruebas tiene que ser muy ágil a tal manera de no perder temperatura en los especímenes. Ver figura 2.8.

Figura 2.8. Se toma la temperatura cuando sale el recipiente de aparato enfriador con las muestras, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2019.

8. Después de realizarle pruebas a los especímenes, se vuelven a ingresar al aparato enfriador considerando su tirante mínimo de 3 mm de cada uno de los recipientes, inicia el próximo ciclo registrando periodos durante un tiempo de 3 horas.
9. En toda la prueba se repite el paso 7 y 8 hasta alcanzar 25 ciclos, cuidando el tirante de agua de cada uno de los recipientes. No se utilizaron guantes, el procedimiento fue muy extremo por la mayoría de las muestras se congelaban en el transcurso de cada ciclo. Ver figura 2.9 y 2.10.

Figura 2.9. Se realiza el ciclo de prueba de registro de temperatura, medición de dimensiones, masa, Resistividad Eléctrica, Velocidad de Pulso Ultrasónico y Frecuencia de Resonancia durante 25 ciclos, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2019.

Figura 2.10. Conforme en cada ciclo de pruebas las muestras se congelan más por la penetración del hielo en los poros de la roca, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2019.

10. Después de los 25 ciclos sometidos a congelamiento y deshielo se procedió a un aprueba de resistencia a flexión en el centro del claro de cada uno de los especímenes junto con los que se dejaron de testigo del ciclo cero. Ver figura 2.11.

Figura 2.11. Se realiza prueba de Flexión Estática al final de todos los ciclos que fue sometido el espécimen, Fotografía: J.C. García Perdomo, 2019.

3. ECUACIONES

El valor del módulo de elasticidad dinámico relativo después de “c” ciclos de congelamiento y deshielo. Calculando con la siguiente formula:

$$P_c = \frac{n_{12}}{n_1} * 100 \quad (1)$$

Donde:

P_c = Es el módulo relativo de elasticidad después de “c” ciclos de congelación y deshielo, en porciento (%).

n₁₂ = Es la frecuencia transversal fundamental a cero ciclos de congelamiento y deshielo.

n₁ = Es la frecuencia transversal después de “c” ciclos de congelamiento y deshielo.

Este cálculo del módulo dinámico de elasticidad relativo está basado en la suposición de que las masas y las dimensiones de las probetas permanecen constantes durante la prueba. Esta suposición no es verdadera en muchos casos debido a la desintegración de las probetas (NMX-C-205-ONNCCE-2005, 2005).

Para cuantificar los daños que sufren los especímenes sometidos en la prueba de congelamiento y deshielo se determina un factor de durabilidad del cual se calcula de la siguiente manera:

$$FD = \frac{P \cdot N}{M} \quad (2)$$

Donde:

FD = Es el factor de durabilidad de las probetas de estudio.

P = Es el módulo dinámico de elasticidad relativo a N ciclos (último ciclo), en porcentaje (%).

N = Es el número de ciclos a los cuales estuvo expuesta la prueba.

M = Es el número de ciclos específicos a los cuales se termina la prueba.

Para obtener el de P, se requiere calcular el módulo de elasticidad dinámico relativo en el primer y último ciclo con la siguiente formula:

$$P = \left(\frac{n_f^2}{n_i^2} \right) * 100 \quad (3)$$

Donde:

P = Es el módulo de elasticidad dinámico relativo al ciclo “n” (último ciclo) %

nf = Es la frecuencia transversal en el último ciclo de prueba en Hz.

ni = Es la frecuencia en el primer ciclo de prueba en Hz.

4. TABLAS Y FIGURAS

Figura 4.1. Gráfico de temperatura en periodo de 25 ciclos de 3 horas, promedio total de 4 prismas clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2019.

Figura 4.2. Gráfico de temperatura en periodo de 25 ciclos de 3 horas, promedio en ciclo de 4 prismas clasificados por color. J.C. García Perdomo, 2019.

Figura 4.3. Gráfico de Resistividad Eléctrica, promedio total de 4 prismas clasificados por color en periodo de 25 ciclos de prueba. J.C. García Perdomo, 2019.

