

# **Hidrogeomorfología y geotecnia del macizo rocoso de la estación de Pico Espejo (4765 msnm)- Sistema teleférico de Mérida, Venezuela.**

## **Hydrogeomorphology and geotechnics of the rocky massif of the Pico Espejo station (4765 m.) – Cable car system in Mérida, Venezuela.**

Guerrero, Omar<sup>1</sup>; Viscarret, Patxo <sup>1</sup>; Yegres, Luis <sup>2</sup>; Aray, Jelime <sup>2</sup>; Ávila, Jesús<sup>2</sup>; Cerrada, Milgrea <sup>3</sup>; Guerrero – Camargo, Omar <sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigaciones de Científicas de la Tierra – Terra, Escuela de Ingeniería Geológica. Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Mérida – Venezuela.

<sup>2</sup> Fundación Venezolana de Investigaciones Sísmicas. Caracas – Venezuela.

<sup>3</sup> Laboratorio de Geofísica, Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes. Mérida – Venezuela.

<sup>4</sup>Dirección de Ingeniería. Empresa Habit, C.A. San Luis Potosí. México.  
omarguerrero1231@gmail.com

### **Resumen**

*Se realiza un diagnóstico y evaluación hidrogeomorfológica y geotécnica de la fachada norte de la Estación Pico Espejo, (sección K1-K4) y en general, de las condiciones geológicas del sustrato rocoso de la estación Pico Espejo, esta corresponde a la quinta estación del sistema Teleférico localizado en jurisdicción del Municipio Libertador, estado Mérida – Venezuela, con la finalidad de determinar las condiciones geológicas y geotécnicas del sustrato de la estación Pico espejo, a través de aplicación de métodos geofísicos no invasivos (GPR – Ground Penetration Radar y Ruidos Sísmico Ambiental), evaluación geomecánica del macizo rocoso (determinación de compresión simple de macizo rocoso) y geoquímica (Isotopos estables naturales del agua). La integración de los resultados permitió reconocer un proceso continuo de infiltración de agua a nivel de roca fresca y fracturada a profundidad de hasta 4 m., con potencial inestabilidad de geotécnica del sustrato por pérdida de cohesión y resistencia del macizo rocoso.*

**Palabras claves:** Métodos geofísicos, macizos rocosos, Andes venezolanos, estabilidad geotécnica

### **Abstract**

*A hydrogeomorphological and geotechnical diagnosis and evaluation of the north faces of the Pico Espejo's Station (section K1-K4) and, in general, of the geological conditions of the rocky substrate of the Pico Espejo's station, this corresponds to the fifth station in the system. Cable car located in the jurisdiction of the Libertador Municipality, Merida state - Venezuela, in order to determine the geological and geotechnical conditions of the Pico Espejo's station substrate, through the application of non-invasive geophysical methods (GPR - Ground Penetration Radar and Environmental Seismic Noises), geomechanical evaluation of the rock mass and geochemistry (natural stable isotopes of water). The integration of the results allowed recognizing a continuous process of water infiltration at the level of fresh and fractured rock at depths of up to 4 m., With potential geotechnical instability of the substrate due to loss of cohesion and resistance of the rock mass.*

**Key words:** Geophysical methods, rocky massifs, Venezuelan Andes, geotechnical st

## 1 Introducción

En la actualidad la aplicación de técnicas integradas en el campo de la geología de superficie, geoquímica de isótopos naturales de agua y del subsuelo, a través de métodos geofísicos no invasivos (GPR, tomografías eléctricas, ruidos sísmico ambiental) en la solución de problemas geotécnicos están adquiriendo mucha importancia (Nakamura 1989, Annan 1992, Nakamura 2000), debido a sus bajos costos y facilidad de traslado de los equipos, además de la versatilidad y fiabilidad de sus resultados, especialmente cuando estas técnicas se realizan de manera integrada en la solución de problemas geológicos-geotécnicos (Guerrero y col., 2018). Este procedimiento se aplicó para evaluar la fachada norte de la Estación Pico Espejo (sección K1-K4) y en general, para determinar las condiciones geológicas – geotécnicas (Hoeck y col 1974) del sustrato rocoso de la estación Pico Espejo (4765 msnm).

