

INVESTIGACIÓN PREVIA DE UN DESLIZAMIENTO APLICANDO LA SÍSMICA PASIVA HVSR EN GUARUMALES, AZUAY. ECUADOR

Olegario Alonso-Pandavenes ⁽¹⁾ y Francisco Javier Torrijo Echarri ⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad Central del Ecuador - FIGEMPA. Rumipamba e2-30, bajo. Quito, Ecuador.
omalonso@uce.edu.ec

⁽²⁾ Centro de Investigación en Arquitectura, Patrimonio y Gestión para el Desarrollo Sostenible (PEGASO), Departamento Ingeniería del Terreno, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia

RESUMEN

En el acceso a las instalaciones de la C.H. Sopladora (Guarumales, Ecuador) se produjo un deslizamiento donde se han aplicado ensayos de tipo geofísico, combinando técnicas eléctricas y sísmicas: perfiles sísmicos (refracción y MASW), SEV y estaciones de sísmica pasiva (HVSR).

La geología en la zona presenta esquistos en el substrato sobre el que existe desarrollado un coluvión formado por una matriz arcillosa y material grueso del substrato. Los resultados obtenidos en los SEV han permitido determinar la separación de los materiales movilizados frente a los inmóviles (superficie de ruptura) y detectar el nivel freático de la zona.

La técnica HVSR ha determinado las frecuencias de vibración natural asociadas al material deslizado (cambio de impedancias). Estableciendo una correlación potencial entre espesor de sedimentos (SEV) y las frecuencias naturales de forma empírica, se ha determinado en la zona el espesor de sedimentos (en movimiento) e identificado la potencial superficie de ruptura.

1. INTRODUCCIÓN

El acceso a la casa de máquinas de la central Hidroeléctrica de La Sopladora (Guarumales, provincia de Azuay, Ecuador), perteneciente a la Empresa Pública CELEC, demarcación SUR, presenta un movimiento de tierras que ha afectado temporalmente a la circulación de vehículos y personal en dicha zona. La situación de la zona de estudio (Figura 1) se encuentra cerca de la población de Amaluza, en una ladera que termina en el río Paute (coordenadas del punto central de la zona UTM datum WGS-84 huso 17M, 784104 E – 9711897 N)

Este suceso se ha venido mitigando con construcciones de muros de tipo tierra armada y eliminación del material excedente que ha sido movilizado o arrastrado hacia las áreas de paso. También se han ejecutado captaciones del agua superficial (escorrentía) y subsuperficial con instalación de cunetas abiertas recubiertas de material geotextil.

El objetivo de esta investigación ha sido el estudio previo de este deslizamiento con el fin de proponer métodos de remediación o mitigación en este fenómeno de remoción en masa. Para ello se ha diseñado una campaña de investigación geofísica que ha sido aplicada en los espacios de la vía de acceso, debido a que la pendiente de la zona es muy fuerte y con material poco compacto

y propenso a sufrir deslizamientos puntuales y caída de material suelto.



Figura 1. Situación de la zona de estudio. (Modificado de Bing Maps y Google Earth, 2022)

Los métodos propuestos han sido el eléctrico y el sísmico, mediante las técnicas de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) en el primer caso y la sísmica pasiva HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) para el segundo. La combinación de los mismos, siguiendo un procedimiento ya probado por los autores en otros puntos del país (Alonso-Pandavenes *et al.* 2022), consiste en establecer una relación empírica entre la frecuencia natural del terreno y los espesores de los materiales superficiales (sedimentos deslizantes) que se encuentran sobre materiales compactos (substrato rocoso). El resultado obtenido se relacionará con la posición de la zona de deslizamiento (zona de falla o línea de ruptura del talud).

2. ANTECEDENTES

La aplicación de técnicas geofísicas en la investigación de taludes dispone de una bibliografía amplia. Tradicionalmente se han empelado los métodos sísmicos, como la técnica de la refracción, y los eléctricos, como la tomografía eléctrica, para establecer, a partir de los parámetros de velocidad de la onda sísmica y los cambios de resistividad, la separación entre material en movimiento (deslizante) y el substrato fijo. Mediante estas técnicas es potencialmente posible identificar y definir la superficie de rotura de dicho deslizamiento, dependiendo de las condiciones del talud, los materiales que lo componen y el contraste en el parámetro analizado (León Gómez *et al.*, 2014).