Figura 4.4. Gráfico de Resistividad Eléctrica, promedio en ciclo de 4 prismas clasificados por color en periodo de 25 ciclos de prueba. J.C. García Perdomo, 2019.

Figura 4.5. Gráfico de Velocidad de Pulso Ultrasónico, promedio total de 4 prismas clasificados por color en periodo de 25 ciclos de prueba. J.C. García Perdomo, 2019.

Figura 4.6. Gráfico de frecuencia de resonancia, promedio total de 25 ciclos de 4 prismas clasificados por color en periodo de prueba. J.C. García Perdomo, 2019.

Figura 4.7. Gráfico de resistencia a flexión estática, promedio total de 25 ciclos de 4 prismas clasificados por color en periodo de prueba. J.C. García Perdomo, 2019.

Figura 4.8. Gráfico de esfuerzo cortante, promedio total de 25 ciclos de 4 prismas clasificados por color en periodo de prueba. J.C. García Perdomo, 2019.

Figura 4.9. Gráfico del porcentaje de factor de durabilidad en rocas, promedio total de 25 ciclos de 4 prismas clasificados por color en periodo de prueba. J.C. García Perdomo, 2019.

5. RESULTADOS

Del estudio en rocas ígneas evaluadas en congelamiento y deshielo se observa en las figuras 4.1 y 4.2 el cambio de temperatura de 6.2 a 7.5 °C que resistieron los especímenes en un periodo de 25 ciclos de 3 horas. En la figura 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 se muestran los resultados de Resistividad Eléctrica, Velocidad de Pulso Ultrasónico y Frecuencia de Resonancia al término de los 25 ciclos de congelamiento y deshielo no se observan cambios significativos en los resultados quedando como evidencia que no se afectaron las rocas durante los ciclos de prueba, por lo que se recomienda hacer más ciclos de prueba de tal manera que se pueda apreciar algún tipo de daño, tanto en pruebas mecánicas y su análisis de durabilidad. Esta es una prueba de desgaste acelerado que se recomienda para climas extremos, sin embargo, en la región no se presenta este tipo de climas que pueda afectar la durabilidad.

6. CONCLUSIONES

En la prueba de congelamiento y deshielo no se observan cambios significativos en los resultados quedando como evidencia que no se afectaron las rocas durante los 25 ciclos de prueba, por lo que se recomienda hacer más ciclos de prueba de tal manera que se pueda apreciar algún tipo de daño, tanto en pruebas mecánicas y su análisis de durabilidad en rocas.

7. AGRADECIMIENTOS

De antemano le doy las gracias a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería Civil, Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”. Por su apoyo de equipo para llevar a cabo la investigación de este trabajo.

A la M.I. Cindy Lara Gómez, por el apoyo y orientación en el proyecto que se realizó. Proporcionarme equipo y documentos necesarios para la investigación del presente trabajo.

Al M.I. Felipe de Jesús Jerónimo Rodríguez por su orientación y manejo de equipos, sus opiniones y consejos que me ayudaron a tener mejor criterio en el área de investigación.

Al M.I. Carlos Uriel Espino González, por sus consejos que me brindó durante la investigación de este proyecto de tesis y motivación a seguir adelante en la vida profesional.

A Daniela García Romero por su apoyo incondicional en momentos críticos, y por ayudarme día con día en las pruebas de investigación acerca del tema.

8. REFERENCIAS

NMX-C-205-ONNCCE-2005. (2005). *Industria de la construcción- concreto - determinación de la resistencia del concreto a la congelación y deshielo acelerados*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE).

NMX-C-275-ONNCCE-2004. (2004). *Industria de la construcción- concreto- determinación de la velocidad de pulso a través del concreto- Método de Ultrasonido*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE).

NMX-C-514-ONNCCE. (2016). *Industria de la Construcción-Resistividad Eléctrica del Concreto Hidráulico-Especificaciones y Metodos de Ensayo*. México : Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.

Paricutín, E. V. (21 de enero de 2016). Obtenido de <https://contactohoy.com.mx/paricutin-el-volcan-que-solo-le-perdono-la-vida-a-una-iglesia-en-mexico/>