## 2. Metodología

### 2.1. Metodología para la exploración hidrogeomorfológica y geofísica

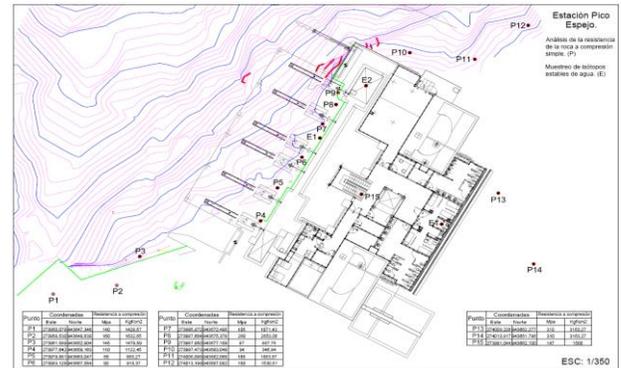
Se realizaron una serie de visitas geológicas de campo (meses de abril-junio 2016) a la localidad de estudio, que permitió hacer exploración tanto del subsuelo, como del macizo rocoso localizados bajo la estación y en las adyacencias. Aplicando métodos de geofísicos no invasivos que pudieran determinar hasta 16 m de profundidad las condiciones de sustrato rocoso y la presencia de niveles freáticos.

La adquisición de datos de ruido sísmico ambiental de campo, se obtuvo empleando un digitalizador portátil marca *Trimble REF TEK 130* junto con un sensor *Trimble REF TEK 151B*. Además se realizaron secciones de muestreo del subsuelo con georadar o GPR (*Ground penetrating Radar*), marca IDS con antenas de 80 y 200 MHz la cual se basa en las teorías del electromagnetismo de alta resolución para crear imágenes del subsuelo a poca profundidad. El georadar genera una imagen del subsuelo con alta resolución lateral y vertical que permite no solamente la identificación de objetos singulares, sino caracterizan el entorno (Nakamura, 1989; Annan, 1992; Nakamura, 2000; SESAME. 2004).

Para el estudio geomecánico de la roca expuesta (afloramientos) se procedió a realizar catorce (14) puntos de muestreo de golpes a través de un esclerómetro modelo PCE-HT 225A, para determinar compresión simple (Mpa). Mientras que la evaluación de geoquímica de isótopos naturales de agua fue realizada en el CIDIAT – ULA, con un equipo Thermo delta xl plus, bajo el protocolo de la Standard Working de Los Gatos Research (Payne 1979, Mook 2002). (Figura 1)

Los ensayos geofísicos consistieron en un total de trece (13) estaciones de ruido sísmico ambiental (Figura 2), con el fin de conocer el periodo fundamental del área y así poder

determinar el comportamiento dinámico del suelo en diversos puntos claves de las instalaciones de la estación Pico Espejo; para ello se realizaron mediciones con duración 15 min en cada punto de observación, tiempo suficiente que permite obtener señales con las que se pueda obtener información del subsuelo hasta 20 metros de profundidad con buena resolución.



**Figura 1.** Distribución de los sitios de afloramiento de rocas para ensayos geomecánicos (P) para determinar compresión simple (Mpa) y geoquímica de agua (E).

Mientras que, para los ensayos de GPR se adquirieron un total treinta y seis (36) perfiles dispuestos de manera longitudinal y transversal a las estructuras principales de la Estación Pico Espejo, como se muestra en las Figuras 3. Los perfiles de adquisición se dispusieron en varios niveles de la estructura, dentro y fuera de la estación Pico Espejo. Los perfiles se distinguen de acuerdo a su ubicación en el nivel que corresponde, así se tienen: 6 perfiles externos. Mediciones con antenas de 80 y 200 MHz; 4 perfiles sobre la estructura de la estación a nivel de planta baja (PB). Mediciones con antenas de 80 y 200 MHz.; 3 perfiles en la fosa de las poleas. Medición con antena de 200 MHz; 1 perfil en la base de la estación, hacia la parte frontal externa de la misma. Medición con antena de 200 MHz.



**Figura 2.** Ubicación de las estaciones de ruido sísmico adquiridas en torno a la estación Pico Espejo



Figura 3. Ubicación de perfiles de medición GPR para la estación Pico Espejo

### 3. Resultados

#### 3.1. Exploración geológica

La unidad geológica que comprende el macizo en donde se ubica la actual estación Pico Espejo, es continuo y se caracteriza por estar conformado por rocas del tipo esquisto y gneis cuarzo-feldespático-micáceo-granatíferos (Grauch 1975), intercalados por pequeñas inyecciones cuarzo, corresponde al Complejo Iglesias (Asociación Sierra Nevada, Peis).