La sísmica pasiva HVSR ha sido empleada por Nakamura (1989) como una técnica ampliamente reconocida para la identificación de la frecuencia natural del terreno (f_0) y también de un potencial valor de amplificación de la sollicitación dinámica del terreno a partir del parámetro A_0 (Nakamura, 2000). El modelo de dos capas establecido en estos estudios (relacionado con la presencia de cambios de impedancia sísmica) ha permitido a autores como Ibs-von Seth y Wohlenberg (1999) el establecimiento de correlaciones empíricas entre el espesor de un recubrimiento de materiales sedimentarios poco compactos sobre un substrato competente a partir

de la relación potencial:

$$Z = a \cdot f o^{-b} \quad (1)$$

Donde Z es la profundidad a la que se encuentra el substrato rocoso (o el espesor de sedimentos sobre el mismo), $f o$ sería el valor de la frecuencia fundamental del terreno y los parámetros “ a ” y “ b ” serían factores a definir de forma experimental, los cuales están relacionados con la naturaleza de los materiales y la zona de investigación (Delgado *et al.* 2000b).

Para la definición de esta relación, en varios estudios se han hecho correlaciones entre perforaciones (sondeos) y medidas de la técnica HVSR (Parolai *et al.* 2002, Hinzen *et al.* 2004, Khan and Khan, 2016). La correlación entre medidas HVSR y los espesores definidos mediante ensayos tipo SEV han sido abordados en pocas investigaciones hasta el momento (como en Bouchelouh *et al.* (2018), ya que la mayoría de estudios se basan en la investigación mediante sondeos mecánicos. La técnica de los SEV está ampliamente extendida y reconocida como una herramienta fundamental en el establecimiento de secuencias estratigráficas, estudios hidrogeológicos e incluso en obra civil. A partir del establecimiento de un campo eléctrico en el terreno se mide la caída de potencial que relacionaría la resistencia eléctrica del terreno (resistividad) con su naturaleza (León Gómez *et al.*, 2014).

En esta investigación se pretende emplear dichos ensayos para la definición de materiales potencialmente saturados o identificar la presencia de agua en la zona del deslizamiento, así como para la separación de materiales sueltos (potencialmente deslizantes) y materiales del substrato rocoso (materiales fijos). Con respecto al deslizamiento objeto de estudio no se han realizado investigaciones previas en la zona. La empresa pública CELEC E.P. ha abordado el evento desde la perspectiva de la mitigación del suceso enfocado a la mejora en el uso del acceso y construyendo muros de tierra armada para el mantenimiento de la calzada con la eliminación de parte de los materiales deslizados. Estas investigaciones realizadas serán la base para la toma de decisiones en futuras actuaciones en materia de investigación (mediante sondeos) y auscultación del evento (inclinometría).

3. CONDICIONES GEOLÓGICAS GENERALES

La geología local de la zona está caracterizada por la existencia de un basamento con presencia de sedimentos metamórficos compuestos por: metandesitas, esquistos verdes y tobas y esquistos sericíticos pertenecientes a la Formación Alao-Paute (definida por Litherland en 1988), que se extiende en una franja con dirección Norte-Sur muy amplia y una anchura de unos 30 km de media. Estos materiales se presentan en superficie en diversos grados de alteración (IIGE, 2008).

En todo el entorno de trabajo se ha observado el desarrollado de eluviones, por alteración de los esquistos, que pueden presentar potencias importantes (han sido observados hasta más de 10 m en algunas zonas), así como la presencia de coluviones por sedimentación gravitacional de espesor variado sobre esos materiales alterados. En ambos casos los materiales que predominan en la matriz son de tipo arcillo-limoso y contienen materiales gruesos (cantos y gravas) y algún bloque de mediano a gran tamaño (diámetros mayores a 1.0 m).

Geomorfológicamente nos encontramos ubicados en una ladera de inclinación general 35° a 45° hacia el Sureste la cual termina en la cuenca del río Paute. Esta ladera ha sido cortada en tres posiciones diferentes para realizar la caja de la vía de acceso ahora en peligro de deslizamiento. (ver Figura 1)

4. CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA

La campaña de investigación geofísica ha consistido en la ejecución de cinco ensayos de tipo

SEV distribuidos como se observa en la Figura 2 (triángulos amarillos), con ubicación de tres de ellos en la zona central y los otros dos en los extremos del deslizamiento observado en campo. En la misma posición del punto de aplicación de estos ensayos geoelectricos han sido ejecutados otros tantos ensayos de tipo HVSR, para su correlación y parametrización (círculos rojos).



