

TRX

consulting

Producto2\_Síntesis No Técnica-F1.1

Estudio de Caracterización de Ruta con Métodos Geofísicos no Invasivos (Sísmica por Micro Tremores & Vibraciones) para la primera línea del metro de Quito  
Por Aldo Cataldi, CONSORCIO GRIFFMETAL-TRX Consulting C.A.

## 1. Introducción

La ejecución de diversos tipos de proyectos ingenieriles en ambiente urbano requiere no solo el conocimiento con el mayor detalle posible las características geotécnicas del terreno para su mejor diseño sino también minimizar el posible impacto en un entorno particularmente delicado donde las pruebas invasivas pueden aportar afectación a las estructuras existentes y al curso normal de la vida urbana. La información necesaria para la planificación y ejecución de trabajos ingenieriles se obtiene habitualmente mediante sondeos y ensayos geotécnicos estándar, cuya principal limitación es su carácter puntual así como la limitada flexibilidad operativa en ubicarlos y su permisología. Métodos geofísicos, modernos no invasivos y no destructivos permiten complementar y optimizar los métodos convencionales en la obtención de la resolución necesitada por el diseño ingenieril y la minimización de riesgo directos e indirectos asociados al desarrollo de la obra. Adicionales al reconocimiento detallado del terreno, en el caso de un proyecto de transporte urbano masivos, además de comprender el entorno geológico-estructural y su variaciones laterales, se deben identificar puntos singulares que puedan considerarse más problemáticos tales como zonas de rellenos, paleo quebradas rellenadas o zonas alteradas del subsuelo en la proximidad de colectores o de otras obras o edificios. Adicionalmente, los estudios geofísicos pueden contribuir a minimizar accidentes (ruptura de tubería, etc.), identificar posibles riesgos geológicos (fallas, socavaciones, cárcavas..) y contribuir a la evaluación de la amenaza sísmica local.

En el ámbito de desarrollo del proyecto para la construcción de la primera Línea de Metro en Quito (MQ), Ecuador, por solicitud de la Unidad de Negocios Metro de Quito (UNMQ), se iniciaron una serie de estudios geofísicos de caracterización de la ruta de la programada Línea 1. Estos estudios incluyeron medidas de sísmica de refracción por micro tremores (sísmica pasiva) y monitoreo de vibraciones naturales, estudios que han sido programados a fin de optimizar la fase de diseño e ingeniería de detalle y la evaluación del entorno

estudiado.

Las medidas sísmicas de refracción por micro tremores – ReMi fueron programadas para complementar las medidas de sísmica tipo downhole en perforación, en la caracterización sísmo-estratigráfica de toda la ruta, la definición del comportamiento de las ondas de corte (y parámetros geotécnicos asociados) y la identificación de eventuales zonas de riesgo para la construcción.

La finalidad de las medidas de vibraciones fue, de un lado estudiar la respuesta dinámica de los suelos a lo largo de la ruta con fines ingenieriles y de micro zonación sísmica y por el otro medir los niveles base de vibración presentes en el área antes del inicio de la construcción de la obra.

## 2. Metodología Aplicada

### Método de Refracción por Micro Tremores ReMi (Sísmica Pasiva)

El método de sísmica de refracción por micro tremores – ReMi o de análisis de ondas superficiales, utiliza el ruido natural o ruido generado por la actividad humana para caracterizar la distribución de las propiedades sísmicas en el subsuelo asociadas a propiedades geotécnicas. La aplicación de esta tecnología, optima en ambiente urbano e industrial donde se usan las pulsaciones, vibraciones originadas por la actividad antrópicas, factores que limitan la mayoría de los métodos sísmicos convencionales como fuente de la señal, permite el cálculo de la velocidad de propagación de la energía de las ondas superficiales a partir de la cual es posible estimar el perfil de velocidades de ondas de corte ( $V_s$ ). Desde estos se puede definir tipología y espesor de las secuencias sísmo-estratigráficas, su consolidación, determinar profundidad del substrato geotécnico/roca y evaluar también otros parámetros de interés ingenieril y sismológico, respuesta sísmica local – micro zonación y definir parámetros geotécnicos. La representación de los perfiles de ondas de corte en secciones permite visualizar la variación espacial de las velocidades de ondas de corte e identificar singularidades como paleo quebradas, áreas con sedimentos blandos, etc. El conjunto de conocimientos aportado por la información derivada desde esta investigación permite optimizar el uso

