

Auscultación de la falla La Cal utilizando diferentes métodos geofísicos.

Via, Sebastián M.^a; Giolo, Emilce^a; Calderon, Francisco^a; Cueto, Alfredo ^a y Frau, Carlos^a

^a Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica (CEREDETEC), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

Coronel Rodríguez 273 M5502AJE. Mendoza, Argentina

sebastian.via@frm.utn.edu.ar

Resumen

Desde el punto de vista sísmico, el centro-oeste argentino es consecuencia de una densa trama de fuentes potenciales de actividad sísmica y constituye una importante amenaza para la región.

Dentro de la provincia de Mendoza, el área metropolitana es un conglomerado urbano integrado por 6 departamentos (Capital, Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras, Maipú y Lujan de Cuyo), cuya población la convierte en la cuarta aglomeración de la República Argentina expuesta al mayor peligro sísmico de la región.

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto de Investigación ECUTNME0004343 “Clasificación de Sitios para el Diseño Sísmico de Estructuras en el Área Metropolitana del Gran Mendoza” que se desarrolla en el ámbito de la Facultad Regional Mendoza de la UTN por el Área Sismicidad del CEREDETEC.

Dicha investigación, comenzó con la digitalización y ubicación de las principales estructuras o fallas geológicas dentro y en los alrededores del área metropolitana. Resaltando la falla La Cal, la cual se localiza 15 kilómetros en línea recta al norte de la capital de Mendoza. En la zona de estudio, la traza de la falla presenta exposición de su escarpa y afloramientos de sedimentos cuaternarios afectados.

Sobre la escarpa de la falla La Cal se ejecutaron diferentes mediciones y auscultaciones, tales como: método del cociente espectral H/V que consiste en la utilización de vibraciones ambientales, perfiles gravimétricos, perfiles geoelectricos y magnetometría, con el principal fin de extrapolar los resultados obtenidos hacia zonas del Gran Mendoza donde las probables fallas no presentan exposición en superficie (fallas ciegas).

La falla la Cal presenta una cinemática inversa, con rumbo NNE (5°) y buzamiento de 50 ° hacia el oeste, esta estructura ha sido estudio de diversos trabajos, su último movimiento ha sido calculado de edad holocena y su traza ingresaría a la ciudad de Mendoza posiblemente a través de la calle Perú.

Palabras Clave: Auscultaciones – Fallas – Gravimetría.

1 Introducción

La exposición a fuentes potenciales de actividad sísmica, representada por fallas geológicas, muestra los peligros relevantes en particular para centros urbanos e infraestructuras críticas, por las potenciales pérdidas de vidas humanas y bienes que pueden resultar de ello.

La zona metropolitana del Gran Mendoza se encuentra ubicada en torno al frente orogénico más activo de Los Andes y sobre el límite sur del actual segmento de subducción subhorizontal entre los 28° y 33° de latitud sur, una de las zonas sísmicas más activas del mundo (Costa et al. 2006, Moreiras et al. 2014).

Dentro de este marco, el piedemonte andino de la Provincia de Mendoza reúne una buena parte de la deformación tectónica reciente asociada al crecimiento de la Cordillera de los Andes que se manifiesta por la concentración de la sismicidad.

La zona de estudio, abarca el área metropolitana norte de la provincia de Mendoza, la cual se encuentra enclavada en la zona de máxima peligrosidad sísmica de la República Argentina (INPRES-CIRSOC 103 Parte 1 2013). Las áreas geográficas que están emplazadas en las proximidades de estructuras potencialmente generadoras de sismos, tal como la Falla La Cal, pueden experimentar amplificaciones del movimiento sísmico aumentando el potencial de daño ante un terremoto. (Fig. 1)

El presente trabajo pretende validar la técnica del cociente espectral H/V versus los métodos geofísicos tales como gravimetría, geoelectrónica y magnetometría con el principal objetivo de identificar fallas o estructuras ciegas.