Figura 2. Situación de los ensayos SEV y HVSR en la zona de trabajo (Modificado de Bing Maps, 2022)

En el resto de la zona se han distribuido un total de diecisiete puntos de estación única para la técnica HSR, situándose cuatro puntos hacia la cabeza del talud y cinco puntos en su base. Los ocho restantes se ubicaron en la zona central de la zona que abarca el deslizamiento.

5. METODOLOGÍA

La metodología a emplear en los ensayos SEV es conocida ampliamente y consiste en generar campos eléctricos cada vez más amplios para desarrollar una investigación en profundidad de manera continua, midiendo la caída de potencial de dichos campos. La inversión matemática de la curva de datos de campo ofrece la distribución de las resistividades y sus espesores asociados en un modelo de interpretación geofísico acorde con las observaciones de campo y de la zona (León Gómez *et al.*, 2014).

Por su parte, la técnica de HVSR consiste en medir la vibración natural del terreno mediante tres geófonos que se orientan en las tres direcciones del espacio (Norte-Sur, Este-Oeste y vertical). Las grabaciones, de tiempo no inferior a 20 minutos (según criterio SESAME, 2014), se analizan en el dominio de la frecuencia componiendo las dos orientaciones horizontales de forma geométrica y realizando el cociente espectral H/V con relación a la componente vertical.

Una vez tomados los datos de campo, en los puntos y estaciones previstas, se ha procedido a su procesado e interpretación estableciendo los modelos geofísicos de las columnas estratigráficas para los SEV y el valor de la frecuencia natural del terreno en los ensayos HVSR (f_0).

En los ensayos SEV ha sido determinado el contacto de los materiales superficiales con el substrato rocoso (a partir del cambio de la resistividad con presencia de valores elevados con respecto a los obtenidos en superficie). Consecuentemente, en las medidas del ensayo HVSR para control o correlación se ha establecido el valor de la f_0 para cada punto de investigación SEV. Con ello ha podido ser definida, de manera empírica, la relación propuesta en la Ecuación (1).

Una vez determinada la fórmula de la Ecuación (1), y a partir de los valores de frecuencia natural obtenida en el resto de las estaciones HVSR, se ha calculado el espesor de los materiales poco compactos, es decir, la posición del sustrato competente en profundidad e identificando la separación, de este modo, con la zona de deslizamiento del talud.

6. RESULTADOS

La interpretación de los ensayos SEV ha aportado una distribución de materiales que se ha resumido en la Figura 3. En los modelos obtenidos se observa la presencia de un nivel de baja resistividad (del orden de los 100 Ohm.m) sobre materiales que presentan un cierto grado de alteración (ejemplo: SEV-4) o sobre el terreno sin alterar (ejemplo: SEV-2), delimitados en la Figura 3 por un recuadro rojo. Por encima de este nivel de baja resistividad, relacionado con la presencia de arcillas y limos arcillosos de alteración y elevada humedad (o posible saturación, indicado con un recuadro azul en la Figura 3), se encuentran materiales de tipo coluvión (valores de resistividad intermedios).