TRX Consulting C.A. Avenida Solano López, Centro Solano Plaza II PH-B, Sabana Grande,  
Caracas VENEZUELA Telefax: +58 (212) 7610775 – 7614408 cel phone: +58 (0) 412 6285426  
skype : aldocatardi  
Email: [acataldi@trxconsulting.com](mailto:acataldi@trxconsulting.com) & [info@trxconsulting.com](mailto:info@trxconsulting.com) web <http://www.trxconsulting.com>

# TRX

Producto2\_Síntesis No Técnica-F1.1

consulting

de pruebas invasivas como perforaciones, ciertas decisiones ingenieriles asociada a la profundidad de la rasante del metro, tipología de la construcción e identificar potenciales

zonas de riesgos directos como presencia de singularidades que puedan retrasar o determinar el cambio de alcances en la construcción e indirectos, tales como asentamientos, daños y afectaciones originadas por vibraciones, asociados a la construcción.

#### Método de Vibraciones Naturales

A través de la medición de registros de ruido ambiental, usando sismógrafos especializados, se pueden obtener informaciones sobre la respuesta dinámica de un sitio (como esto responde a sollicitaciones sísmicas) y espesor de los sedimentos blandos y semi blandos sobre un substrato rígido. Los parámetros derivados en esta forma son información básica y contribución esencial para el programa de micro zonación sísmica tanto de la obra Metro como de la Alcaldía de Quito. Los mismos registros de vibraciones, se analizaron para definir los valores de línea base de los efectos de las vibraciones sobre estructuras y personas según normas internacionales. Estas evaluación, a integrarse a mediciones en edificios esenciales (escuelas, hospitales, edificios gubernamentales e históricos) y edificios a lo largo de la ruta clasificados como “sensibles”, permite definir las condiciones previa al inicio de la obra y definir un marco de referencia para el programa de monitoreo y seguimiento en fase de construcción.

### 3. Síntesis Resultados

El estudio geofísico integrado a las perforaciones geotécnicas y ensayos sísmico en pozo, ha permitido integrar a escala urbana datos que han permitido conocer la asociación entre litología y propiedades geotécnicas y geomecánicas del subsuelo. Estos aspectos permiten no solo optimizar el trabajo de diseño de la nueva obra del Metro sino que también contribuye a obtener informaciones como la profundidad del substrato geotécnico (profundidad donde se encuentran condiciones de rigidez/compactación compatibles para la instalación de fundaciones de edificios) y las propiedades de las unidades observadas en la ciudad, definir riesgos y definir parámetros relevantes para la micro zonación sísmica.

En relación a los suelos identificados superficialmente a lo largo de la ruta, se identificaron condiciones que pueden considerarse de terrenos semi blandos. Entre estos, en la zona al sur del Panecillo, se identifican condiciones específicas de suelos blandos asociados a sedimentos de origen lacustre, con espesores de hasta 15-20m que podrían ser asociadas a potenciales riesgos geológicos como asentamiento y licuación (estas condiciones son en curso de evaluación). En el norte, suelos blandos, de similar origen lacustre, son asociadas a espesores menores de 10m. El substrato geotécnico (nivel apto para la fundación) se identifico a profundidades relativamente superficiales (10-20m) en asociación a un horizonte compactado de suelos duros y densos representados por sedimentos antiguos y las unidades de origen volcánica de la formación Cangahua. En la zona del centro histórico se observan condiciones geotécnicamente más favorables con suelos y substratos rígidos también en superficie.