Esta unidad es maciza, sin signos de haber sufrido esfuerzos tectónicos que conduzcan a la generación de grietas, fisuras y diaclasas. Esta aflora en todos los predios de la estación. El macizo es continuo y para comprobarlo se tomaron medidas de rumbo y buzamiento de los planos de foliación tanto de los esquistos como de los gneis, se obtienen planos de foliación de rumbo NE -SW y una inclinación 78° SE. La calidad de roca es muy buena (capacidad de carga > 3.5 kg/cm<sup>2</sup>). Los planos de foliación son favorables a la capacidad de carga que será ejercida por las fundaciones, ya que estos planos están inclinados 78°-80° S (Figura. 6), y no a favor de la pendiente que presenta el macizo en el flanco norte.

Los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia de roca a la compresión simple (Mpa) de catorce (14) sitios (Figura 4) de zonas de rocas de fundación de la estación como de afloramientos aledaños a estación de Pico Espejo.

Los resultados en base a la clasificación geomecánica de rocas (ISRM 1981, Bienawsky 1983), considerando la resistencia a compresión simple, se considera que las rocas se encuentran entre los rangos de calidad media a alta de 50 – 200 MPa. Sin embargo, se reconocen sitios de muestreo con valor de menor a 50 MPa, para rocas localizadas en la localidad denominada K1-K4.

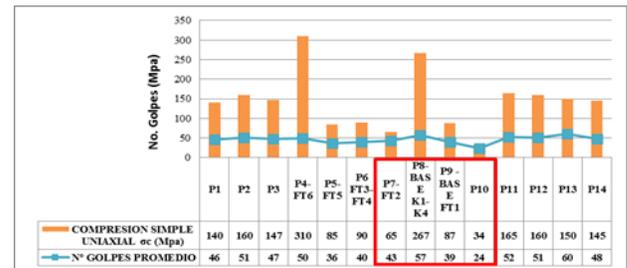


Figura 4. Ensayos de compresión simple aplicados a rocas gnéissica cuarzo-micácea y esquistos intercalados (Densidad 2900 Kg/m<sup>3</sup>). Zona de recuadro incluye sitios con valores bajos de resistencia que deben ser confinados para mejorar la geomecánica del sitio

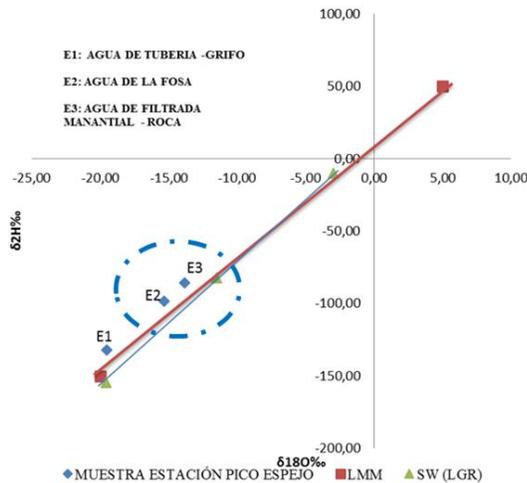
#### 3.2. Geoquímica de isotopos naturales del agua

Los resultados obtenidos del análisis de isotopos estables de agua para la determinación de la afinidad geoquímica del sitio de fuente – manantial (E3), localizado en la fachada Norte (FT3 – FT2), y las muestras de agua (Nieve) obtenidas del Foso (E2-Foso) y de sistema de aguas blancas de la estación (E1 - Grifo), esta última para descartar fugas de aguas por tuberías, se presentan a continuación;

Tabla 1. Resultados análisis de isotopos estables del agua

d <sup>2</sup> H‰ Valor reportable (por mil)	d <sup>2</sup> H‰ Desviación Estándar	d <sup>18</sup> O‰ Valor reportable (por mil)	d <sup>18</sup> O‰ Desviación Estándar
-98.57	0.78	-15.33	0.76
-132.23	1.50	-19.50	0.40
-85.93	1.16	-13.86	0.11

Los resultados demuestran que existe un afinidad química alta entre el agua proveniente del Foso (Nieve) con la obtenida en la fachada norte de la estación Pico Espejo (Figura 5), por tal motivo, se recomienda realizar un diseño de drenaje externo que permita disminuir las filtraciones de agua a niveles subsuperficiales de la estación, la cual puede producir alteraciones (meteorización química) especialmente en la mineralogía de los esquistos, los cuales contienen altos porcentajes de micas biotitas las cuales son muy susceptibles de alterarse en presencia de agua.



**Figura 5.** Distribución geoquímica del análisis isotópico de agua de la estación Pico Espejo, se reconoce la afinidad química alta entre las muestras de agua de Foso (nieve) con el manantial de la fachada Norte.