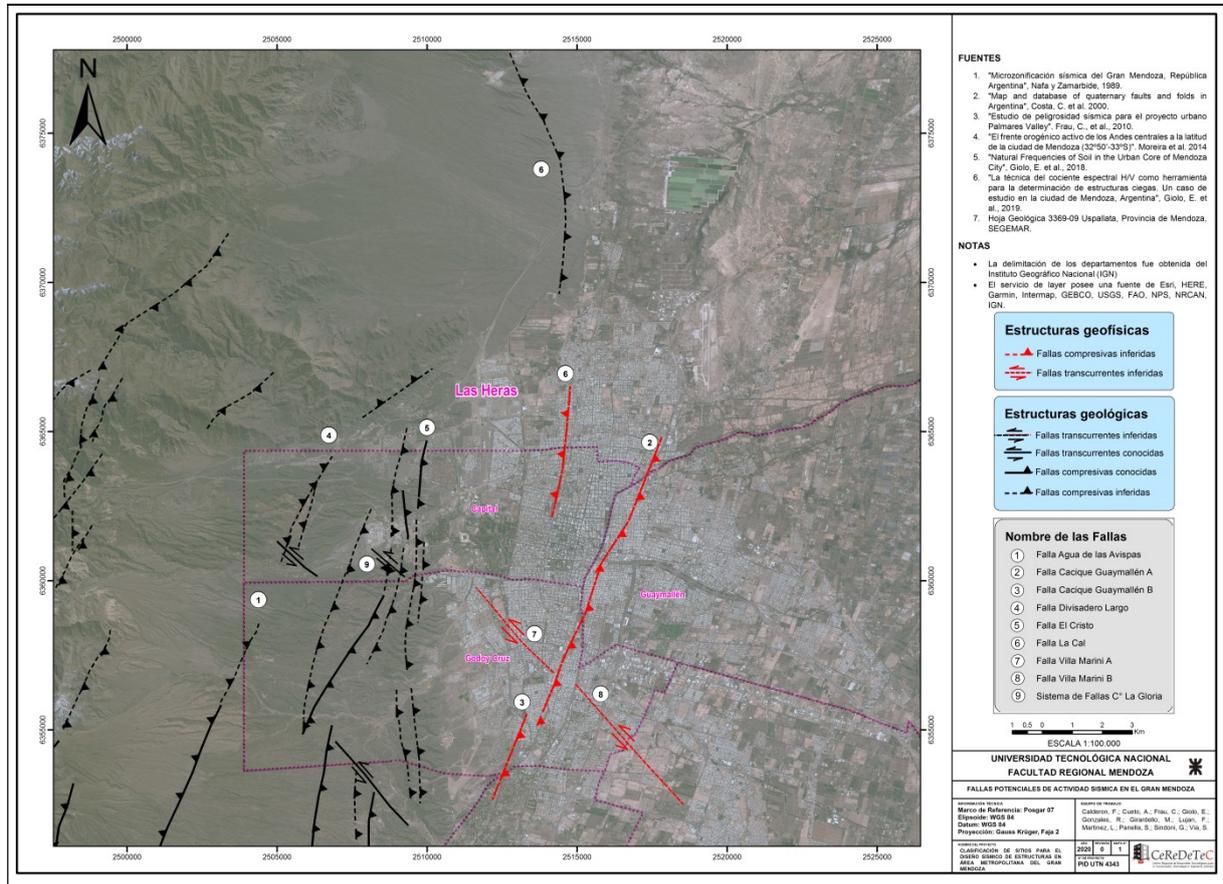


Fig. 1. Mapa de localización del área metropolitana del Gran Mendoza, con la ubicación de la zona de estudio sobre Falla La Cal.

En la figura 1, se detallan estructuras identificadas a través de mapeo e interpretación geológica (fallas con color negro) y estructuras interpretadas a través de métodos geofísicos (fallas o estructuras en líneas rojas).

2 Materiales y métodos

En la zona de estudio (Fig. 2) se ejecutaron auscultaciones y mediciones en la traza expuesta de la falla La Cal, a través de los siguientes métodos geofísicos: método del cociente espectral H/V, perfil gravimétrico, magnetometría y perfil geo eléctrico.

Los métodos geofísicos han demostrado ser una poderosa y exitosa herramienta y han sido utilizados de tres maneras distintas: 1) como una técnica de reconocimiento para dilucidar la estratigrafía del subsuelo y la estructura de una zona de falla, en orden de optimizar y localizar los sitios para el desarrollo de trincheras o perforaciones; 2) para definir fallas que se expresan a profundidades mayores de las que pueden alcanzar una trinchera o perforación, y 3) para detectar fallas ocultas que no tengan ningún tipo de expresión superficial (Giolo et al, 2019).

La técnica del cociente espectral H/V aplicado a vibraciones ambientales puede permitir identificar o sospechar la presencia de estructuras sin expresión morfológica o indicios geológicos en superficie. Esta información de obtención expeditiva puede ayudar a direccionar estudios confirmatorios más específicos en superficie o en subsuelo. La misma se basa en el concepto de función de transferencia entre componentes vibratorias horizontales y verticales. Esta técnica es ampliamente utilizada como método para la determinación de efectos de sitio en la ingeniería sísmica (Calderón, et al. 2017)