En relación a posibles riesgos geológicos se identificaron quebradas y paleo quebradas, zonas de rellenos y posiblemente dos discontinuidades asociadas a Fallas o transiciones litológicas en la zona del Machangara (Recreo) y El Egido.

En términos de micro zonificación sísmica, el análisis de los periodos predominantes de vibración con bajos valores indica la presencia de una capa superficial semiblanda, poco espesa y la presencia de un substrato a poca profundidad en coherencia con lo definido por la sísmica. Como se ha mencionado, la distribución y clasificación de suelos en el área urbana reporta la presencia de suelos semi densos y rígidos con condiciones de menor rigidez hacia el sur. Mientras un substrato geotécnico es claramente evidente entre los 10 y 20m de profundidad, la transición a roca (según definición normativa) estaría a 84 m de

profundidad en el sur y 55m en el norte. La roca, sensu stricto, el basamento volcánico, estaría a 198 m en el sur y 259 m en el norte. Estos datos, más la secuencia sísmica estratigráfica, son de vital importancia para la evaluación de la amenaza sísmica a escala urbana, estudios que son coordinados por la Alcaldía de Quito y las otras instituciones competentes.

TRX Consulting C.A. Avenida Solano López, Centro Solano Plaza II PH-B, Sabana Grande, Caracas VENEZUELA Telefax: +58 (212) 7610775 – 7614408 cel phone: +58 (0) 412 6285426  
skype : aldocatardi  
Email: [acataldi@trxconsulting.com](mailto:acataldi@trxconsulting.com) & [info@trxconsulting.com](mailto:info@trxconsulting.com) web <http://www.trxconsulting.com>

# TRX

Producto2\_Síntesis No Técnica-F1.1

## consulting

Estudios complementarios experimentales preliminares de respuesta sísmica local (modelado determinista) indicaron que según escenarios de amenaza sísmica clásicos las mayores aceleraciones horizontales en superficie serían de esperarse en caso de sismos cercanos en condiciones de mayor rigidez de los perfiles de suelos. El efecto de diferentes sollicitaciones sísmicas sobre las zonas blandas en el sur está en curso de evaluación,

Las medidas de vibraciones naturales han sido usadas también para evaluar las condiciones de línea base de vibraciones en afectaciones a personas y edificios. Usando como referencia la norma alemana DIN 4150, se han definidos condiciones preliminares a lo largo de la ruta. Estas evaluaciones completadas a lo largo de la ruta están aún en curso de desarrollo para edificaciones esenciales, tales como escuelas, hospitales, edificios gubernativos y del patrimonio histórico de la ciudad de Quito.

#### 4. Conclusiones y Recomendaciones

En el ámbito del estudio de caracterización de la ruta de la línea 1 del metros Quito, la combinación del uso de métodos no invasivos, como la sísmica de refracción por micro tremores y vibraciones naturales, conjuntamente a su integración con pruebas sísmicas de pozo (downhole) y geotécnicas clásica a escala urbana ha permitido definir una imagen mas precisa del entorno geotécnico de la ciudad de Quito. La información geofísica ha contribuido adicionalmente a aclarar algunos puntos de la visión macro (profundidad “roca”), de la micro sísmico local de la ciudad y la definición de zonas con potenciales riesgos asociados a sedimentos blandos. Los estudios integrados multi disciplinarios representan un punto de arranque para estudios adicionales que, involucrando a la comunidad científica local, permitirán la optimización del uso de esta información y su inclusión en decisiones estratégicas de desarrollo urbano y mitigación de riesgos.

TRX Consulting C.A. Avenida Solano López, Centro Solano Plaza II PH-B, Sabana Grande, Caracas VENEZUELA Telefax: +58 (212) 7610775 – 7614408 cel phone: +58 (0) 412 6285426  
skype : aldocatardi

Email: [acataldi@trxconsulting.com](mailto:acataldi@trxconsulting.com) & [info@trxconsulting.com](mailto:info@trxconsulting.com) web <http://www.trxconsulting.com>