El propósito de drenaje interno y externo involucra acelerar el tránsito de agua meteórica y de la acumulación de nieve a la que está expuesta esta estación durante todo el año, especialmente en sus zonas externas aledañas, diseñando un sistema de ductos que permitan alejar el agua de las zonas cercanas a la estación. Igualmente se prevé realizar un drenaje entre la zona de foso entre K1-K4 y K5-K8 hacia la zona de fachada norte realizando una impermeabilización del tope de piso, para disminuir la porosidad del mismo.

### 3.3. Ruido sísmico ambiental

El análisis de las curvas H/V de la mayoría de las gráficas de ruido sísmico, se observan entre 4 y 5 picos, los cuales representan contrastes de impedancia bien marcados de los límites de las distintas capas alcanzadas en profundidad, que de tope a base se estima: bases de concreto de la nueva estación, base de concreto antigua estructura (Nivel 0), roca fracturada con y sin presencia de agua y roca sana.

En los resultados de K1-K4-Torre, K1-K4-Fosa, FT1, FT5 y K5-K8-Fosa se denota un pico (denominado 0 en las gráficas) alrededor de los 0,03 seg que no es propio del medio, tratándose de ruido electrónico que generó distorsión en la señal. A partir del pico 1 se aprecian periodos correspondientes a las características del sitio con valores entre 0,04 y 0,13 seg, correspondientes a la base del concreto reciente y antiguo (Nivel 0), a la roca fracturada con y sin humedad, mientras que los valores mayores o iguales a 0,13seg, corresponde al límite con un material menos fracturado y más homogéneo referido a la roca más fresca, ya que a partir de dichos valores de periodo, los picos se atenúan y/o decrece notablemente su amplitud en cuanto a la relación H/V (Tabla 2.)



**Figura 6.** Se muestra la zona de fuente y manantiales de agua subterránea, planos de foliación dominantes y zonas de roca fracturada Las cuales afecta las fundaciones de la estación especialmente K1-K4. Fuente: Fotografía Meridaadventure, 2019.

Al evaluar los resultados desde la estación denominada K1-K4-Este (NE, Fig. 6), observamos claramente como a medida que nos alejamos de la zona K1-K4, en dirección a K5-K8 y la torre de carga, el material deja de presentar varias interfaces de contraste (considerando los distintos picos y fluctuaciones en la relación espectral H/V), lo cual determina bastante heterogeneidad en los primeros metros del suelo en K1-K4, hasta la estación denominada Torre-Carga (SO, Vagón de carga-deposito) donde la respuesta espectral sugiere un material menos fracturado y más homogéneo.

Es importante recalcar que justamente en las curvas H/V que se encuentran en la zona de K1-K4 (FT1, Sótano NE de la estación y Borde Este de la misma) la presencia de múltiples picos sugieren que hay presencia de alta heterogeneidad del material, lo que puede tratarse de roca fracturada e incluso con presencia de agua infiltrada, material sobre el cual se emplaza la estructura de la estación Pico Espejo. El límite roca fracturada-concreto para los FT aparecen a los 4 m., a partir de nivel tope (0m), mientras que para las fundaciones K1-K4 y K5-K8, donde los registro de ruido fueron obtenidos a nivel de piso de la estación la profundidad es de  $\pm 9$  m. que involucra 4 m de concreto nuevo y 5 m de concreto viejo más roca fracturada.

**Tabla 2.** Ruido sísmico ambiental – Fachada Norte de la estación Pico Espejo

Código	Periodos (seg)						
	P0- ruido eléctrico	P1	P2	P3	P4	P5	P6
FT1	0.03	0.04	0.063	0.085	0.12	0.155	0.23
FT2		0.053	0.08	0.105			
FT3		0.053	0.07	0.085	0.11	0.19	
FT4		0.05	0.07/ 0.09	0.11	0.19		
FT5	0.033	0.04	0.075	0.11	0.19		
FT6		0.045	0.06/ 0.07	0.105	0.155/ 0.19	0.23	
K1-K4- Este		0.045	0.07	0.096	0.125	0.19	
K1-K4- Torre	0.0033	0.04	0.12	0.165	0.22		
K1-K4- Fosa	0.035	0.05	0.088	0.125	0.17		
K1-K4- Sotano		0.045	0.069	0.09	0.125	0.185	
K5-K8- Fosa	0.035	0.042	0.07	0.1	0.12	0.15/0.1 8	
K5-K8- Torre		0.05	0.1	0.13	0.17	0.216	
Torre- Carga		0.06	0.08	0.13			
0.04 -0.13 seg: Niveles de concreto reciente –antiguo (Nivel 0) y roca fracturada con o sin agua							
>0.13 seg: Limite roca fractura - roca fresca							