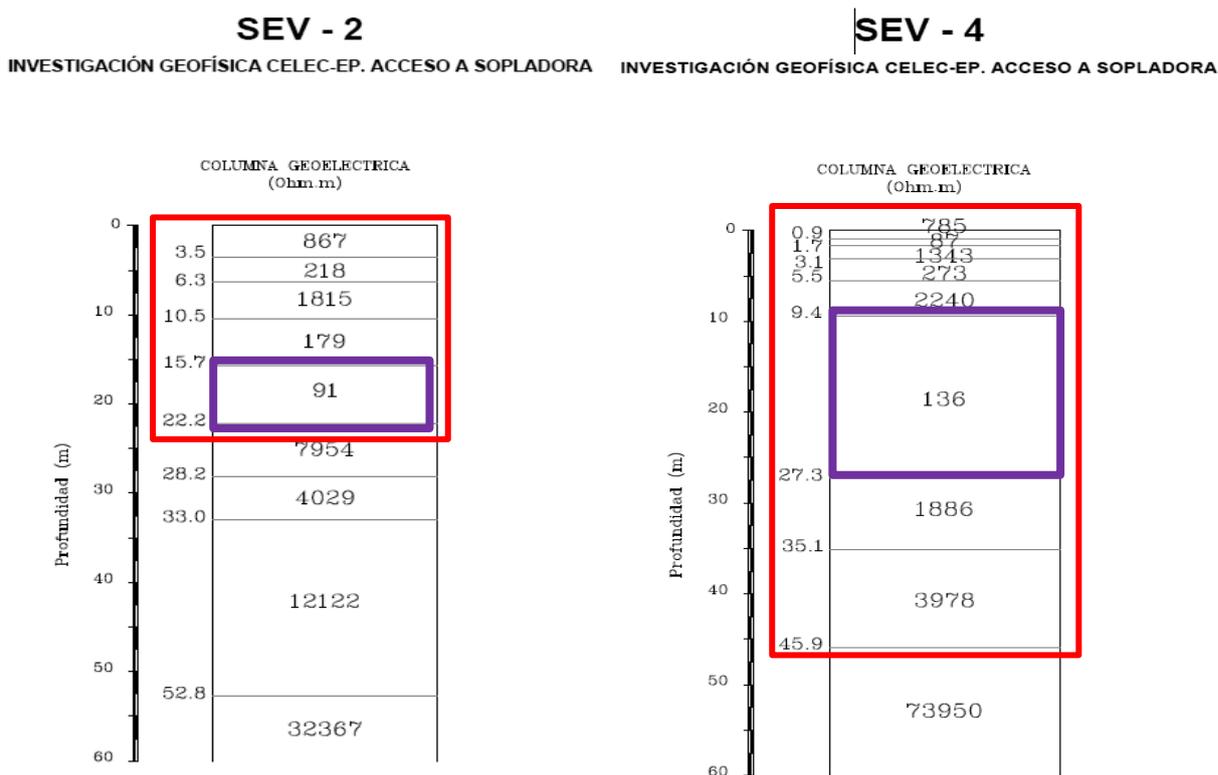


Figura 3. Ejemplo de los resultados obtenidos en la interpretación de los ensayos SEV en los puntos SEV-2 y SEV-4. En el recuadro en azul se indican los niveles con humedad o saturación encontrados en la interpretación y mediante un recuadro rojo se indica el espesor de los sedimentos sobre el substrato rocoso (valores de resistividad expresados en Ohm.m y en metros para profundidades).

Los valores elevados de resistividad (> 7000 Ohm.m) se correlacionarían con el substrato rocoso sin alterar (material fijo o estable), por lo que se puede proceder a la separación de los espesores de sedimento superficial, de menor resistividad eléctrica, los cuales coinciden con la posible

presencia de agua (o humedad elevada) y/o materiales arcillosos (coluviones y alteración de los esquistos). Por lo tanto, se podría establecer una correlación entre la posición de la superficie de rotura del deslizamiento y estos valores obtenidos de espesor de sedimentos en la interpretación de los ensayos SEV.

HVSR	f_o	A_o
S1	3,21	2,37
S2	2,23	2,05
S3	0,84	4,70
S4	0,34	3,42
S5	0,26	3,91
6	0,47	4,07
7	3,66	2,28
8	0,36	3,71
9	0,51	6,49
10	1,47	3,01
11	4,64	1,70
12	0,38	2,96
13	0,56	3,18
14	0,73	3,67
15	26,07	3,25
16	0,74	2,99
17	4,81	2,02
18	0,91	2,85
19	0,34	3,85
20	0,21	3,82
21	25,30	2,38
22	0,49	3,55

Tabla 1. Resultados obtenidos en la interpretación de los ensayos HVSR (f_o Hertzios, A_o adimensional).

Los resultados obtenidos en los ensayos de la técnica HVSR son los que se muestran en la Tabla 1. Los cinco primeros valores, indicados con una *S* como prefijo de la numeración, se corresponderían con los ensayos paramétricos (realizados en la misma posición del ensayo SEV) a emplear en el establecimiento posterior de la relación empírica. El valor de A_o es adimensional ya que representa al cociente espectral H/V de las componentes horizontales frente a la vertical.

La correlación establecida entre los espesores de los sedimentos superficiales, obtenida a partir de los cinco ensayos SEV y los valores de la frecuencia natural f_o analizada para los ensayos HVSR, relacionados con los SEV son los que se muestran en la Tabla 2.

