



## XVIII Congreso Peruano de Geología

# APLICACIÓN DE LA SÍSMICA DE REFLEXIÓN EN LA EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL CERRO CAMACHO – SURCO

Cesar Huayhua<sup>1</sup>, Isbelia Jordán<sup>2</sup>, Karina Sueldo<sup>3</sup>, Luis Gallo Castrillón<sup>4</sup>

Ciencias Ingeniería & Medio Ambiente S.A.C. email.

<sup>1</sup> Gerente Técnico, Ciencias Ingeniería & Medio Ambiente S.A.C., Lima, Perú (cesar.huayhua@cimasac.pe)

<sup>2</sup> Asesor, Ciencias Ingeniería & Medio Ambiente S.A.C., Lima, Perú (isbelia.jordan@gmail.com)

<sup>3</sup> Gerente General, Ciencias Ingeniería & Medio Ambiente S.A.C., Lima, Perú (karina.sueldo@cimasac.pe)

<sup>3</sup> Asesor, Ciencias Ingeniería & Medio Ambiente S.A.C., Bogotá, Colombia (alejandro.galloc@gmail.com)

### Resumen

Dentro de la zona evaluada se ejecutaron una línea sísmica de reflexión y una tomografía eléctrica, evaluando una zona de relleno con presencia de filtración de agua, la tomografía eléctrica determino una anomalía asociada al relleno y partiendo de esta anomalía eléctrica en el perfil sísmico se trabajó con filtros y el análisis espectral para mejorar la visión de estos contactos, logrando de esta manera determinar los contrastes de amplitud de la señal (reflectores) que pudieron definir los contactos en el perfil sísmico.

Es necesario indicar que este análisis es preliminar, en el cual se busca determinar los parámetros y procedimientos para adicionar el método de la reflexión sísmica en exploraciones geotécnicas, según los resultados encontrados se puede indicar que la reflexión sísmica es una herramienta útil en los trabajos geotécnicos.

### 1. Introducción

La sísmica de reflexión es ampliamente usada dentro de las exploraciones de hidrocarburos, con arreglos y metodologías que la hacen un método geofísico con grandes aciertos en este campo, debido al gran desarrollo que ha tenido esta técnica geofísica es que se requiere llevarla al campo de la geotecnia y demostrar la misma eficiencia que se tiene en la exploración petrolera.

La tomografía eléctrica es un ensayo geofísico que es usado con fines geotécnicos para determinar zonas de filtraciones de agua, fracturamiento de rocas, etc., y es

muy aplicado ya que refleja las condiciones de los suelos con gran similitud.

En el campo de la geotecnia son conocidas las dificultades para determinar la inestabilidad que presentan los terrenos al momento de la construcción, es por esto que se han desarrollado técnicas que ayudan al geotecnista a caracterizar los terrenos y determinar zonas críticas para las construcciones. La finalidad de esta investigación es tener una variante de los métodos sísmicos convencionales (refracción, refracción MASW, etc. aplicados en el campo de la geotecnia.

Para comprobar la eficiencia de la reflexión sísmica para identificar zonas críticas dentro de los suelos donde se presuman la presencia de zonas estables e inestables, se ha comparado con los resultados obtenidos en una línea de tomografía eléctrica realizada en la misma zona, en la Figura 1 se observa la ubicación de la Línea ejecutada con los 2 métodos de exploración y el perfil de elevaciones respectivo.



Figura1. Distribución de la línea sísmica y la línea de tomografía

## 2. Metodología

### 2.1. Ideas generales de reflexión sísmica

La sísmica de reflexión es una técnica ampliamente usada en la exploración geofísica, que permite obtener información del subsuelo; controlando los tiempos de llegada de las ondas elásticas o pulsos (generadas artificialmente como, impactos mecánicos, vibraciones o explosiones). El retorno de estas ondas elásticas a la superficie después de reflejarse y refractarse en los distintos cambios de fase, se registra en el sismómetro. Las principales leyes que rigen la propagación de las ondas son, los principios de Huygens, Fermat y la ley de Snell.

El objetivo básico de la sísmica de reflexión es que a partir del estudio de las distintas formas de onda y sus tiempos de trayecto, se obtienen imágenes del subsuelo (secciones sísmicas, campos de velocidades, etc.), que luego se relacionan con las capas geológicas constituidas por distintas litologías y por consiguiente, permite obtener información geológica de los materiales que lo conforman, desde los primeros metros del terreno (sísmica de alta resolución o sísmica superficial, hasta varios kilómetros de profundidad).

