

Estimación de los niveles de degradación de rocas blandas a partir de registros de vibración ambiental

Quantification of degradation levels for soft rocks using environmental vibration records.

Clairet Isabel Guerra Guevara*

Orlando Rincón Arango**

Manuel Santiago Ocampo Terreros***

Resumen

En esta investigación se realizaron mediciones de microtremors en un trayecto de 50 km de la concesión Briceño Tunja Sogamoso, en el sector correspondiente entre el Siga y Tuta. Adicionalmente se realizó una revisión de la geología y geomorfología en los puntos de medición seleccionados. A partir de este proceso se estableció la naturaleza de los procesos modeladores del paisaje, y las condiciones diagenéticas importantes que tiene influencia en el desempeño de los materiales en estudio.

Se utilizó el método Nakamura (relación espectral H/V), el cual que permite obtener períodos fundamentales de los depósitos, los cuales fueron asociados posteriormente con los niveles de degradación establecidos con la escala de degradación Slake Durability Rating (SDR). Los resultados obtenidos indican una correlación favorable, y permitieron verificar las hipótesis planteadas sobre la bondad de la técnica en detección de meteorización en estudios anteriores.

Palabras clave: Microtremores, Técnica H/V Nakamura, Slake durability rating, Período fundamental, Meteorización de rocas blandas, Degradación.

Abstract

In this research, microtremors were registered along 50km of Highway Bogotá-Tunja – Sogamoso, in the zone between el Siga and Tuta. The geology and geomorphology of every point was reviewed. It was key in the analysis of the nature of the landscape evolution and the determination of the diagenetic conditions that have effect in the performance of the materials in study.

The Nakamura technic was used (H/V ratio). It is useful for the predominant period determination of the soil deposits. This results were correlated with the disintegration levels from classification chart of Slake durability Rating. A good correlation was obtained, it did permit to verify the hypothesis of previous studies about that this technic is a good tool for weathering identification.

Keywords: Microtremors, Technical H/V Nakamura, Slake durability rating, fundamental period, Soft rock weathering, Degradation

* Estudiante ingeniería civil Pontificia Universidad Javeriana. c.guerra@javeriana.edu.co

** Ingeniero civil Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Magister en geotecnia Universidad Nacional de Colombia, Estudiante doctorado en ingeniería Pontificia Universidad Javeriana, Profesor Asistente III Universidad de la Salle, orincon@unisalle.edu.co

*** Ingeniero civil Pontificia Universidad Javeriana. Magister infraestructura vial Universidad de los Andes, Doctor en ingeniería Universidad de los Andes, Profesor Asistente Pontificia Universidad Javeriana, manuel.ocampo@javeriana.edu.co

I. INTRODUCCIÓN

La degradación acelerada de los taludes de corte, en rocas blandas, ha sido un problema de estudio por diferentes autores. Como resultado de estos estudios se han propuesto diferentes sistemas de clasificación como el slake durability Rating SDR propuesto por (Erguler & Ulusay, 2009) [1], o escalas como la propuesta por (Sadisun, 2000) [2], con la cual definió rangos de ingenieril de arcillolitas de la formación Subang en Java.

Uno de los problemas de estos sistemas es la subjetividad en la definición apropiada del grado de meteorización o degradación de los materiales en campo. Lo que sumado a las difíciles condiciones de muestreo hace muy difícil la determinación de unos parámetros adecuados de diseño para los taludes de corte que garanticen un desempeño adecuado ante condiciones ambientales.

El objetivo principal de esta investigación fue el de verificar a nivel preliminar si mediante el uso de microtremors registrados con un acelerógrafo portátil, es posible establecer los niveles de degradación de las rocas blandas. La anterior hipótesis se encuentra soportada en los resultados reportados por Páez y Rincón en el 2000, que realizaron medidas de vibración ambiental sobre los mismos materiales y analizaron el efecto de la tubificación subsuperficial y los efectos de la meteorización sobre la relación espectral obtenida con la técnica de Nakamura [3].

Para la evaluación del área de estudio se realizó una primera campaña de mediciones, en un trayecto de 50 km de la concesión Briceño – Tunja - Sogamoso, (BTS), que serán complementadas en fases posteriores de este estudio. El presente trabajo hace parte del Proyecto de Investigación de degradación de rocas blandas que se adelanta en la Pontificia Universidad Javeriana.