SEV	PROFUNDIDAD (m)	HVSR	f_o (Hz)
1	21,9	S1	3,21
2	22,2	S2	2,23
3	21,9	S3	0,84
4	45,9	S4	0,34
5	48,1	S5	0,26

Tabla 2. Correlación empírica entre ensayos SEV (profundidades) y HVSR (frecuencias)

A partir de los datos de correlación mostrados en la Tabla 2 se procede a realizar la representación gráfica de los mismos y a ajustar una curva de tipo exponencial que responda a la propuesta en la Ecuación 1 (Figura 4).

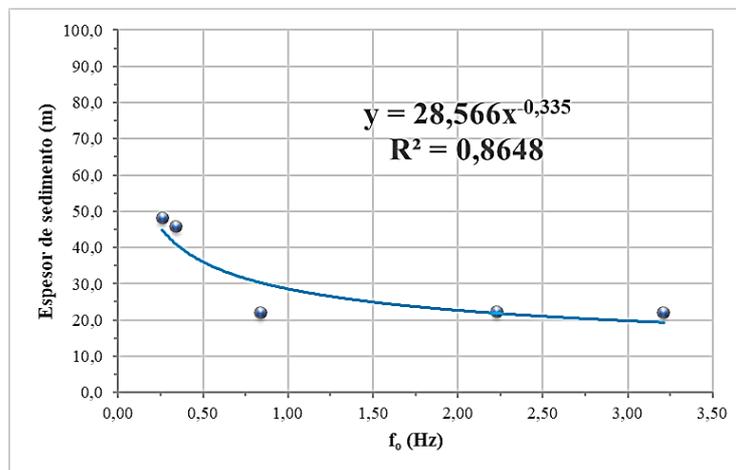


Figura 4. Correlación empírica entre ensayos SEV (espesor de sedimentos) y HVSR (frecuencias)

Con lo que la Ecuación (1) quedaría establecida según los siguientes valores:

$$H = 28.566 f_0^{-0.335} \quad (2)$$

Donde el valor del espesor de sedimentos H (en metros) se puede calcular para cada punto de estación de ensayo HVSR en función del valor obtenido de la frecuencia fundamental (f_0 , en hertzios). El valor del error de ajuste, R^2 , que ha sido obtenido, ha sido de 0.86, lo cual indica una buena relación entre los datos de referencia referenciados, lo que permite establecer en un error de apreciación de un 14% para cada punto de estación HVSR medido.

A partir de la obtención de la relación definida en la Ecuación 2 se procede a calcular los valores para cada punto de estación medido. En la Tabla 3 se presentan los resultados de dichos cálculos, incorporando también los valores de los ensayos paramétricos (puntos S1 a S5) que fueron ejecutados en los puntos de ensayos SEV.

HVSR	f_0 (Hz)	ESPESOR (m)
S1	3,21	18,26
S2	2,23	21,53
S3	0,47	33,47
S4	3,66	50,37
S5	0,36	56,87
6	0,51	43,51
7	1,47	17,21
8	4,64	49,09
9	0,38	41,94
10	0,56	25,99
11	0,73	15,46
12	26,07	47,90
13	0,74	40,20
14	4,81	35,66
15	0,91	7,08
16	0,34	35,44
17	0,21	15,21
18	25,30	32,28
19	0,49	50,37
20	0,47	62,63
21	3,66	7,18
22	0,36	42,70

Tabla 3. Resultados obtenidos de espesor de sedimentos para todos los puntos de ensayo HVSR.

Estos valores se han representado sobre la planta de la Figura 2 para proceder a su análisis y discusión de resultados.

7. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

La aplicación de la metodología presentada, empleando ensayos SEV para establecer los espesores de material deslizante y calcular los valores de los parámetros a y b , planteados en la relación de la Ecuación 1, tiene pocas referencias publicadas con respecto a este tipo de investigación. Solamente Bouchelouh *et al.* (2018) emplean dicha correlación entre investigación de espesor de sedimentos y ensayos de tipo SEV, mientras que otros autores, por ejemplo, Khalili y Mirzakerdeh (2019) emplean correlaciones de ensayos de tomografía eléctrica, pero empleando también resultados de sondeos mecánicos. En ambos casos se concluye que la aplicación de las técnicas del método geoelectrico en combinación con las medidas de HVSR ofrecen resultados fiables en la determinación de espesores de sedimentos superficiales.

Los resultados obtenidos en la Tabla 4, aplicando la Ecuación 2, han sido traspasados a cada punto medido, lo que ha permitido dibujar el espesor bajo cada cota de los ensayos practicados. A partir de estos datos se han construido dos secciones sobre el talud: una longitudinal considerando los puntos HS1, H7, H5, H9 y H15 y otra transversal a través de los puntos H8, HS2, H19, H13, H9, H6, H14 y HS3 (Figuras 5 y 6), de manera que se puedan observar de forma gráfica los espesores de sedimento referenciados.