### 3.4. Resultados de georadar electromagnético (GPR)

Los resultados obtenidos de las corridas realizadas con GPR según la distribución expuesta en la Fig. 7, solo para las secciones de las fachadas norte y este de la estación Pico Espejo, se presentan relacionadas de la siguiente manera: La sección del lado este de la estación Pico espejo corresponde con 7.63 m de sección de subsuelo con un ancho de banda de 7 m promedio, donde se puede reconocer tres niveles de materiales: a) El superior corresponde con losa y nivel de concreto nuevo; b) Nivel intermedio de concreto viejo mezclado con roca fracturada y, c) Nivel bajo de roca fresca con o sin agua infiltrada.

El nivel de contacto entre el concreto (nivel intermedio) y roca sana (nivel bajo) se localiza en el perfil frontal (LAI200), a  $\pm$  9m de profundidad con respecto al nivel de piso, mientras que para los restantes perfiles podemos reconocer el contacto concreto (nivel intermedio) con la roca fresca a 3.90 a 4.30 m de profundidad con respecto a nivel de suelo.

El perfil LAI200 presenta nivel freático profundo hasta 15.30 m, lo cual debe ser drenado, y se reconoce nivel de roca de buena calidad en el perfil LAS200 (a unos 5.40 m con respecto del perfil LAI200). Se reconocen foliaciones subverticales en las rocas.

Las sección de sótano y fosos, la cual es transversal a la fachada Norte, está compuesta por los perfiles TF1200 (Foso K1-K4), TF3200 (Foso K5-K8) y LOS 200 (Sótano), tiene una distancia horizontal de 8.67 m, entre sótano y área de foso. Se reconoce nivel de concreto a roca a 4.10 m promedio. Mientras que en superficie existe un alto contenido de humedad en el nivel de concreto nuevo y viejo. Además se reconoce fracturamiento de rocas por diaclasamientos en concreto viejo y roca en el subsuelo de fosos, se reconoce contacto variable de concreto – roca entre 6.70 m y 5.30 m de profundidad con respecto a nivel del suelo de sótano.

### 3.5. Integración de los resultados de ruido y GPR

La integración de los datos de ruido y GPR se realiza considerando la hipótesis de que los picos de período reflejan cambios de impedancia de los materiales en profundidad y la presencia de dichos picos depende de la heterogeneidad del medio. Los registros GPR permiten observar los cambios verticales y laterales de las capas en profundidad y estos cambios se correlacionan con la respuesta en los registros de ruido.

Las sección de sótano y fosos, la cual es transversal a la fachada Norte, está compuesta por los perfiles TF1200 (Foso K1-K4), TF3200 (Foso K5-K8) y LOS 200 (Sótano), tiene una distancia horizontal de 8.67 m, entre sótano y área de foso. Se reconoce nivel de concreto a roca a 4.10 m promedio.

Mientras que en superficie existe un alto contenido de humedad en el nivel de concreto nuevo y viejo. Además se reconoce fracturamiento de rocas por diaclasamientos en concreto viejo y roca en el subsuelo de fosos, se reconoce contacto variable de concreto – roca entre 6.70 m y 5.30 m de profundidad con respecto a nivel del suelo de sótano.

En la Figura 8, se muestra la correlación de la estación de ruido ambiental K1-K4-Este, con el registro GPR obtenido con la antena de 200 MHz sobre el perfil LCS200, ubicados hacia el extremo norte de la estación de Pico Espejo.

Esta variación vertical lleva asociado un cambio en el período representado en el espectro con un pico a 0,04 s.

