

# Tomografía Sísmica de Refracción para Diseño de Viaducto sobre el Río Chagres – República de Panamá

Rinaldi, V.A.<sup>(1)</sup> – Imhof, A.L.\*<sup>(2)</sup> – Viguera, R.F.<sup>(3)</sup> – Ibarra, H.<sup>(4)</sup>

(1) *Depto. de Geotecnia – UNCOR, Argentina, vrinaldi@com.uncor.edu*

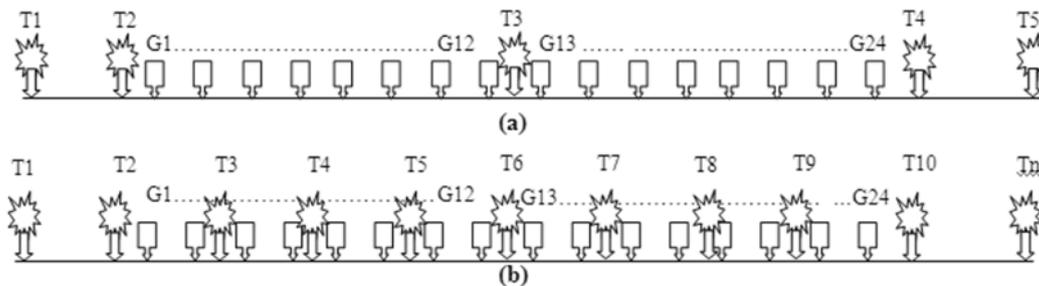
(2) *Depto. de Geofísica – Inst. Geofísico S. Volponi – FCFN-UNSJ, aimhof@unsj.edu.ar*

(3) *CIM GROUP Inc., Argentina Panamá, cimba@ciudad.com.ar*

(4) *LOUIS BERGER GROUP Inc., Panamá, hibarra@louisberger.com*

Se llevó a cabo un estudio geofísico de refracción para evaluar el fallamiento del techo de roca que se presenta en el cruce del Río Chagres a la salida del vertedero y las esclusas del lago Gatun del canal de Panamá en dirección hacia el océano Atlántico; en la República de Panamá. La estratificación geológica en la zona de estudio es dominada por sedimentos marinos y fluviales no consolidados de limos y arcillas arenosas con elevado contenido orgánico denominados Atlantic Muck que yacen sobre la Formación Gatún que puede describirse en forma generalizada como una arcilita a limolita con cementación variable en donde aparecen en forma aislada niveles muy débiles. El ambiente muestra síntomas de tectonismo con fallas en dirección predominante NO-SE [1].

Se llevaron a cabo 10 tendidos sísmicos alineados en forma transversal y a ambos lados del río Chagres a fin de configurar un perfil de 10.000 metros de longitud aproximadamente, con el objetivo de obtener información del techo de roca y espesores sedimentarios. Como fuente de emisión y debido a la necesidad de alcanzar profundidades superiores a los 90 metros en zona vadosa (i.e. muy dispersiva de ondas sísmicas); se utilizó percusión con cañón Tamper [2] impulsado con gas nitrógeno lo que permitió alcanzar la energía necesaria [3]. El sísmógrafo empleado fue un Geometrics GEODE de 24 canales de registro con resguardo de los datos a PC netbook. La distancia entre geófonos fue de 5 m (ver Figura 1).

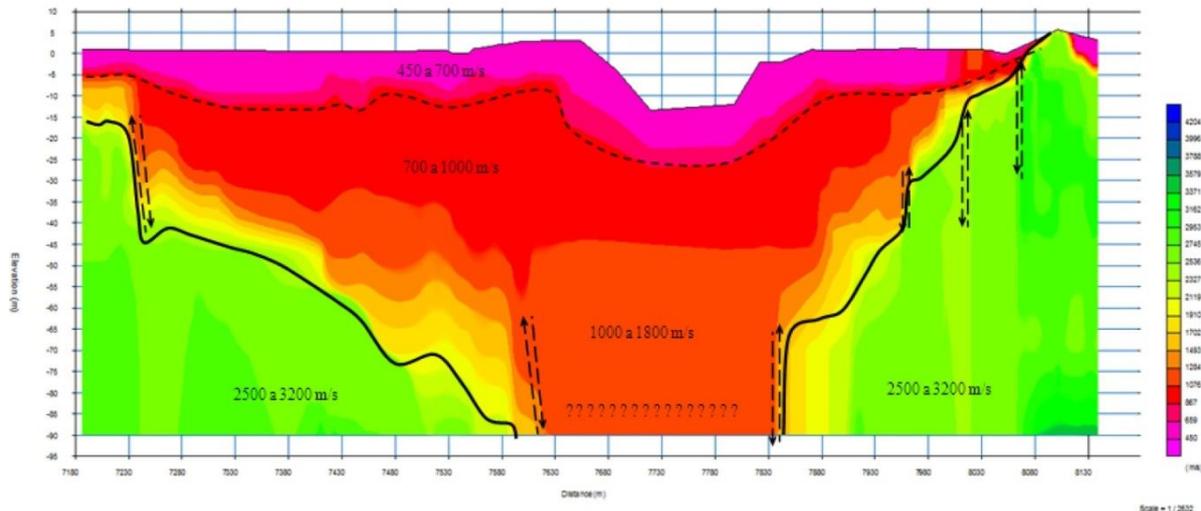


**Figura 1.** Esquema de dispositivos empleado para el estudio de refracción sísmica utilizando (a) 5 disparos con punto medio; (b) 10 disparos con 6 intermedios.

En cada uno de los tendidos sísmicos descritos se efectuaron 5 a 10 disparos a fin de coleccionar datos con una precisión acorde a lo solicitado. La configuración de geófonos y disparos se determinó en campo en pruebas previas y de acuerdo a la disponibilidad de espacio. Los registros obtenidos en campo fueron procesados e interpretados con detalle en gabinete utilizando los programas computacionales Pickwin y Plotrefa de Geometrics.

Los registros fueron estudiados señal por señal, a los fines de evaluar la calidad de las mismas y la coherencia. Las señales originales en campo fueron filtradas en el ancho de banda de los sensores, a los fines de eliminar ruidos de línea, extraños a las mediciones. De los registros procesados, se determinaron manualmente los tiempos de arribo de las ondas de compresión mediante el programa computacional Pickwin. Con los primeros arribos se determinaron las dromocronas, a partir de cuyo análisis se obtuvieron los perfiles transversales. Para esto se empleó el software Plotrefa de procesamiento tomográfico de ondas P. El programa emplea la rutina iterativa de minimización por cuadrados mínimos para aproximar los tiempos

calculados del modelo con los medidos en campo. En este programa se introdujeron la cotas y coordenadas horizontales relevadas en campo provista por el relevamiento topográfico. El perfil sísmico fue interpretado empleando un programa de imágenes genérico que permite el trazado de líneas divisorias y rotulaciones. Los modelos finales se representaron en forma de perfiles sísmicos, con información de las variaciones laterales y en profundidad de la velocidad de onda compresional (Figura 2).



**Figura 2:** Interpretación integrada de los 5 perfiles sísmicos refractivos. Método tomografía sísmica

Todos los tendidos realizados en este trabajo presentan un perfil de velocidades crecientes en profundidad. Los sedimentos no consolidados a ligeramente consolidados y saturados se les pueden atribuir una velocidad de propagación de entre 500 m/s y hasta valores de 1000 m/s. Estos materiales aumentan su espesor hacia el eje del río reduciéndose a medida que se aleja hacia los márgenes de la planicie de inundación. Materiales con mayor contenido de arenas y/o mayor nivel de estructuración pueden encontrarse con valores de velocidad de propagación entre 1000 m/s y 1800 m/s. Velocidades de propagación entre 1800 m/s y 2500 m/s se pueden asociar a materiales muy consolidados y a la formación Gatún muy alterada y/o fracturada. Esta transición es difícil de atribuir a un material específico debido a una superposición de rangos de velocidades. Las velocidades de propagación mayores a 2500 m/s se atribuyen a una roca en buenas condiciones estructurales como se muestra en la tomografía de la sección. Valores transicionales contornean la superficie atribuida al techo de roca y puede atribuirse en mayor grado a transiciones producto de alteración y/o fracturación por tectonismo.

La tomografía sísmica obtenida no solo permitió visualizar las transiciones estratigráficas en dirección vertical sino además fué posible realizar estimaciones sobre variaciones laterales observadas. En Figura 2, las flechas de cizalla indican probabilidad de presencia de fallas de tipo subverticales. En total se han identificado cinco sectores con variaciones horizontales significativas de la velocidad de propagación. En el lecho del río no se ha observado la presencia de un refractor importante hasta la profundidad alcanzada por este estudio. Se estima que esta falta de refractor puede deberse a la presencia de las fallas o discontinuidades laterales en las márgenes del río que no permitieron el paso del tren de ondas y/o a un elevado grado de fracturación de la roca en ese sector que podría describirse como un sector donde se desarrolla una posible falla de importante magnitud. Por tal motivo se ha incluido en la imagen signos de interrogación para indicar la falta de definición de la imagen en este sector. Los resultados obtenidos se corroboraron mediante perforaciones con muestreo dirigidas, lo cual permitió validar el método empleado y reconocer sus limitaciones.

## REFERENCIAS

- [1] Environmental Impact Study. Panama Canal Expansion Project –URS Holdings, Inc.(2007)
- [2] Imhof, A.; Sánchez, M.; Calvo, C & Martín, A., 2011, Application of seismic refraction tomography for tunnel design in Santa Clara Mountain, San Juan, Argentina. ESRJ. **15**(2) (December, 2011): 81-88
- [3] Herbst, R; Kapp, I; Krummel, H & Luck, E. 1998. Seismic sources for shallow investigations: A field comparison from northern Germany. Journal of Applied Geophysics, **38**, 301-317.