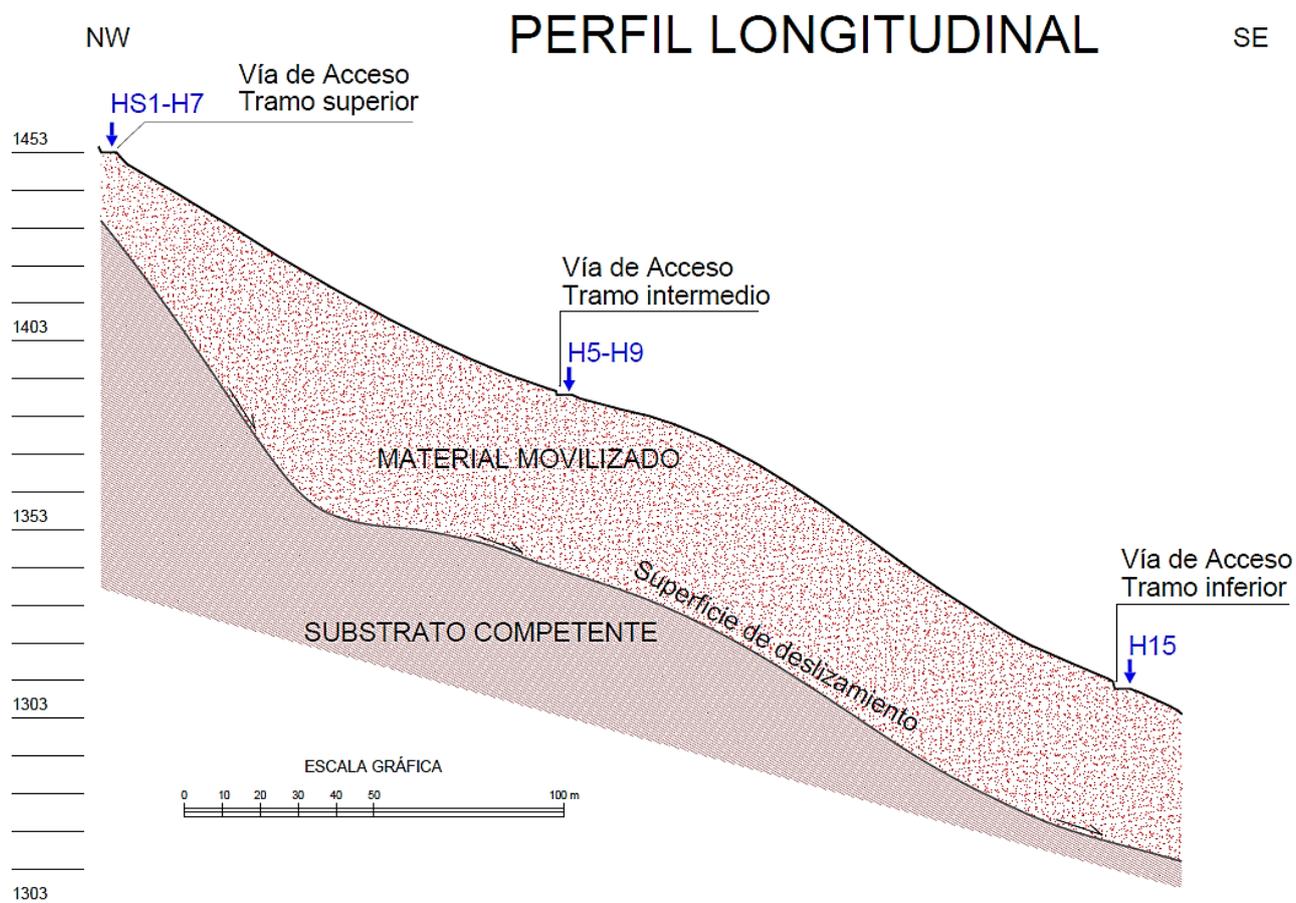


Figura 5. Sección longitudinal (NW-SE) al deslizamiento (escala 1H:1V).