II. METODOLOGÍA

A. Selección de los sitios de registro

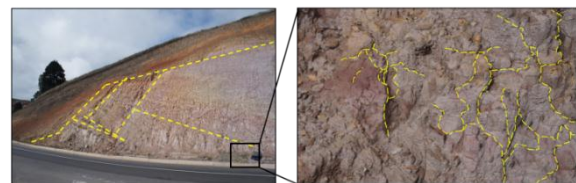
Los sitios de registros se seleccionaron de acuerdo con los resultados del monitoreo y muestreo para caracterización que se viene realizando desde el año 2011 en el corredor de estudio. Posteriormente Se realizó una visita de reconocimiento de cada uno de los sitios. Para la elección de los sitios se definieron los siguientes criterios:

- Zonas con características geológicas y niveles de degradación bien definidas. Zonas sanas, zonas degradadas.
- Condiciones ambientales óptimas para la aplicación de ambos métodos, refiriéndose principalmente a la presencia de ruido sísmico constante y proveniente de todas las direcciones.
- Facilidad de instalar los equipos, y el acceso a las partes altas. En la Figura 1 se muestra, uno de los sitios elegidos.



Figura 1. Talud para ser evaluado.

Finalmente se seleccionaron 30 puntos a lo largo de la vía con diferentes niveles de degradación los cuales fueron calificados de acuerdo con la escala SDR. Esta Clasificación es básicamente cualitativa, y se realizó comparando el nivel de degradación determinado inicialmente en campo contratándolo posteriormente con el registro fotográfico y se ubicó el patrón correspondiente a la escala de SDR presente en el terreno. Figura 2.



(a)

(b)

Figura 2. a) Vista de la zona, identificación de discontinuidades. b) Zona con alto nivel de degradación

B. Equipos utilizados

La instrumentación utilizada fue un arreglo de cuatro acelerómetros marca Wilcoxon® modelo 731A Este sistema es capaz de medir 2000 datos por segundo en un rango de frecuencias entre 0.1 Hz y 300 Hz. Para el proceso de adquisición de datos se trabajó con el programa LabVIEW®

C. Instrumentación en campo

Para el registro de aceleraciones se ubicaron 30 puntos a lo largo de la vía. Se tomaron tres mediciones en cada sitio con una duración de (180 s) con una tasa de muestreo de 100mps, lo anterior de acuerdo con la reportado por Páez y Rincón [3]. Antes de proceder a realizar se realizó una verificación de la estabilidad horaria de la señal ante diferentes condiciones ambientales en materiales de similares características. Para esto, se ubicó el equipo de medición en una zona de corte reciente en sobre arcillolitas, correspondiente al nuevo Edificio de Artes de la Pontificia Universidad Javeriana que se encuentra en construcción.

Se siguió la metodología realizada por Páez y Rincón [3] la cual se basó en los trabajos de Alfaro en Barcelona [4], esta propone hacer la toma de datos de aceleración en un intervalo de 24 horas, Para descartar posible problemas con los equipos de registro y garantizar que los resultado a los que se llega son los mismos sin importar que tipo de actividad se desarrolla en el entorno o el nivel de ruido. De acuerdo con los resultados se comprobó nuevamente la efectividad de la técnica y su estabilidad en el resultado.

Para ejecutar correctamente la campaña de medición, fue necesario tomar medidas preventivas y seguir métodos que redujeran el margen de error de la señal. Entre las principales precauciones y métodos siguieron fueron:

- Se georeferenció el punto de medición y se calificó su nivel de degradación. Asegurando que el punto fuera representativo.
- Se retiró la capa vegetal, en los casos donde estaba presente, con el fin de tener acceso al material de interés.
- Se niveló la superficie para garantizar ortogonalidad del arreglo de sensores.
- Se Ubicó el arreglo con los sensores orientándolo respecto del Norte magnético.
- Se utilizó un aislante para proteger los sensores de las variaciones de temperatura.



Figura 3. Instrumentación en campo. Arreglo triaxial de acelerómetros.

Procesamiento de los datos

Para procesar la información obtenida se seleccionó el software GEOPSY, software de código abierto para investigación geofísica y análisis de vibraciones ambientales desarrollado en el marco del proyecto europeo SESAME. Esta es una herramienta para procesamiento de señales de vibración ambiental, para fines de caracterización de sitio, que permite obtener el cociente espectral H/V para casi cualquier tipo de señal de vibración (vibraciones ambientales, terremotos, etc.).