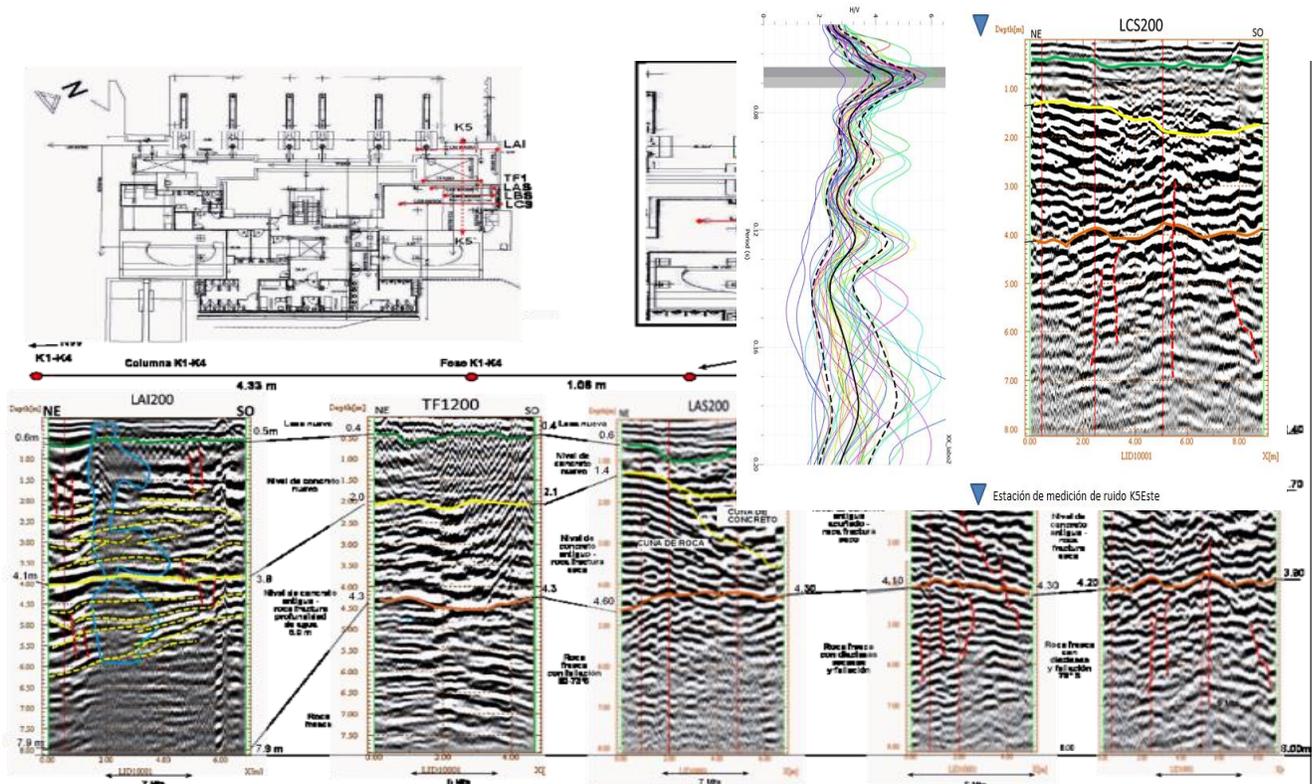
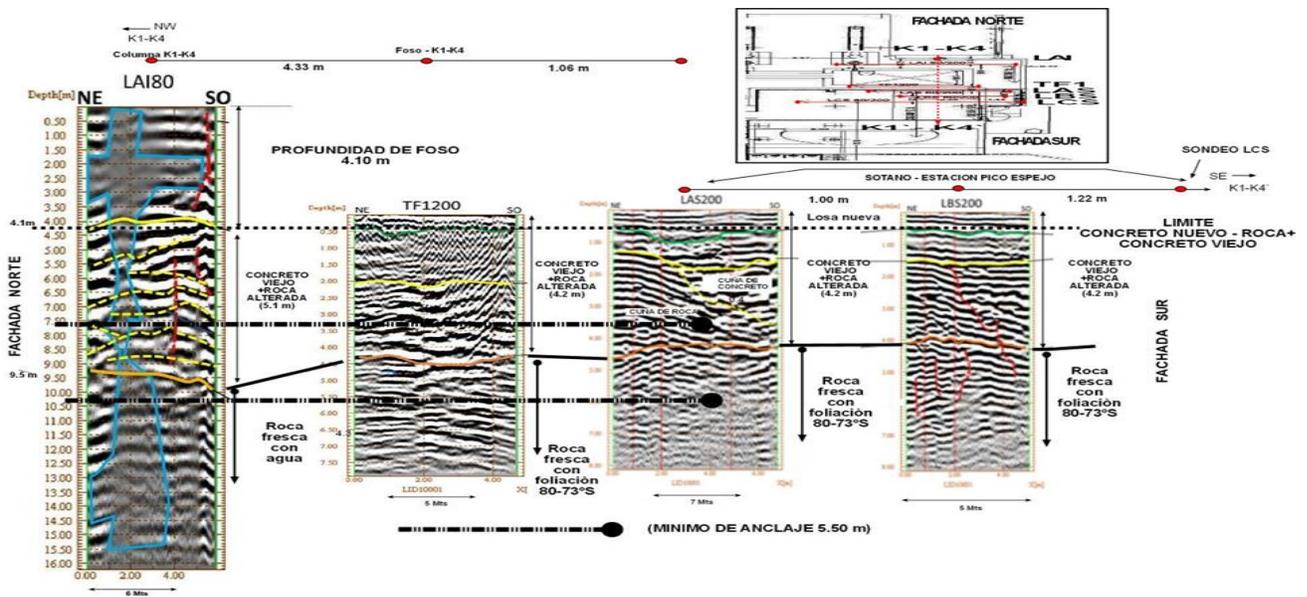


Figura 7. Relación de perfiles de GPR para las secciones longitudinales de lado Este de la estación Pico Espejo, donde se reconoce las zonas de K1-K4, foso, y sótanos.

Figura 8. Correlación de estación de ruido K1-K4 con registro GPR adquirido sobre el perfil LCS (Nivel sótano de columna K1-K4), se reconoce roca fresca a 4.00 m.

En el registro LCS200, se identifican unas primeras secuencias de reflectores hasta 1,5 m que fueron asociadas a la losa de concreto de la estructura de la estación. Para la estación de ruido, ubicada contigua al perfil GPR, muestra un primer pico de período (alrededor de 0,04 s) como respuesta a un material poco consolidado, posiblemente relleno, debido a las características observadas en el sitio de medición y la alta amplitud del espectro H/V (Nakamura 1989; 2000; SESAME 2004), respuesta que no puede asociarse al concreto de la estación sino al material fuera de ella. El material que se encuentra entre 1,5 y 4 m de profundidad, bajo el registro LCS200, se correlaciona con la respuesta de amplitudes variables en el espectro de ruido sísmico, que sugiere la presencia de un material heterogéneo, entre 0,07 y 0,12 s. En la Fig. 8, se observa una buena correlación entre los resultados de la técnica de ruido sísmico ambiental y GPR. La presencia de tres picos importantes en el espectro de ruido ambiental indica cambios considerables en el comportamiento de los materiales en el subsuelo, que se correlacionan con la interpretación del radargrama. La capa de reflectores más somera (primeros 0,50 m de profundidad) sobreyace una capa de material de propiedades diferentes.



La correlación es directa, ya que, la medición de ruido se realizó sobre el perfil de GPR, específicamente en el extremo NE del perfil TF1200 (Fig. 9). Tenemos entonces: Hasta 0,50 m de profundidad, la base de la losa de concreto (línea verde en el radargrama) determina un contraste vertical que se identifica con el primer pico de período, alrededor de 0,05 s. La capa subyacente, entre 0,5 y 2 m de profundidad, marca un fuerte contraste hacia la base, que se correlaciona con el pico de período de 0,09 s. La capa entre 2 y 4,5 m de profundidad, identificada en el radargrama, muestra heterogeneidad tanto en la respuesta del GPR como la respuesta espectral del período, que presenta leve sinusoidad entre los picos de mayor amplitud. A partir de 4,5 m de profundidad en TF1200, se identifica un material homogéneo que no presenta fluctuaciones considerables en la curva espectral de ruido, por lo que se correlaciona con la respuesta de la roca no intervenida en profundidad.

En los perfiles de correlación externos a la estación Pico espejo (Figura 9), se interpretaron dos variaciones importantes en profundidad que representan en la mayoría de los casos, cambios entre una capa fina superior y una roca relativamente intervenida. Se encontró la roca fresca a una profundidad promedio de 3 m. En todos estos perfiles se observó una alta presencia de agua o humedad, en algunos casos hasta 7 m que impidieron la penetración de la señal electromagnética. Mientras que, los datos de Ruido sísmico ambiental arrojan como principal resultado la presencia de 3 cambios de impedancia importantes en la zona noroeste de la estación. La presencia o amplitud de dichos picos van disminuyendo en dirección NE - SE, lo que indica un substrato más homogéneo hacia la fachada sur de la estación pico Espejo.

**Figura 9.** Sección transversal a fachada Norte. Se estima presencia de roca sana a 5.30m desde la zona de fachada Norte y profundidad de roca sana a profundidad de 9.50 m y más somera en el interior de la estación (4.2 m).

#### 4. Conclusiones

La aplicación de los métodos geofísicos no invasivos GPR y Ruido sísmico ambiental integrados con las técnicas de valoración geológica de los macizos rocosos y geoquímicas de isótopos naturales de agua, permiten obtener valiosos resultados para la solución de problemas de estabilidad geotécnica, además que son más económicos que los procedimientos tradicionales. La aplicación de estos métodos en altitudes mayores de 4000 msnm, no afectan los resultados por condición ambiental y permiten obtener resultados confiables, a partir de estos resultados se pudo obtener un diseño de anclajes de al menos 5.30 m de profundidad para alcanzar roca sana y con ángulo de perforación perpendicular al ángulo de foliación dominantes (78° S) en la fachada norte, esta condición de diseño permite un confinamiento efectivo del material alterado con la roca sana.

#### Referencias

Annan A, 1992, Ground Penetrating Radar Workshop Notes. Manual de Sensor & Software Inc. Mississauga, en: Grauch R, 1975, Geología de la Sierra Nevada al sur de Mucuchíes, andes venezolanos: Una Región Metamórfica de Aluminosilicatos. *Bol. Geol.*, Caracas, 12(23). pp. 339-441.  
 Guerrero O, Toro R, Sánchez E, Guerrero-Camargo O, 2018, Aplicación de métodos geofísicos y geoquímicos en la solución de problemas hidrogeomorfológicos y geotécnicos de los taludes: Caso Monte Bello. *Av. Los Próceres, Mérida – Venezuela. Geominas* 58 (2). 22-31 pp.

Hoeck E, Bray R, 1974, Rock slope engineering. Institution of mining and metallurgy. London.

Mook W, 2002, Isotopos estables en el ciclo hidrológico. Madrid, España. 176 p.

Nakamura Y, 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, QR of RTRI 30, no. 1, February, pp. 25-33.

Nakamura Y, 2000, Clear Identification Of Fundamental Idea Of Nakamura's Technique And Its Applications. Procc. 12WCEE. New Zeland. pp. 23-87.

Payne B, 1979, Hidrología a base de isótopos ambientales. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Obtenido de: [http://www.iaea.org/publications/Magazine/Bulletin/Bull153/spanish/15305904248\\_es.pdf](http://www.iaea.org/publications/Magazine/Bulletin/Bull153/spanish/15305904248_es.pdf).

Santamarina J, 2001, Soils and Waves. Editorial: John Wiley & Sons, LTD. pp. 301-430.

SESAME 2004, Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations, Research Report WP12, disponible en línea en: <http://sesame-fp5.obs.ujfgrenoble.fr/index.htm>

**Jesús M. Ávila G.** Ingeniero Geofísico graduado en la Universidad Simón Bolívar con una maestría en Geofísica en Prospección (UCV). Correo electrónico: [javila@igeofisica.unam.mx](mailto:javila@igeofisica.unam.mx)

**Cerrada, Milgreya.** Profesora Asociada de la Facultad de Ciencias. Departamento de Geofísica, ULA, especialista en interpretación geofísica, estudios de maestría y doctorado ULA (2010; 2017). Correo electrónico: [milgreya@gmail.com](mailto:milgreya@gmail.com)

**Guerrero – Camargo, Omar A.** Ingeniero civil egresado ULA (2017). Director del Departamento de Ingeniería de la empresa Habit, SA. San Luis Potosi, México. Especialista en geotécnica y desarrollos urbanos. Correo electrónico: [omar.guerrero@habi.com.mx](mailto:omar.guerrero@habi.com.mx)

**Recibido:** 15 de febrero de 2020

**Aceptado:** 05 de junio de 2020

**Guerrero, Omar.** Profesor titular de la Escuela de Ingeniería Geológica, ULA. Estudios de hidrogeomorfología, geología ambiental y riesgos geológicos. Estudios de maestría y doctorado en la UCV (1994) y USAL (2009).

**Viscarret, Patxo.** Profesor titular de la Escuela de Ingeniería Geológica, ULA. Especialista en petrología ígnea y metamórfica, estudios de maestría y doctorado en la UCV (1990; 2010). Correo electrónico: [patxiviscarret@yahoo.com](mailto:patxiviscarret@yahoo.com)

**Yegres, Luis.** Miembro del equipo de geofísica de FUNVISIS – Caracas. Especialista en instrumentación de equipos geofísicos. Estudios de maestría en la USB (2011). Correo electrónico: [yegresla@gmail.com](mailto:yegresla@gmail.com)

**Jelime Cecilia Aray Castellano.** Licenciada en Física. MSc. en Ciencias Geológicas (UCV). Departamento de Geofísica, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). Correo electrónico: [jelimearay@gmail.com](mailto:jelimearay@gmail.com)