En la sección longitudinal al deslizamiento (Figura 5) y siguiendo la dirección principal del movimiento, en su zona central, se puede observar la presencia de una zona de materiales poco

compactos de gran potencia (más de 60 m) situada entre el tramo superior y el intermedio del acceso vial. Esos espesores se van reduciendo abruptamente hacia la zona superior del deslizamiento y manteniendo unos 40 m de potencia hacia la parte inferior del mismo. La superficie del deslizamiento trazada en esta sección a partir de los datos disponibles parece que responde a una posible tipología de deslizamiento traslacional ya que se mantiene el espesor de materiales en movimiento a lo largo de dicha sección. Además, analizando la morfología sugerida en esta investigación, es posible que esta zona analizada pueda responder a una zona de acumulación de deslizamientos anteriores (paleodeslizamientos)

En la sección transversal al deslizamiento (Figura 6), trazada por la zona del tramo central de la vía de acceso se ha observado la presencia de una zona elevada que separa dos áreas en forma de V. La primera zona deprimida se corresponde con una quebrada o cauce torrencial temporal, lo que indicaría su posible relación con la existencia de algún tipo de estructura tipo falla.

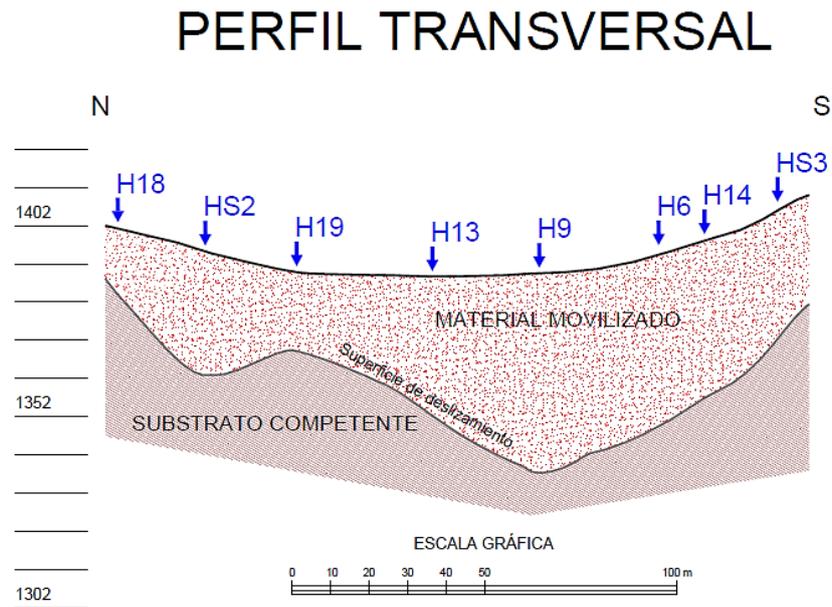


Figura 6. Sección transversal (N-S) al deslizamiento (escala 1H:1V).

La segunda zona deprimida sería el trazado de la forma del deslizamiento, en su área central, con una depresión importante en la posición del ensayo H9 (ensayo que está presente también en la sección longitudinal) y con vertientes hacia el Norte y el Sur que presentan una fuerte pendiente.

La zona elevada que se observa con mayor claridad en la sección transversal parece también evidenciarse, de forma más suave en la zona central de la sección longitudinal, aproximadamente donde se han realizado los ensayos H5 y H9 (ver Figura 5).

8. CONCLUSIONES

Las conclusiones a que se ha llegado a partir de las investigaciones preliminares realizadas, combinando dos técnicas geofísicas, en la zona del deslizamiento de los accesos a la casa de máquinas de la Central Hidroeléctrica Sopladora son:

- Han sido aplicados ensayos geofísicos de tipo unidimensional de los métodos sísmico y eléctrico. En concreto 5 unidades de ensayos SEV y 22 unidades de ensayos HVSR.
- Ha sido establecida una relación exponencial entre los espesores de los materiales movilizados (de menor resistividad) y los del substrato compacto (fijos), obtenidos en la investigación mediante SEV, y los valores de las frecuencias naturales del terreno f_0 en los puntos de control paramétrico (los mismos donde se ejecutaron sondeos SEV).

- La relación empírica obtenida (Ecuación 2) dispone de un error de ajuste de $R^2 = 0.84$, lo que se considera un valor de correlación bueno, establecido entre los espesores de sedimentos y las frecuencias (f_0) de los puntos de control.
- Se ha comprobado la metodología en la aplicación combinada de ensayos de tipo SEV y ensayos de tipo HVSR en la investigación de sedimentos superficiales. Esta metodología es de fácil aplicación e interpretación y con costos económicos bajos, pudiendo ser trasladada a otras zonas con acceso para maquinaria de sondeos complicado y como herramienta previa a análisis más elaborados.
- A partir de la relación de la Ecuación 2 se han calculado los espesores de sedimentos en los diferentes puntos de estación de ensayo HVSR y, de los resultados obtenidos de estos valores, han sido ejecutadas dos secciones del terreno (una longitudinal y otra transversal a la dirección del movimiento del material).
- Se ha evidenciado la potencial superficie de ruptura del deslizamiento con una forma de tipo traslacional o roto-traslacional

El uso de las técnicas SEV y HVSR y la metodología desarrollada en esta investigación pueden ser herramientas de investigación y de toma de decisiones en la auscultación e instrumentación de zonas deslizantes debido a la rapidez de ejecución de los ensayos y su economía. A partir de estos resultados, sería conveniente establecer una campaña de investigación complementaria, mediante sondeos con recuperación de testigo, para establecer las condiciones de los materiales y verificar lo expuesto en esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo de investigación que se presenta ha sido posible gracias a la colaboración de la Gerencia de la E.P. CELEC demarcación SUR que ha permitido el uso de los datos para realizar esta presentación. Los ensayos de tipo SEV que se presentan en este documento, así como la cartografía topográfica manejada son propiedad de E.P. CELEC-SUR.

REFERENCIAS

- Alonso-Pandavenes, O, Torres, G., Torrijo, F.J. and Garzón-Roca, J., 2022 Basement tectonic structure and sediment thickness of a valley defined using HVSR geophysical investigation, Azuela valley, Ecuador. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* (2022) 81:210. DOI: 10.1007/s10064-022-02679-y
- Bing Maps, s.f. Vista aérea de la zona de la C.H. Sopladora y situación del área. Acceso a www.bing.com/maps el 20 de abril del 2022
- Bouchelouh, A., Bensalem, R. Z., Machane, D., Moulouel, H., and Oubaiche, E. H., 2018. The miocene roof mapping using microtremor recording and electrical survey method in Blida City, Algeria. *Pure and Applied Geophysics*, 175(1): 287–301.
- Delgado, J., Lopez Casado, C., Estevez, A. C., Giner, J., Cuenca, A., and Molina, S., 2000a. Mapping soft soils in the Segura river valley (SE Spain): A case study of microtremors as an exploration tool. *Journal of Applied Geophysics*, 45: 19–32. doi:10.1016/S0926-9851(00)00016-1
- Delgado, J., Lopez Casado, C., Giner, J., Estevez, A., Cuenca, A., and Molina, S., 2000b. Microtremors as a geophysical exploration tool: Applications and limitations. *Pure and Applied Geophysics*, 157: 1445–1462. doi:10.1007/PL00001128
- Google Earth, s.f. Situación de Ecuador. Acceso a <https://earth.google.com/web> el 20 de abril del 2022
- Hinzen, K.G., Scherbaum, F., and Weber, B., 2004. On the resolution of H/V measurements to determine sediment thickness, a case study across a normal fault in the Lower Rhine Embayment, Germany. *Journal of Earthquake Engineering* <http://doi.org/10.1080/13632460409350514>
- Ibs-von Seht, M., and Wohlenberg, J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89(1): 250-259.

- Khalili, M., and Mirzakarudeh, A. V., 2019. Fault detection using microtremor data (HVSR-based approach) and electrical resistivity survey. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(2): 400-408
- Khan, S, and Khan, M.A., 2016 Mapping sediment thickness of Islamabad city using empirical relationships: Implications for seismic hazard assessment. *J. Earth Syst. Sci.* <https://doi.org/10.1007/s12040-016-0675-0>
- León Gómez, A.M., Tijera Carrión, A., y Ruiz Bravo, R., 2014. Utilización de técnicas geofísicas en la identificación de deslizamientos de ladera. *CEDEX Ingeniería Civil* N° 175: 39-51
- Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1)
- Nakamura, Y., 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. In *Proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering* Vol. 2656
- Parolai, S., Bormann, P., and Milkereit, C., 2002. New relationships between V_s , thickness of sediments, and resonance frequency calculated by the H/V ratio of seismic noise for Cologne Area (Germany). *Bulletin of Seismological Society of America* <https://doi.org/10.1785/0120010248>
- SESAME, 2004. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: SESAME, European project, WP12. Deliverable D23.12