La información se suele presentar en forma de secciones sísmicas que constituyen una especie de radiografía o eco-sonograma que revela las principales estructuras geológicas en el subsuelo tales como pliegues, fallas, intrusiones, patrones de sedimentación, etc.

### 2.2. Anomalías geofísicas

Con este método se podrán definir las formas de los taludes, fallas; y la distribución de las capas superficiales. Si se hace una malla o grilla se podrá establecer un modelo tridimensional, en caso de distribuir varias líneas, tener información de pozos cercanos y otros datos de la zona, también se podría formular un modelo tridimensional más completo, correlacionando, interpolando e interpretando los datos e información disponible.

Para poder definir la distribución litológica en el suelo, se considerarán los diferentes tiempos de llegada del rayo sísmico, longitud de onda, frecuencia de onda, amplitud de onda, cambios de velocidades; analizando todos los componentes de la onda a través del suelo y modelando sus variaciones se podrá establecer el modelo de distribución o imagen y dentro de estas imágenes determinar zonas cuyos reflectores presenten diferentes características que serán dominadas como anomalías geofísicas.

### 2.3. Estabilidad e inestabilidad geotécnica

Al poder definir el modelo de la distribución litológica (identificación y correlación de reflectores), se podrán establecer los modelos de velocidad de cada estrato; de tal manera que los cambios importantes denominados como anomalías geofísicas se asocien a rasgos que determinen

inestabilidad o estabilidad dentro de las exploraciones geotécnicas.

Si se tiene conocimiento de zonas con inestabilidad de suelos, también habrá una presunción a qué tipo de inestabilidad se refiera como fallas de rocas, oquedades, materiales sueltos, etc., se debe evaluar el área de riesgo, evaluar el tipo de energía a utilizar y la dirección correcta de la malla geofísica.

## 3. Desarrollo de la prueba

### 3.1. Método de tomografía eléctrica

La tomografía eléctrica es un método geofísico que utiliza la teoría de potencial eléctrico y a través de la emisión de corriente eléctrica al terreno y según los materiales presentes se va viendo las variaciones del potencial eléctrico asociado a la resistividad de cada tipo de roca, las resistividades son representados en secciones 2D y bloques 3D.

La tomografía eléctrica es muy utilizada en el campo de las exploraciones geotécnicas debido a su gran certeza en la determinación de estructuras como fallas, presencia de filtraciones, basamento rocosos, etc.

### 3.2. Método de reflexión Sísmica

#### 3.2.1. Adquisición de datos de reflexión

El método de adquisición de datos de reflexión será con la geometría de full spread (línea encendida). Consiste en disponer los geófonos en forma lineal con espaciamiento simétrico o intervalo de 3 metros.

La fuente de energía para la generación de ondas longitudinales será el de golpe con martillo. La distribución de los puntos de energía será en el punto intermedio de los geófonos, es decir que el intervalo también será de 3 metros. Los puntos receptores (geófonos) como los puntos de energía deben tener sus respectivas coordenadas y elevaciones.

Después de realizar las pruebas iniciales, se procede a grabar un registro apilado de los 24 geófonos para cada punto de energía, con una longitud de registro de 2 segundos y un muestreo de 0.5 milisegundos.