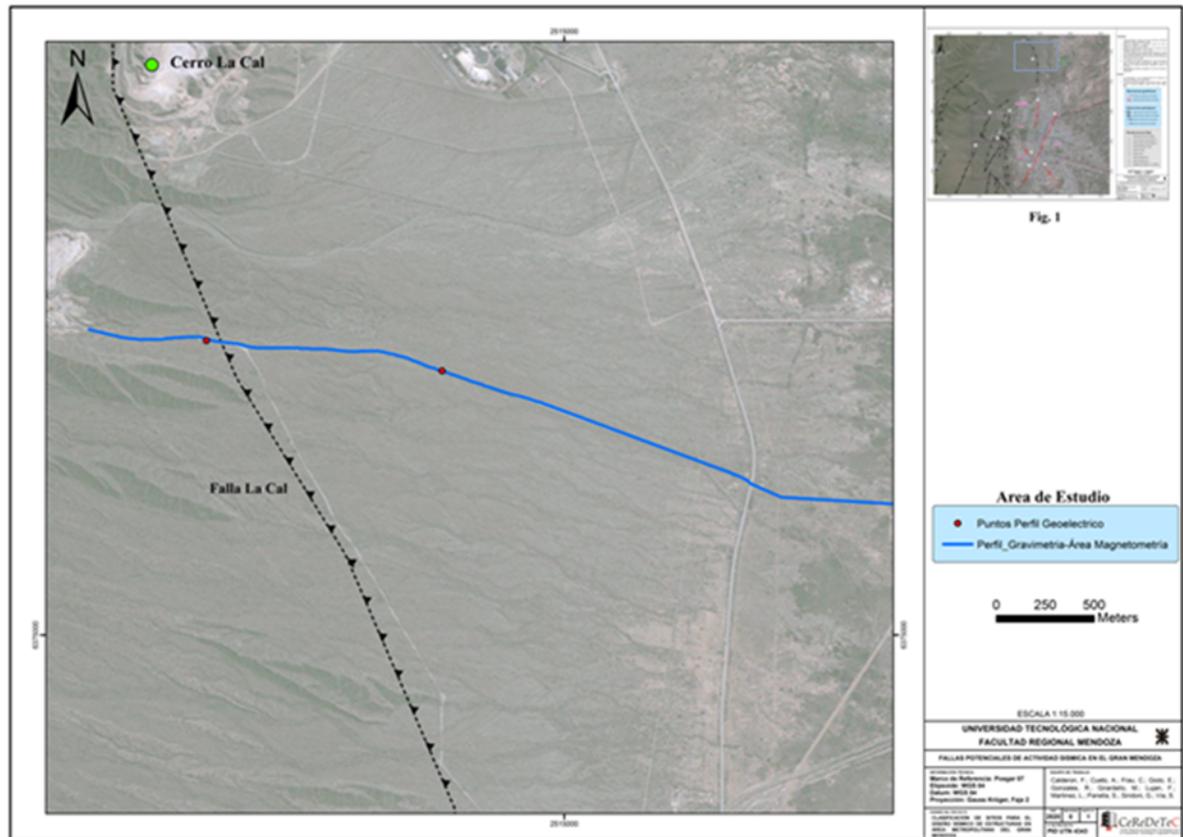


Fig. 2. Ubicación traza perfiles geofísicos sobre Falla La Cal.

Los métodos de geomagnetismo y gravimetría han provisto de un particular uso para entender la estructura del subsuelo, entre los métodos de prospección, los relevamientos electromagnéticos han sido utilizados para detectar fallamientos a gran escala, y en particular fallas de rumbo (Giolo et al. 2019).

En los últimos años se ha notado un marcado incremento en el uso de métodos geoelectricos (perfiles geoelectricos 2D y tomografías eléctricas verticales) para la detección de fallas ocultas o como herramienta para localizar la estructura antes de llevar a cabo una trinchera (Caputo et al. 2003).

3 Resultados y discusiones

Método de cociente espectral H/V: este análisis consiste en la utilización de vibraciones ambientales de baja amplitud para la determinación de efectos de sitio, y es utilizado para la determinación de frecuencias y periodos del suelo. Dicho periodo está relacionado a dos parámetros fundamentales del suelo, uno que representa su rigidez y está dado por la velocidad de la onda de corte; y el otro, la profundidad del estrato sedimentario hasta el lecho rocoso o gravas cementadas, que representa la potencia de la masa de suelo (Giolo et al., 2018 y 2019).

Luego de realizadas las mediciones y procesado los datos (Fig. 3), se determinaron las frecuencias y periodos del suelo en cada estación de medición. Se realizaron mediciones de 15 minutos con una

frecuencia de muestreo de 200 Hz y para el procesamiento se tomaron ventanas de 50 segundos a fin de abarcar un rango entre 0.1 Hz y 100 Hz (Fig. 4), valores adecuados para las frecuencias de suelo estudiadas (Giolo et al., 2018 y 2019)

La figura 5 presenta la variación de la frecuencia y el periodo fundamental del suelo en la distancia entre los puntos medidos. Si se tiene en cuenta que la falla La Cal presenta naturaleza y cinemática inversa, la figura muestra el bloque levantado al oeste. Los resultados obtenidos dan cuenta de la presencia de menor potencia de sedimentos sobre esa margen, alcanzando un pico sobre la traza. A medida que nos alejamos al este las frecuencias bajan lo que permite inferir un estrato sedimentario de mayor potencia.