Para el procesamiento se definieron los siguientes parámetros: longitud de ventana 20 segundos, porcentaje de traslape 50%, se realizó una eliminación de fuentes transitorias y un suavizado de la señal usando la técnica de Konno y Omachi, siguiendo las especificaciones de la literatura consultada [5](Konno & Omachi, 1998). Este suavizado se basa en una formula trigonométrico-logarítmica y toma en cuenta la frecuencia central de máxima amplitud aplicando un coeficiente exponencial. Con lo anterior es posible observar la respuesta de sitio a partir de la gráfica H/V correspondiente(Rivera, 2013).

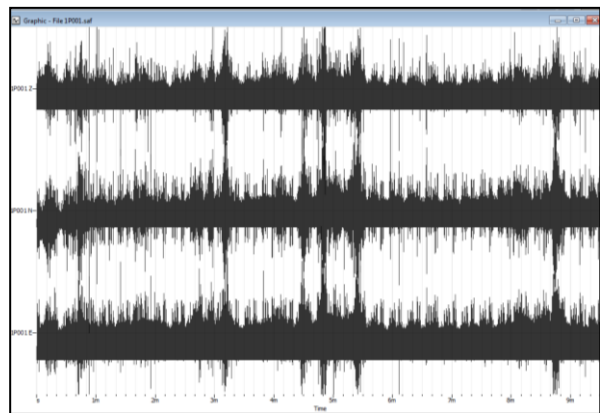


Figura 4. Señal cargada en Geopsy .

La Figura muestra la ventana de resultado posterior a la aplicación de la técnica H/V de Nakamura. Las líneas de color representan todas las ventanas seleccionadas para el análisis, la línea negra sólida representa el espectro resultante del promedio geométrico de todas las ventanas de color, las líneas punteadas representan la desviación estándar de los datos. La barra gris señala donde se encuentra el pico que indica la frecuencia fundamental del suelo, mostrando un color gris oscuro hacia el valor máximo y gris claro hacia el valor mínimo.

Este pico es seleccionado automáticamente por el programa en la zona donde se encuentre la menor desviación estándar.

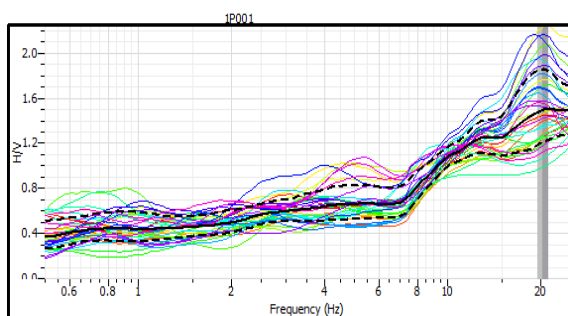


Figura 5. Ventana de resultado de la aplicación de la técnica.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Basados en los análisis de los resultados iniciales se determinó que existe un patrón en la respuesta sísmica relacionada con el nivel de degradación de la roca; esto es, para un mayor valor del período predominante existirá un mayor nivel de degradación del depósito.

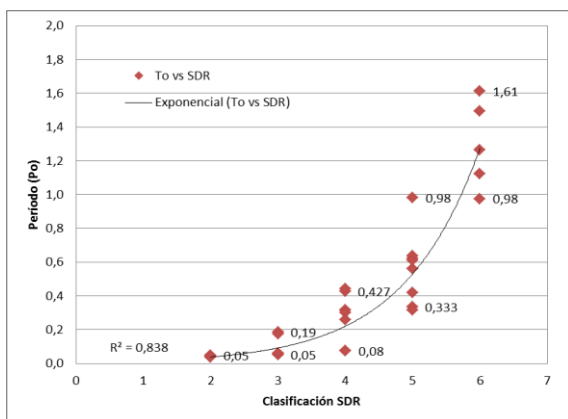


Figura 6. Grafica de Período vs. SDR

La zona sur del área de estudio presentó resultados de SDR comprendidos entre niveles de degradación II a IV, indicando una degradación

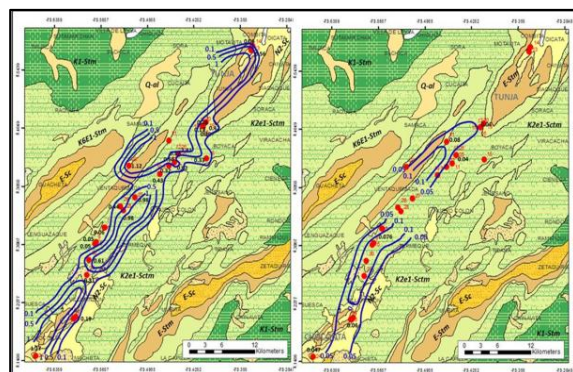
media a baja del material y períodos predominantes comprendidos entre 0.05 s y 1.27 s.

Para la zona central se obtuvieron valores comprendidos entre niveles de degradación III a V, con valores de períodos predominantes comprendidos entre 0.036 s y 1.613 s.

Para la zona norte ubicada en Tunja, los valores de degradación se ubicaron entre los niveles III a VI, indicando una degradación del material entre media a alta, y períodos predominantes comprendidos entre 0.060 s y 1.124 s.

En cuanto a la amplitud de la señal, en el análisis del gráfico Amplitud contra SDR no se logró identificar un patrón de comportamiento que se correlacione con el nivel de degradación; sin embargo, en el mapa de Iso-Amplitudes se logró obtener una tendencia que podría correlacionarse con la naturaleza y nivel de degradación de las rocas

Al comparar las mediciones realizadas en diferentes puntos de los taludes (parte alta, media y baja), fue posible establecer diferencias significativas en los valores de periodo dominantes de acuerdo con la alta actividad geológica. Es decir periodos predominantes más bajos donde la roca presenta menor nivel de degradación y baja afectación antrópica y periodos predominantes más altos en los sitios donde la actividad antrópica y la degradación es mayor.



A) Puntos medidos en zona baja B) Puntos medidos en zona media

Figura 7. Mapa de Iso-Períodos (Ts) para los puntos analizados. Esquematizado sobre mapa geológico de la zona tomado de Ingeominas.

IV. CONCLUSIONES

La tendencia establecida entre el período predominante del suelo y el nivel de degradación,

está asociada en cierto grado a la geología regional del área. Altos valores de período, se corresponden con una zona sometida a mayor deformación tectónica y viceversa.

Se verificaron los resultados reportados por Páez y Rincón (2000), Sobre la bondad de la técnica para la identificación de materiales sujetos a procesos de dispersión y tubificación subsuperficial, en materiales de la misma zona.

Existe una clara relación entre la geología de la zona y los parámetros obtenidos y analizados de los registros de vibración ambiental.

La medida del nivel de degradación se puede considerar un equivalente a la rigidez (**K**) de las estructuras bajo condiciones normales de sedimentación. Sin embargo, al sufrir los efectos tectónicos compresivos, el material se va a degradar de acuerdo a los agentes externos particulares de cada zona .

Las estructuras cercanas al punto de medición, como son los muros de contención de taludes para este estudio, no representan un efecto considerable sobre la señal.

Se confirmó nuevamente que la señal analizada con la técnica H/V de Nakamura es estable en el tiempo.

REFERENCIAS

[1] Erguler, Z. A., & Ulusay, R. (2009). Assessment of physical disintegration characteristics of clay-bearing rocks: Disintegration index test and a new durability classification chart. *Engineering Geology*, 105(1-2), 11-19.

[2] Sadisun, I. A. (2000). Characterization of Weathered Claystone and Their Engineering Significance. Paper presented at the Indonesian Scientific Meeting.

[3]Paez,A. & Rincon, O.(2000) Determinación de los periodos predominates de suelo de la ciudad de Tunaj apartir de microtemblores Tesis universidad pedagogica y tecnologica de Colombia.

[4] Alfaro, A. (2005). Aplicacion de los microtemblores en la ingenieria sismica. XVI

Jornadas estructurales de la ingenieria de Colombia: 19.

[5]Konno, K., & Omachi, T. (1998). Ground-motion characteristics estimated from spectral ratios between horizontal and vertical components of microtremors. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88, 228-241.

[6]Rivera, A. H. J. (2013, Mayo 2013). Geotécnia Sociedad mexicana de ingeniería geotécnica, 227, 52.