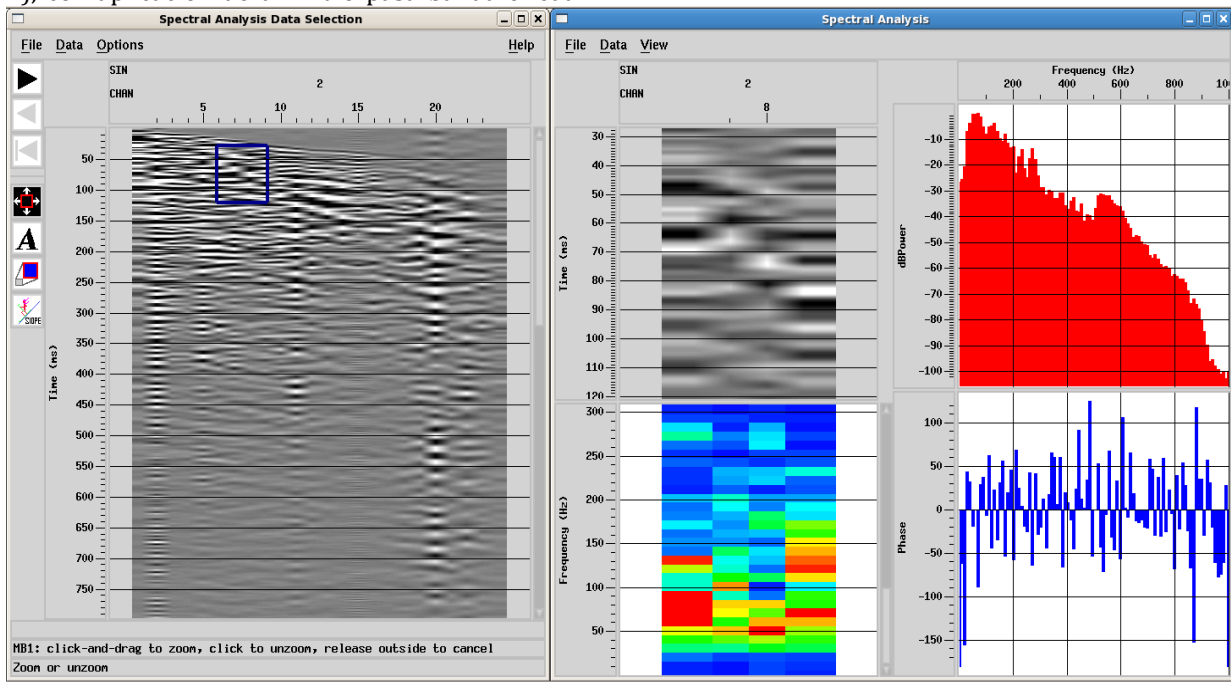
#### 3.2.2. Análisis y procesamiento de datos

Después de revisar cuidadosamente las coordenadas y generar un patrón de registro se procede a revisar la calidad de las señales registradas para cada punto y que el patrón de registro este correcto. Se realizan los siguientes procesos: recuperación de amplitudes, deconvolución, filtros de frecuencia, aplicación de ganancia, análisis de velocidades, correcciones estáticas y generación de apilados.

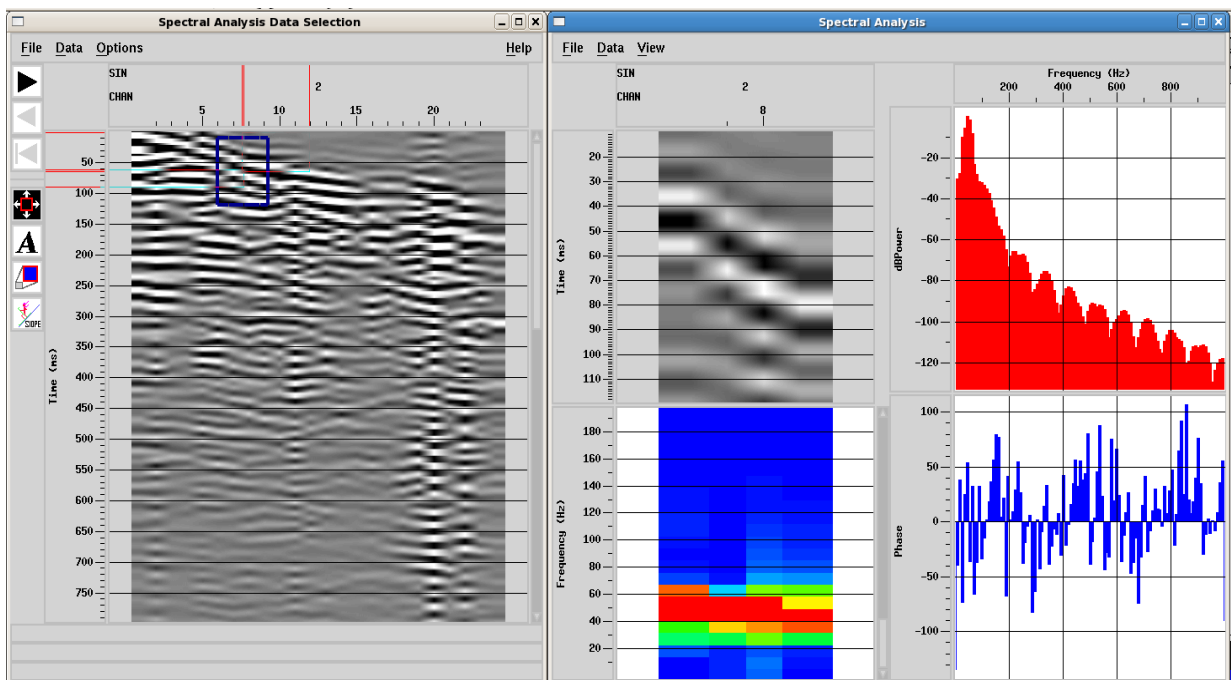
Una vez seleccionado el mejor apilado, se puede correlacionar con resultados de otros métodos, y realizar una interpretación y análisis óptimo. En la Figura 2 se muestra la sección de uno de los puntos registrados en el cerro Camacho y su espectro de frecuencia en el cual no se aplicó ningún filtro, se define una relación de señal-ruido coherente, sin embargo es necesario determinar un filtro pasa-banda de Ormsby para determinar el ancho óptimo en donde se sitúan las reflexiones coherentes y eliminar el ruido sísmico de altas y bajas frecuencias (ondas