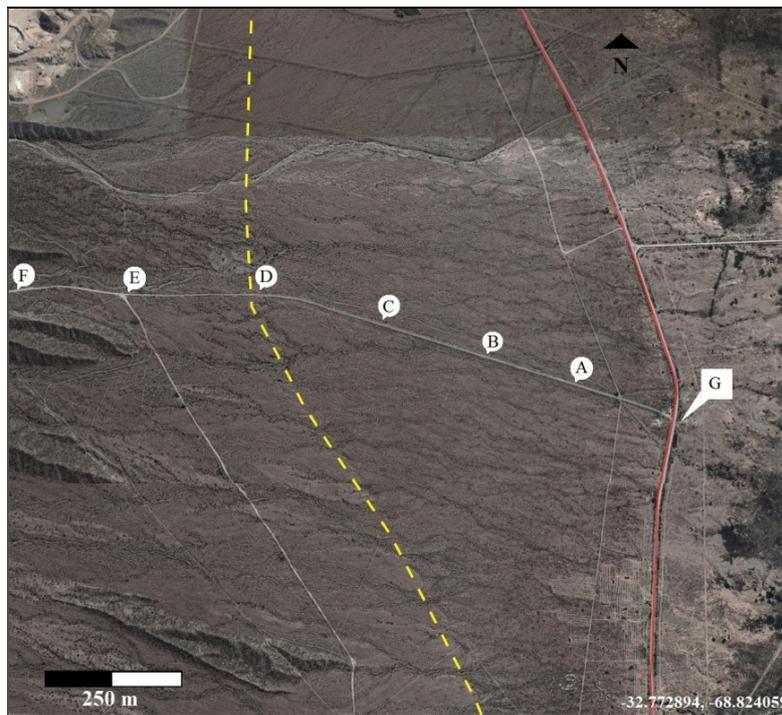


Fig. 3. Ubicación de los puntos de medición de vibraciones ambientales. Los puntos se eligieron a fin de obtener un perfil aproximadamente perpendicular a la traza (línea amarilla) de la falla La Cal.

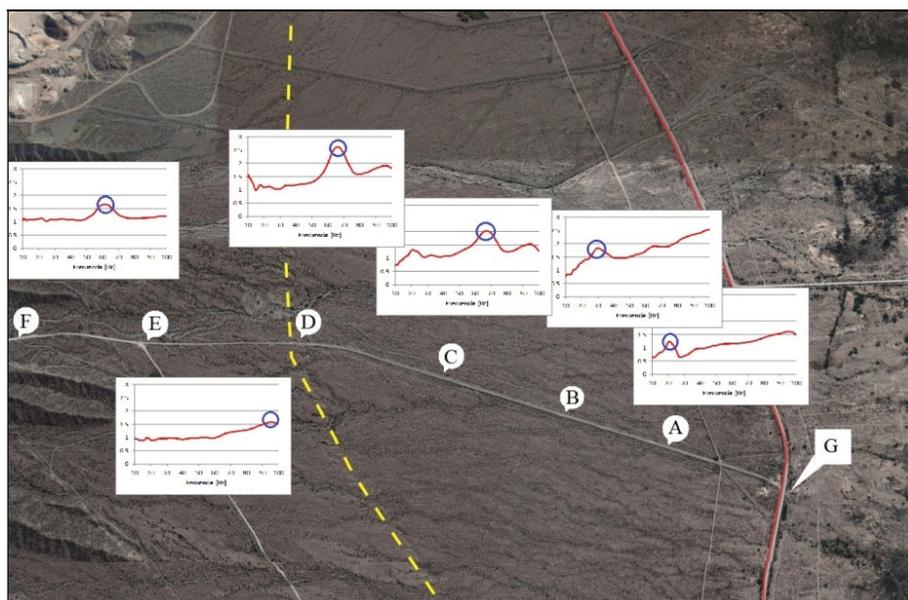


Fig. 4. Espectros H/V de los 6 puntos medidos en un perfil transversal a la traza de la falla La Cal. En amarillo la traza de la falla, en gris el perfil de mediciones, sobre un camino.

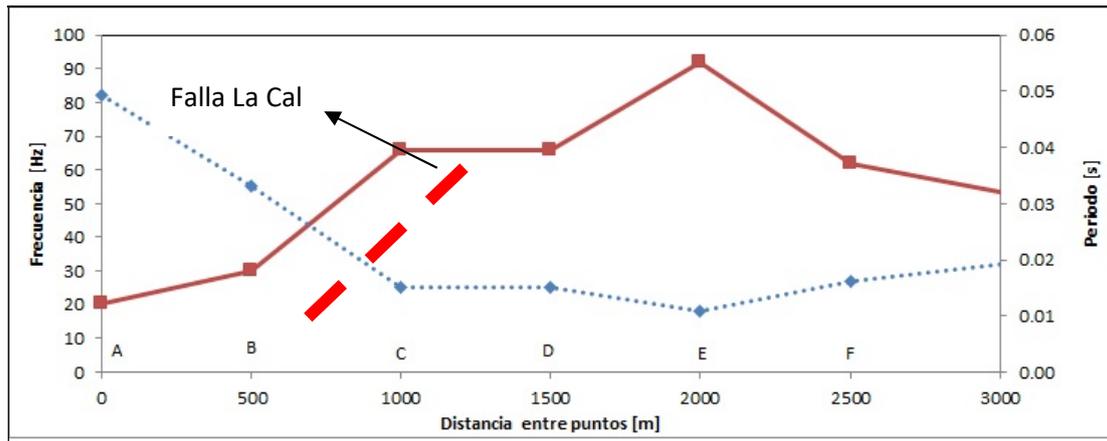


Fig. 5. Modificado de Giolo et al. 2019. Variación del periodo del suelo (línea de puntos azul) y la frecuencia del suelo (línea roja continua) entre punto y punto.

Perfil Gravimétrico (Fig. 6):

Para las mediciones se utilizó un gravímetro marca LaCoste & Romberg Model G. Los datos de elevación y gravedad se colectaron en cada ubicación del perfil. Se utilizan ciertos criterios y metodologías, como los vínculos frecuentes con una ubicación base, con el objetivo de minimizar la deriva del instrumento, las variaciones diurnas y las mareas. Los datos de gravedad pueden reducirse a varias etapas, incluido el aire libre y Bouguer.

Antes del comienzo de las mediciones del levantamiento, se realizaron los siguientes pasos para estabilizar y verificar el gravímetro:

- El instrumento se conectó a la energía de la batería y se calentó durante aproximadamente 48 horas para alcanzar una temperatura de funcionamiento estable (50°C).
- Se comprobaron y ajustaron los niveles de burbuja transversal y longitudinal de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual del instrumento.
- Se revisó la línea de lectura: todas las lecturas se tomaron con el instrumento montado en un plato de aluminio colocado sobre las áreas marcadas donde los topógrafos habían registrado sus medidas de elevación.

Se establecieron varias estaciones bases de gravedad durante el curso del estudio para permitir lazos de bucle menores a 5 horas de duración cuando fuera posible y práctico, con el objetivo de lograr un error de cierre de bucle de menor al 10%.

En el perfil (Fig. 6) se marca un cambio de tendencia en la anomalía de Bouguer y en la curva del aire libre sobre la traza expuesta de Falla La Cal, luego hacia el este se marcan dos cambios que salen de la norma o tendencia regional.

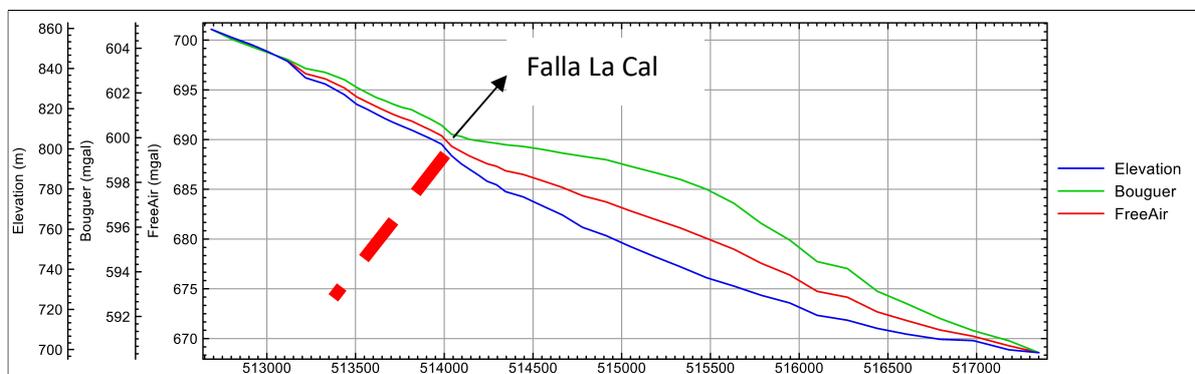


Fig. 6. Localización perfil gravimétrico sobre Falla La Cal.

Perfil Geoeléctrico:

La exploración del subsuelo a partir de las mediciones de resistividad y cargabilidad eléctrica del mismo (Métodos Geoeléctricos), constituye una técnica bien conocida durante los últimos 50 años. Se trata de una metodología habitualmente empleada en ingeniería, geología, minería, obras públicas, arqueología y medioambiente (Rodríguez, M, 2010). El instrumento utilizado para las mediciones fue GDD GRx8-32 Dipolo-Dipolo

Para las mediciones realizadas se utilizaron dispositivos de cuatro electrodos (dos parejas). Una de las parejas de electrodos se denomina “de corriente”, y son los responsables de inyectar la electricidad en el subsuelo, y otros dos electrodos son “de potencial”, empleándose para medir el voltaje generado en el subsuelo por la corriente inyectada. Los diferentes tipos de dispositivos empleados en el método geoeléctrico se diferencian entre sí por la distancia relativa entre electrodos, y la posición de los electrodos de corriente respecto a los de potencial. En estas mediciones se utilizó el arreglo de dispositivos más empleado: Dipolo-Dipolo con espaciamiento cada 100 metros.

A grandes rasgos, los métodos geoeléctricos consisten en introducir corriente en el terreno y medir el voltaje producido por la misma en puntos determinados de la superficie. A partir del valor de la corriente inyectada y del voltaje medido, pueden obtenerse resistividad y cargabilidad de zonas en el subsuelo.

En las figuras 7 y 8, nótese como en las progresivas 650-700, en las secciones de resistividad y cargabilidad muestran una discontinuidad un poco más ancha con cierto y pronunciado buzamiento hacia el oeste.

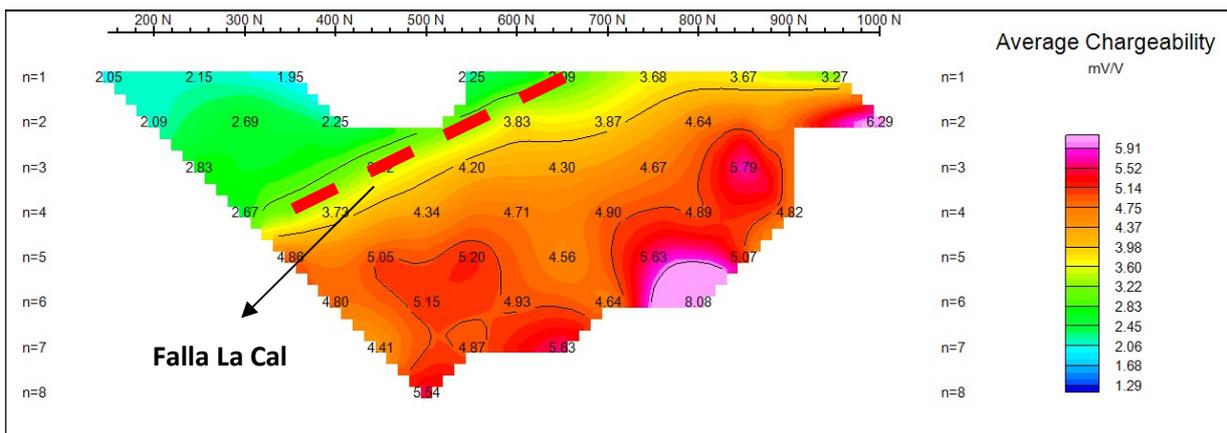


Fig. 7. Perfil Geoeléctrico (Cargabilidad) sobre Falla La Cal.

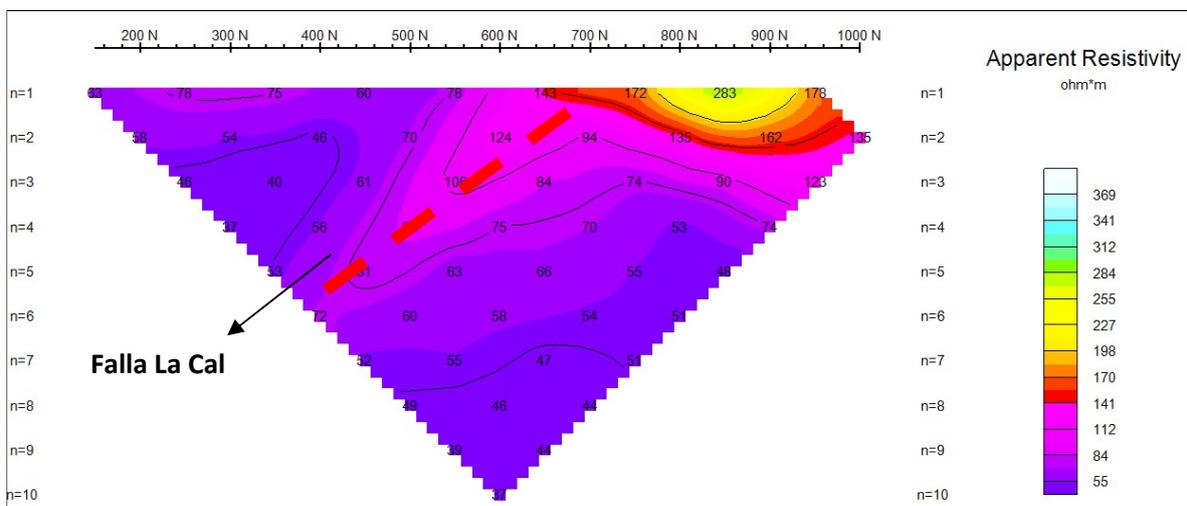


Fig. 8. Perfil Geoeléctrico (Resistividad) sobre Falla La Cal.

Mapas Magnetometría:

Para las lecturas de magnetometría se utilizó el instrumento GEM GSM-19 Overhauser, a través del cual se pudo construir los mapas RTP o reducción al polo (Fig. 9), que representa una técnica de procesamiento de datos que recalcula los datos de intensidad magnética total como si el campo magnético inductor tuviera una inclinación de 90° , es decir, las anomalías toman aproximadamente la misma forma que se observaría en el polo magnético. También se construyó el mapa TMI o Campo Magnético Total (Fig. 10), el cual está inclinado con respecto a la horizontal, por lo que el resultado inducido por el campo terrestre sería un desplazamiento del alto hacia el sur de los cuerpos magnéticos y un bajo magnético se ubicaría al norte del cuerpo magnético. Los mapas de polos reducidos pueden ayudar a correlacionar los datos magnéticos con estructuras geológicas.

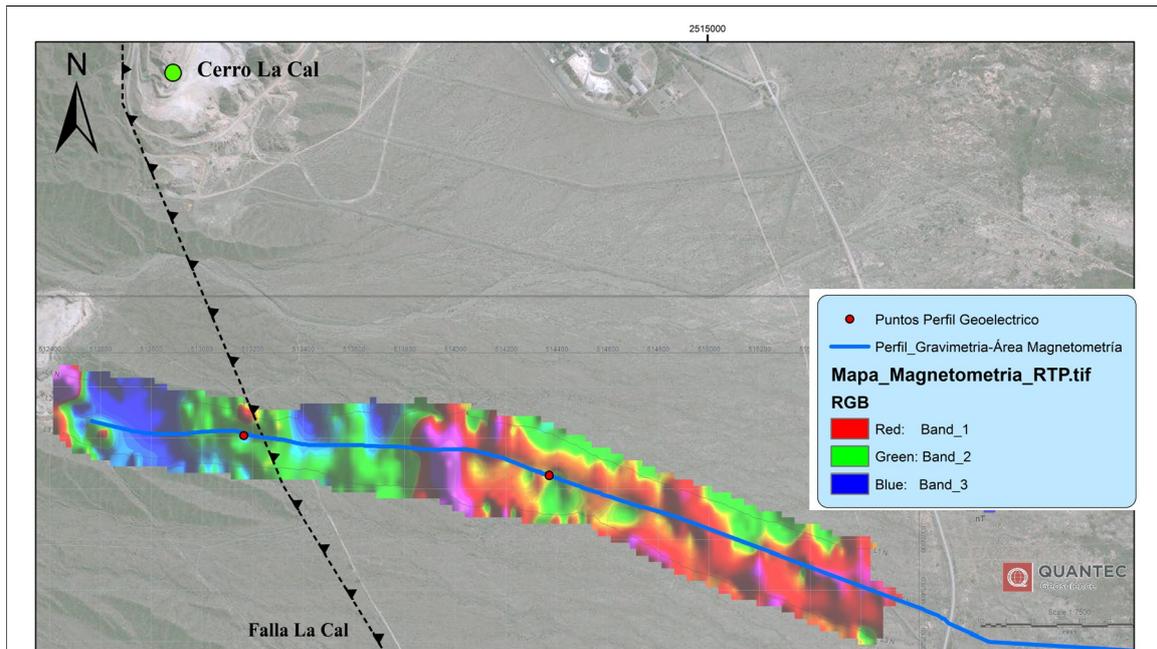


Fig. 9. Mapa RTP o reducción al polo sobre traza Falla La Cal.

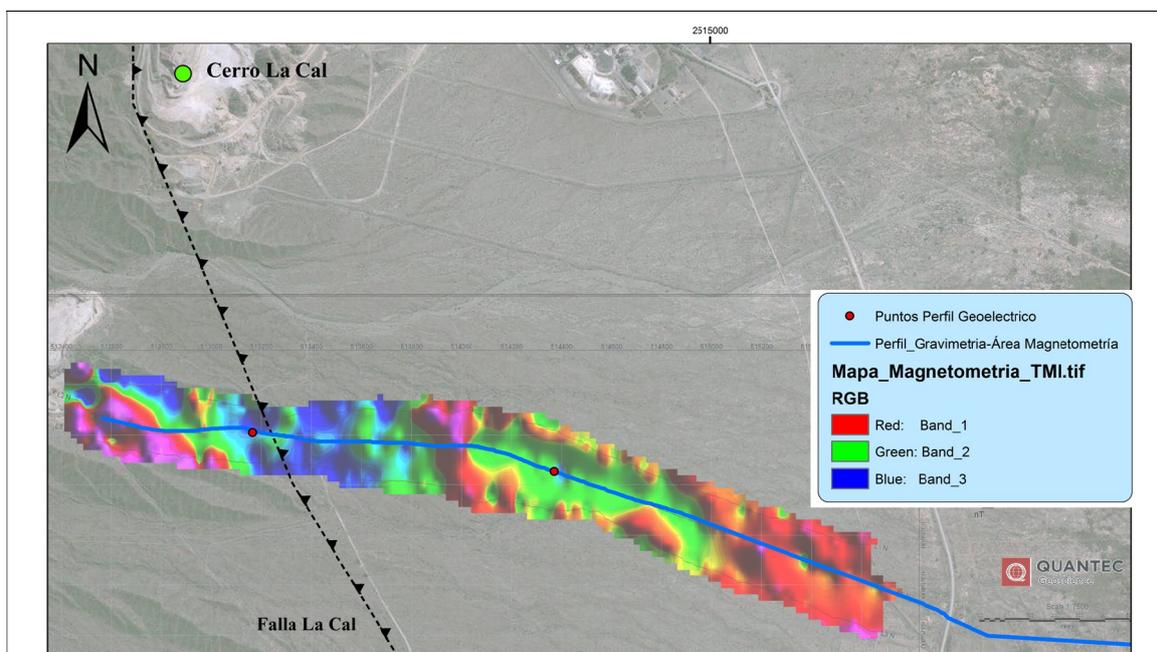


Fig.10. Mapa TMI o campo magnético total sobre Falla La Cal, mostrando desmagnetización producto de movimiento sufrido por la estructura a lo largo de tiempo geológico.

La limitación del método H/V, es que la expresión teórica de frecuencia o periodo ($T= 4H/Vs$) relaciona al mismo con la profundidad hasta el lecho rocoso (desde el punto de vista ingenieril) y su Vs. Esto hace que existan dos variables, por lo tanto no es posible distinguir si un cambio de período es debido al cambio en la profundidad H o la velocidad de onda de corte Vs. La limitación fundamental que la gravimetría tiene es la de disponer de la altitud del punto de observación acorde con la precisión de la medida de gravedad. Es por esto, que la altitud es el parámetro que impide una profusa observación de gravedad sobre la superficie terrestre. Las limitaciones de la magnetometría recaen sobre las construcciones humanas ferromagnéticas (tuberías, emisoras de radio y televisión, etc) que generan un importante ruido ambiental.

4 Conclusiones

En el presente trabajo se han descrito diferentes técnicas o métodos geofísicos, tales como: técnica del cociente espectral obtenido a partir del registro de vibración ambiental, perfiles gravimétricos, perfiles geo eléctricos y magnetometría

En la falla La Cal se encontraron variaciones de la frecuencia del suelo a ambos lados de la traza revelando las distintas potencias de los estratos de suelo hasta la roca. Estas mediciones permitieron constatar la capacidad de la técnica para identificar estructuras, a fin de poderla aplicar para detectar la presencia de estructuras sin manifestación superficial o ciegas en profundidad (Giolo et al. 2018 y 2019).

Los perfiles gravimétricos, geoelectrónicos y mapas de magnetometría han respaldado los datos obtenidos a través de la técnica del cociente espectral H/V, permitiendo con trabajos futuros, realizar métodos o técnicas geofísicas apropiadas sobre zonas metropolitanas con alto riesgo de peligrosidad sísmica, con el principal objetivo de identificar fallas que no presentan exposición en superficie (fallas ciegas). Se recomienda el uso de estas técnicas geofísicas en zonas urbanas con alto riesgo de peligrosidad sísmica.

Agradecimientos

Los autores agradecen en forma especial a la empresa de Geofísica Quantec por su predisposición para los trabajos realizados.

Referencias

Telford., W.M., Geldart, L., Sheriff, R., and Keys, D., 1976. Applied Geophysics. Cambridge University Press, New York, NY.

Giolo, E., Frau, C., Calderon, F., Pagano, S. y Tornello, M. (2018). Frecuencias naturales de suelos en el núcleo urbano de la ciudad de Mendoza. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras Vol. 23,2, 157 - 188 (2018), doi: [10.24133/riie.v23i2.967](https://doi.org/10.24133/riie.v23i2.967)

Nakamura, Y. 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering. Auckland, New Zealand. Paper 2656.

Nakamura, Y. 2008. On the H/V spectrum. Proceedings of the 14th World Conferencia on Earthquake Engineering. Beijing, China.

Giolo, E., Calderon, F., Pagano, S., Via Gatica, S. y Frau, C. (2019). La técnica del cociente espectral h/v como herramienta para la determinación de estructuras ciegas. Un caso de estudio en la ciudad de Mendoza, Argentina. Revista de Geología Aplicada, a la Ingeniería y al Ambiente. Numero 43 – Diciembre 2019. ISSN 2422-5703.

E. Giolo. C. Frau, F. Calderon, S. Pagano, M. Tornello. (2018) Frecuencias naturales del suelo en el núcleo urbano de la ciudad de Mendoza, Argentina. Revista Internacional de Ingeniería de estructuras. Vol 23. 2, pag. 157-180.