superficiales, aérea, ruido ambiental, etc.); en la Figura 3 se observa la sección del mismo punto y su espectro (figura 2), con aplicación de un filtro pasa-banda el cual

mejora notablemente el espectro de frecuencia y limpia la señal de reflexión para el procesamiento.



**Figura 2. Registro del punto 2 y su análisis del espectro de frecuencia sin filtro pasa-banda.**



**Figura 3. Registro del punto 2 y su análisis del espectro de frecuencia con la aplicación del filtro pasa-banda.**

Efectuando el análisis espectral a cada registro se observó que la señal sísmica mejora, aplicando el filtro pasa-banda y se determinó que con un corte de 8 a 12.5 Hz y 50 a 70 Hz, se obtienen señales de reflexiones coherentes óptimas, que al ser apilados en un sección sísmica formada por todas las trazas CMP (Common mid points), representarán una imagen de los reflectores presentes en el subsuelo.

#### 4. Resultados y Conclusiones

Aplicando el filtro pasa-banda de Ormsby con un corte de 8 a 12.5 Hz y 50 a 70 Hz, se obtienen reflectores y/o contactos coherentes.

En la Figura 4a) se observa el perfil de reflexión sísmica con el apilado que mejor representa a la zona de evaluación y conjuntamente con esta figura se aprecia la línea de tomografía eléctrica (Figura 4b) realizada en el mismo perfil en campo, cabe señalar que la anomalía determinada con la tomografía eléctrica y denotada en color azul a celeste obedece a filtraciones de agua en

materiales denominados como rellenos o desmontes no consolidados.

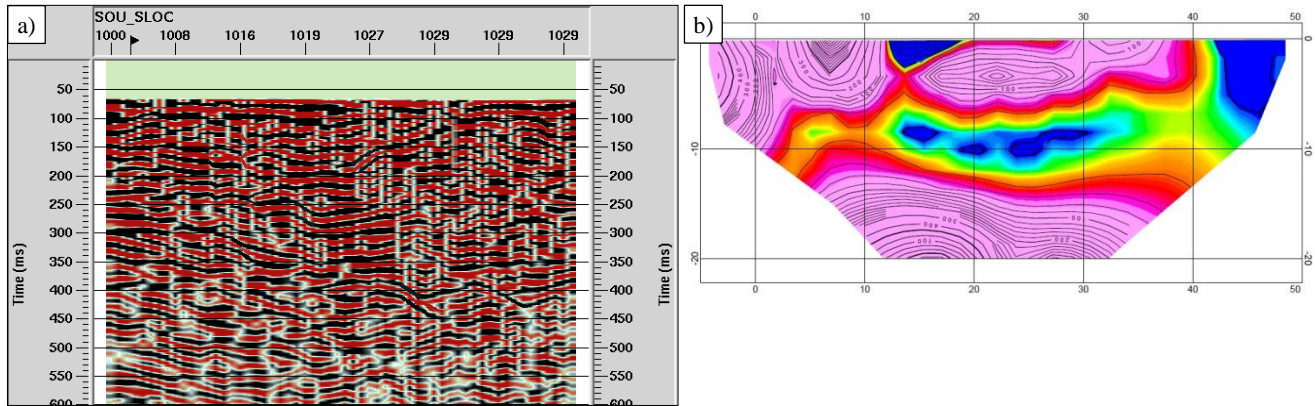


Figura 4. a) Perfil de reflexión Sísmica, b) Perfil de tomografía eléctrica.

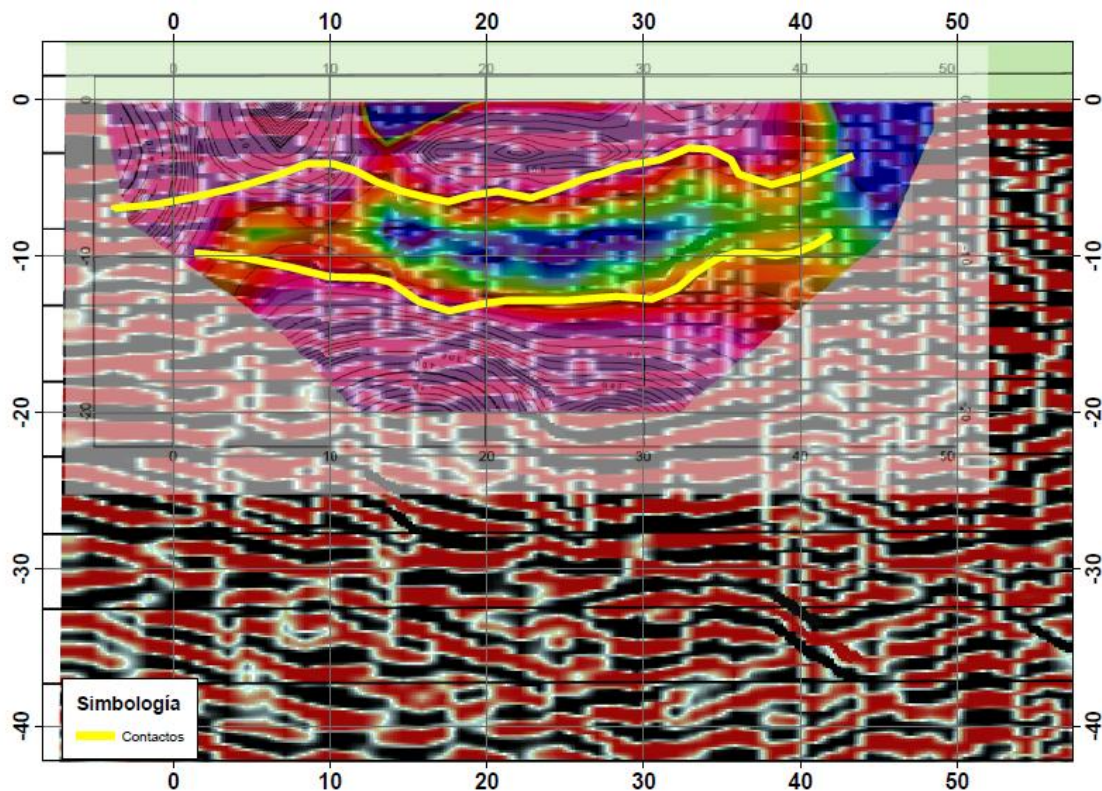


Figura 5. Integración de la línea sísmica y la tomografía eléctrica teniendo como resultado la definición de contactos de materiales con distintas densidades.

En la Figura 5, apreciamos una integración de los dos perfiles y definimos mejor los contactos en el perfil de reflexión sísmica con la ayuda del perfil de tomografía eléctrica, es importante indicar que la tomografía eléctrica dio un gran aporte para poder identificar los contactos mostrados en la figura 4 y es preciso resaltar que estas coinciden con los reflectores obtenidos en el perfil de reflexión sísmica; este es el gran aporte de la reflexión sísmica.

Realizando más pruebas, definiendo mejor los espectros, filtros, flujos de procesamiento y estableciendo tablas de velocidad para la litología superficial/somera, se definirá mejor los reflectores y contactos en los distintos tipos de materiales, que ayuden a definir anomalías asociadas a riesgos geotécnicos.

El uso del método de reflexión sísmica para estudios geotécnicos aportará información valiosa, que al ser

interpretada en conjunto con otros métodos y estudios del área de trabajo, generarán resultados con mayor certeza y viabilidad para determinar las anomalías asociadas a riesgos geotécnicos.

#### Referencias

- Aki, K. 1957. Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors.
- Erich D. Guy. 2006. High-Resolution P- and S-wave seismic reflection investigation of a shallow stratigraphic sequence. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Volume 11.
- Yilmaz, O. 1987. Seismic Data Analysis.
- Reynolds, J. 1997. An introduction to Applied and environmental geophysics.

Gayá, M. A. 2006. Procesado de Sísmica de Reflexión Superficial en el Complejo Turbidítico de Ainsa (Huesca), Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya.