

9. MEDICIONES DE REFRACCIÓN SÍSMICA

9.1 EQUIPO DE REFRACCIÓN

En diciembre de 1998 el OSSO recibió en calidad de donación por parte de la Empresa de Energía del Pacífico – EPSA, un equipo de refracción sísmica. El equipo fue completado con los diversos aditamentos necesarios para los ensayos en campo, como porra, plato de golpe, geófonos triaxiales y cables de extensión. A continuación se describen todas las componentes del equipo.

9.1.1 Fuente de generación de ondas sísmicas.

Porras. De 10 y 20 lb con mango en madera fina.

Cable para *trigger*. Compuesto por un sensor piezoeléctrico conectado a un cable de 200 metros de largo.

Plato de golpe redondo. Plato redondo de acero de 21 cm de diámetro y 3 cm de espesor (Figura 48).

9.1.2 Detección de los movimientos del terreno.

Cables sísmicos.

Dos cables de 180 metros de largo, cada uno con conexiones para 12 canales, espaciadas 15 metros (Figura 49).

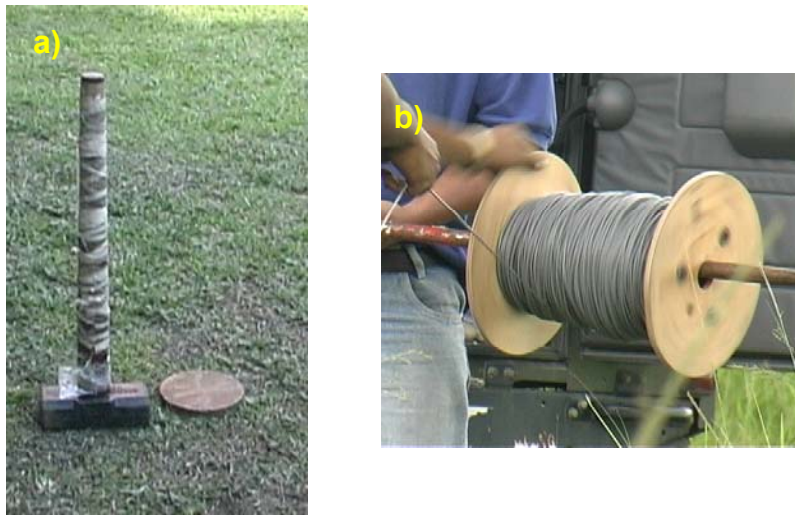


Figura 48. (a) Porra y plato de golpe. (b) Cable de extensión del *trigger*.

Sensores de velocidad verticales.

Marca: OYO

Modelo: GS20Dx

Frecuencia natural: 10 Hz.

Respuesta plana entre 28 y 500 Hz.

Constante de transducción: 0,280 V/cm/s

Amortiguamiento: 0,3 crítico

Cables de conexión de dos metros de longitud.

Sensores de velocidad triaxiales.

Marca: Geospace

Modelo: GS20DM

Frecuencia natural: 28 Hz

Respuesta plana entre 28 y 500 Hz

Constante de transducción: 0,151 V/cm/s

Amortiguamiento: 0,6 crítico

Cada componente de movimiento de los sensores triaxiales (Figura 50) tiene sus respectivos cables de conexión. De fábrica vinieron con longitud de 2 m, pero luego fueron adaptadas extensiones de hasta 15 metros en dos de las componentes para alcanzar el máximo del tendido de los cables sísmicos.



Figura 49. Cables sísmicos durante el tendido de la línea de refracción.



Figura 50. Sensor triaxial.

9.1.3 Adquisición y almacenamiento.

Sismógrafo apilador (unidad de adquisición).

Marca: Oyo Corporation.

Modelo: McSeis-170f.

Unidad de adquisición, digitalización y almacenamiento en disco blando. Tiene 24 canales para intervalos de muestreo desde 50 μ s hasta 5000 μ s. Amplificadores de punto flotante instantáneo; filtros digitales y control automático de ganancias, entre otros (Figura 51 izq).

Batería 12 v. Para alimentación de la unidad de adquisición.



Figura 51. Unidad de adquisición (izq) y batería de alimentación (der)

9.1.4 Lectura tiempos de llegada en campo.

Computador portable.

Para facilitar la lectura de los tiempos de llegada de la onda P. La resolución ofrecida por la pantalla de la unidad de adquisición no es muy buena, por lo que en campo se utilizó una computadora portable con una rutina escrita en el paquete MatLab y un entorno de cálculo técnico de MathWorks Inc¹⁷. La rutina se usa para desplegar los sismogramas registrados en cada geófono. La resolución ofrecida por la pantalla de la computadora junto con las opciones de *zoom* y la facilidad de desplegar las señales por separado, permiten un trabajo

¹⁷ 1984-1998: vr. 5.2

mas eficiente en campo, ya que se puede saber con mayor certeza cuando hay una señal de llegada de ondas P buena, y cuándo se puede ir deteniendo el apilamiento de las señales en cada canal.

9.2 SELECCIÓN DE SITIOS DE MEDICIÓN

La selección de sitios para la realización de ensayos de refracción sísmica en entornos urbanos está limitada por la cantidad y accesibilidad de zonas descubiertas - o zonas verdes - con suficiente extensión - de 100 a 300 m -. Las relaciones de velocidades entre diferentes capas y las profundidades y espesores de estas determinan la longitud del tendido de refracción que permitirá obtener información completa de cada capa. De tal manera que la extensiones de terrenos disponibles en el área de estudio limitan los alcances de la aplicación del método y por ende la profundidad de exploración. El área de estudio está completamente urbanizada por lo que la disponibilidad de dichas zonas se limita a algunos parques y algunas canchas de fútbol.

En el marco de este proyecto las mediciones de refracción sísmica tienen dos objetivos principales: (1) la búsqueda de refractor que implique un cambio importante de las velocidades, y (2) medición de velocidades de propagación de las ondas S y P.

Para ésto se realizaron mediciones en tres sitios en la zona de estudio y en uno fuera de ésta con fines comparativos de las mediciones con otros depósitos sedimentarios.

Se realizaron mediciones de velocidad de propagación de onda P con tendidos de refracción sísmica con geófonos de componente vertical, y mediciones de propagación de onda S con tendidos de geófonos de tres componentes.

Los sitios de medición y las características generales de los ensayos realizados se incluyen en la Tabla 12 y se encuentran ubicados en el mapa de la Figura 52.

Tabla 12. Ensayos de refracción sísmica

ID	Sitio	Tipo sensor	Longitud tendido	Zona
Mediciones de velocidad de onda P				
RS#7	Coliseo El Pueblo	Verticales	192,5	Estudio
RS#8	Iglesia Tequendama	Verticales	140,0	Estudio
RS#14	Colegio Politécnico	Verticales	296,0	Estudio
RS#10	Univalle Biblioteca	Verticales	167,5	Meléndez
Mediciones de velocidad de onda S				
RS#11	Univalle Sólidos	Triaxiales	135,0	Estudio
RS#15	Coliseo El Pueblo	Triaxiales	135,0	Estudio
RS#17	Colegio Politécnico	Triaxiales	135,0	Meléndez
RS#11	Univalle Sólidos	Triaxiales	135,0	Estudio

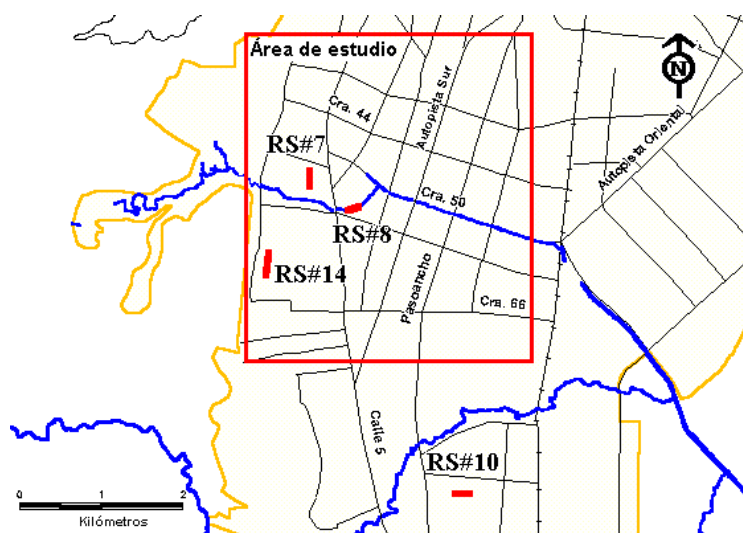


Figura 52. Localización ensayos de refracción sísmica.

9.3 MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE LA ONDA P

A continuación se describen cada uno de los sitios de medición y los ensayos realizados. En este capítulo se entenderá por *ensayo*, el conjunto de golpes

realizados con la porra en cada uno de los puntos de disparo. Cada ensayo corresponde con un tendido directo, reverso o intermedio según sea el caso.

9.3.1 Coliseo El Pueblo (RS #7)

Ubicación.

En inmediaciones del Coliseo El Pueblo, aproximadamente 100 metros al norte del cauce del río Cañaveralejo. El tendido se ubicó perpendicular al río, con orientación hacia el Norte (Figura 53).

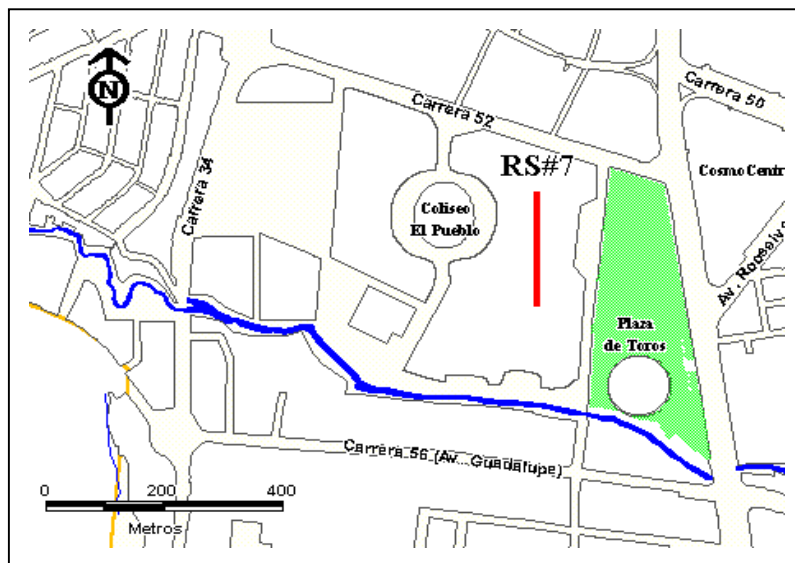


Figura 53. Ubicación tendido refracción sísmica Coliseo El Pueblo

Diagrama del tendido y ensayos.

Se realizaron 3 ensayos con puntos de disparo en los extremos del tendido y en el centro, así:

						→ N
Nombre						
Ensayo	160		156		159	
	_____		_____			
Canales	C12	...	C1	C13	...	C24

Espaciamiento entre geófonos 7,5 m.

Ensayos, parámetros y lecturas.

Ensayo #156.

Punto de golpe: 0 m (centro del tendido = 3.75 m de c1 y 3.75 m de c13)

Porra: 20 lb.

Muestreo: 500 μ s

Señales apiladas: 6

Ensayo # 160.

Punto de golpe: 10 m del canal 12.

Porra: 20 lb.

Muestreo: 1000 μ s

Señales apiladas: 80

Ensayo # 159.

Punto de golpe: 10 m del C24.

Porra: 20 lb.

Muestreo: 500 μ s

Señales apilada: 61

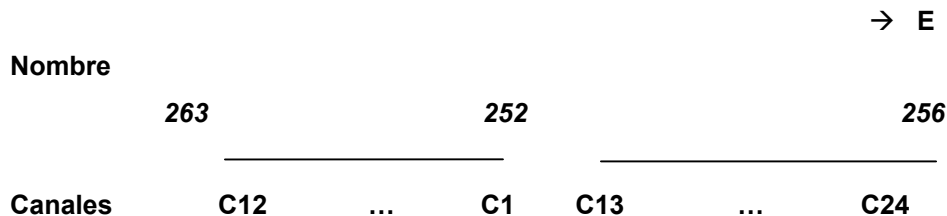
9.3.2 Iglesia Tequendama (RS#8)

Ubicación.

Se realizó en un terreno contiguo a la iglesia del barrio Tequendama, ubicada en el cruce (en L) entre la carrera 55 con la Calle 6A. La línea sísmica se tendió aproximadamente paralela al río a una distancia de 5 m (Figura 54).

Diagrama del tendido y ensayos.

Se realizaron tres ensayos dos en los extremos del tendido y uno al centro, como se ilustra a continuación:



El espaciamiento entre geófonos fue 5 metros.

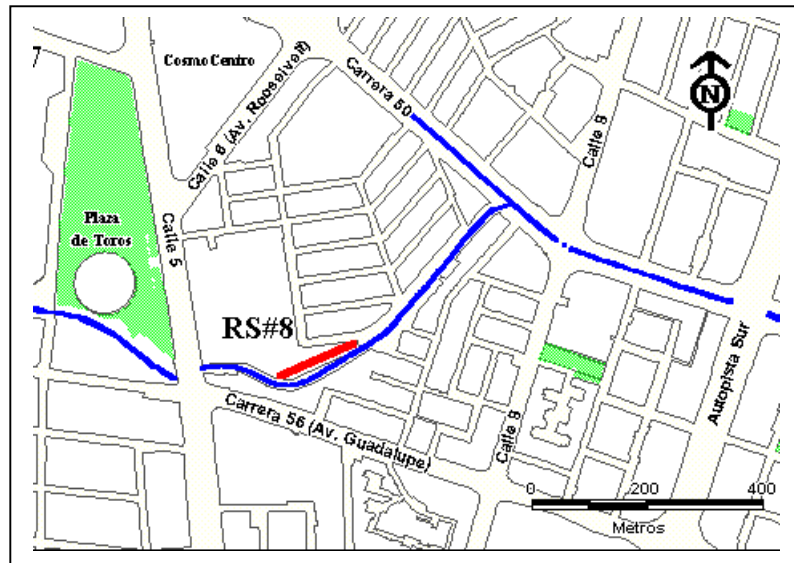


Figura 54. Ubicación tendido refracción sísmica Iglesia Tequendama

Parámetros y lecturas.

Ensayo #252.

Punto de golpe: 0 m (centro del tendido= 2.5 m de c1 y 2.5 m de c13)

Porra: 20 lb

Muestreo: 500 μ s

No. de señales apiladas: 116.

Ensayo #263.

Punto de golpe: Este, 10 m del C12.

Porra: 10 lb.

Muestreo: 500 μ s

No. de señales apiladas: 184.

Ensayo #256.

Punto de golpe: Este, 10 m del c24.

Porra: 10 lb.

Muestreo: 500 μ s

No. de señales apiladas: 220.

9.3.3 Colegio Politécnico (RS#14).

El tendido se realizó en predios del Colegio Politécnico Municipal, en la porción W del terreno paralelo a la calle 1A, con rumbo N 15° E. Tuvo una longitud de 280 metros (Figura 55).

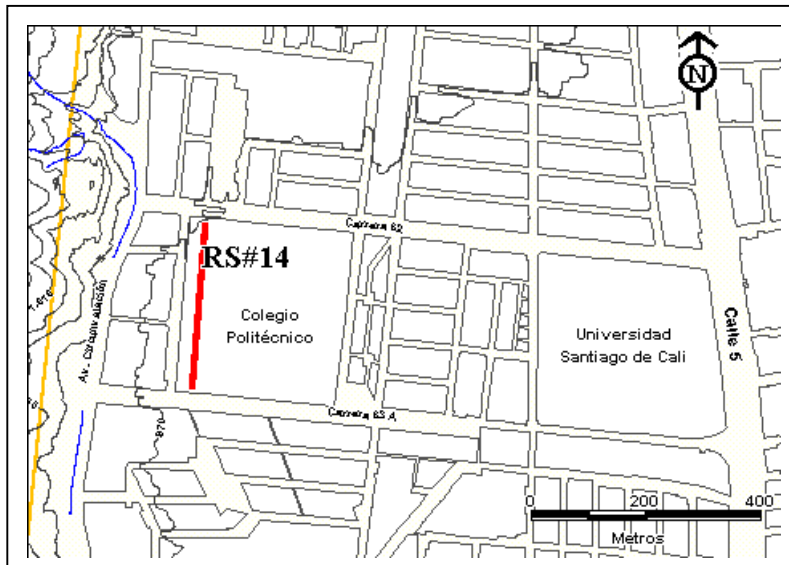
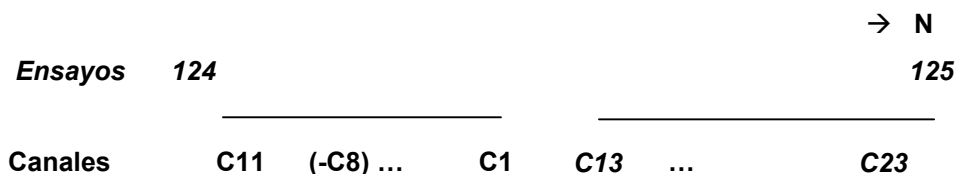


Figura 55. Ubicación del tendido refracción sísmica, Colegio Politécnico.

Diagrama del tendido y ensayos.

Se realizaron 2 ensayos ubicados en los extremos del tendido a 8 metros del geófono más cercano en cada extremo.



Espaciamiento entre geófonos de 14 metros. No se incluyeron en el diseño del tendido los canales 8 y 12 ya que se encuentran dañados, dando lugar a un tendido de 22 geófonos.

Parámetros y lecturas.

Ensayo #124.

Punto de golpe: a 8 metros del geófono 23.

Porra: 10 lb

Muestreo: 1000 μ s

Señales apiladas: 150

Ensayo #125.

Punto de golpe: a 8 metros del geófono 11.

Porra: 10 lb

Muestreo: 1000 μ s

Señales apiladas: 150

Durante la interpretación y cálculo de los datos de los ensayos #124 y #125 se encontró una incongruencia (§ 9.3.5) en las curvas t-x obtenidas por lo cual se decidió repetir uno de los ensayos. A continuación la descripción.

Ensayo #133 (repetición Colegio Politécnico)

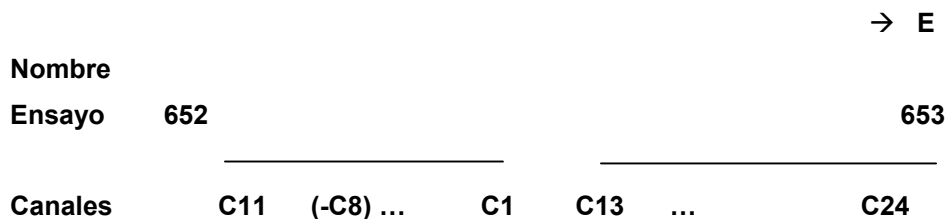
Punto de golpe: a 5 m del canal 23
 Porra: 20 lb
 Muestreo: 2000 μ s
 No. de señales apiladas: 161

9.3.4 Univalle Biblioteca (RS#10)

Se realizó un ensayo en los terrenos de la Universidad del Valle, sede Meléndez detrás del edificio de la Biblioteca Mario Carvajal. El tendido tuvo una orientación E-W (Figura 56).

Diagrama del tendido y ensayos.

Se realizaron dos ensayos en los extremos del tendido como se ilustra a continuación.



El distanciamiento entre geófonos fue 7,5 m.

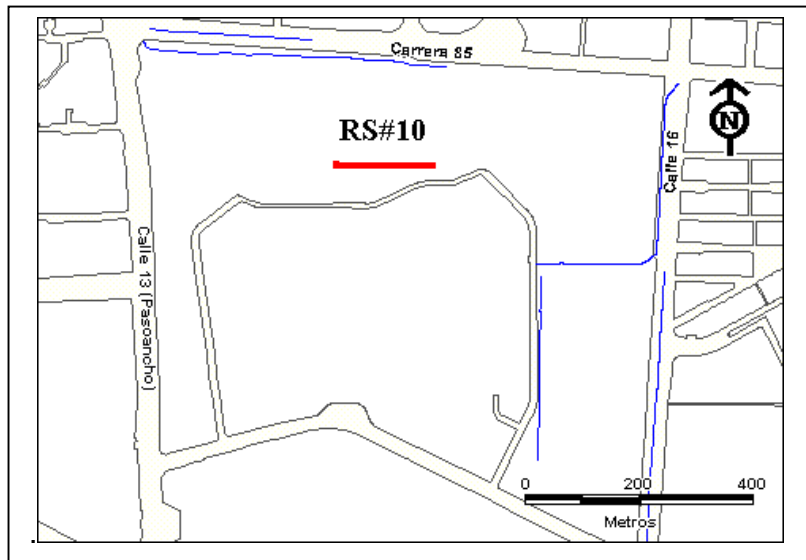


Figura 56. Ubicación tendido refracción sísmica Biblioteca UV.

Ensayos.

Ensayo #652.

Punto de golpe: a 5 m del canal 24
 Porra: 20 lb
 Muestreo: 500 μ s
 No. de señales apiladas: 50

Ensayo #653.

Punto de golpe: a 5 m del canal 11
 Porra: 20 lb.
 Muestreo: 500 μ s
 No. de señales apiladas: 50.

9.3.5 Procesamiento de señales, interpretación y cálculo.

Con los tiempos de llegada de las ondas P a cada geófono en cada ensayo, se procedió a realizar las curvas tiempo - distancia (t-x) para cada sitio de medición. Estas curvas se realizaron en papel milimetrado que permite mayor detalle en el momento de trazar las dromocronas y hacer las lecturas de los tiempos de intercepto. En este documento se presentan las gráficas t-x con los resultados de interpretación de las dromocronas y las curvas tiempo - distancia originales.

Con base en las dromocronas se procedió a hacer el cálculo de los perfiles por el método de las velocidades aparentes. A continuación se muestran cada una de las curvas tiempo distancia y los cálculos de las velocidades y profundidades.

Coliseo El Pueblo (RS#7).

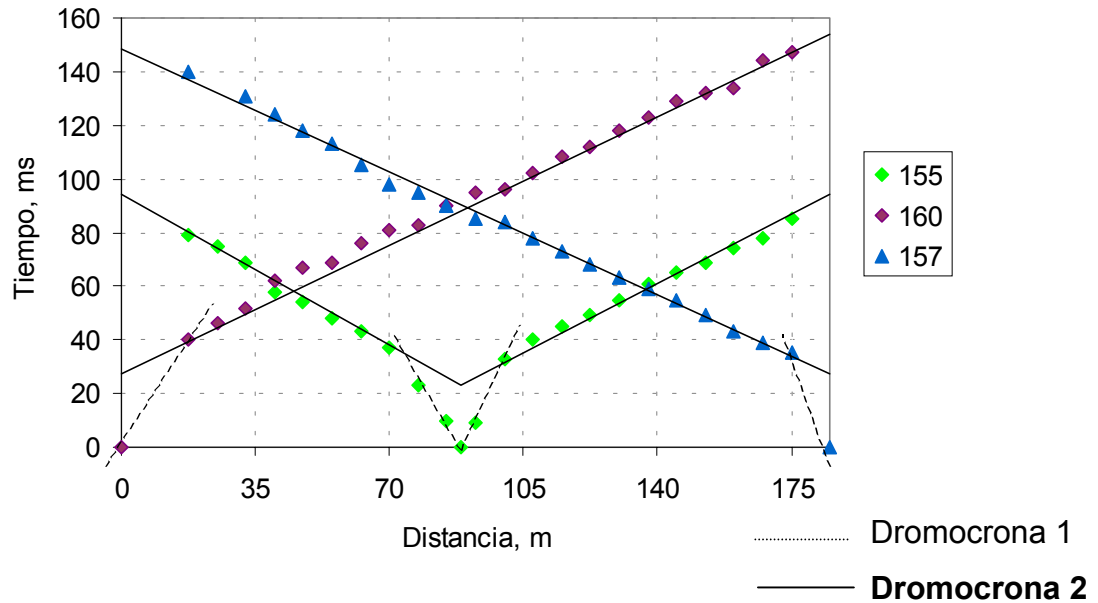


Figura 57. Curvas t-x para Coliseo con geófonos verticales

Se identificaron dos tipos de dromocronas, una por tiempos de llegada de ondas directas en la capa más superficial (dromocrona 1) y una por ondas refractadas (dromocrona 2). De la curva tiempo distancia se obtienen las velocidades aparentes de la primera dromocrona y de la segunda (v_1 , v_{2a} y v_{2d}) así:

$$v_{1a} = 285, v_{1d} = 303, v_1 = 294 \text{ m/s}$$

longitud tendido = 192.5 m

$$t_{a1} = 0,029, t_{d1} = 0,0275$$

$$v_{2a} = 1552, v_{2d} = 1534.$$

Por el método de las velocidades aparentes se obtiene que:

$$i_1 = 0,191945 \text{ y } \alpha_1 = 0,001168, \text{ entonces } h_a = 4,3, h_d = 4,1 \text{ y } v_2 = 1543 \text{ m/s}.$$

Iglesia Tequendama (RS#8).

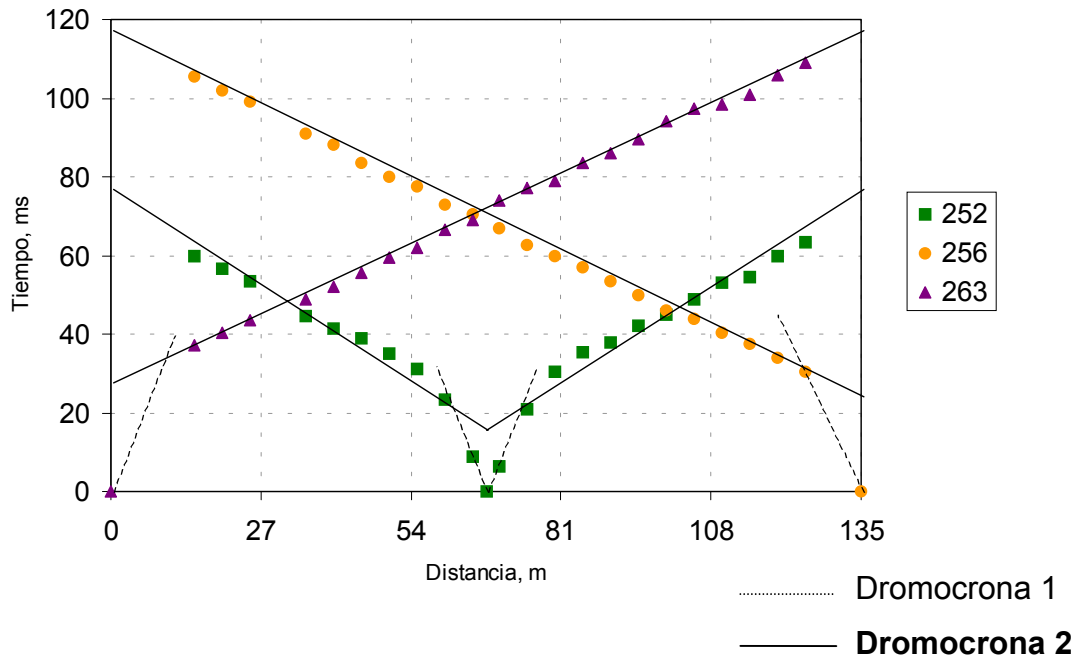


Figura 58. Curvas t-x para Iglesia con geófonos verticales

Se identificaron dos dromocronas, una por tiempos de llegada de ondas directas y una por ondas refractadas. De la curva tiempo distancia se obtienen las velocidades aparentes de la primera dromocrona y de la segunda (v_1 , v_{2a} y v_{2d}) así:

$$v_{1a} = 327, v_{1d} = 318, v_1 = 323 \text{ m/s}$$

longitud tendido = 67,5 m

Primer refractor.

$$t_{a1} = 0,024, t_{d1} = 0,022$$

$$v_{2a} = 1500, v_{2d} = 1467.$$

Por el método de las velocidades aparentes se obtiene que:

$$i_1 = 0,219502 \text{ y } \alpha_1 = 0,002452, \text{ entonces } ha = 4,0, hd = 3,6 \text{ y } v_2 = 1484 \text{ m/s}$$

Colegio Politécnico RS#14 y RS#16

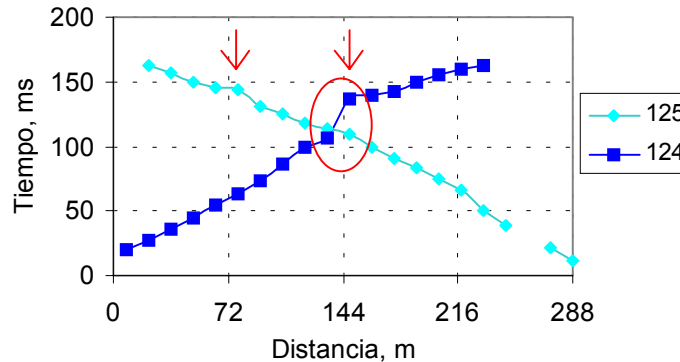


Figura 59. Curvas Colegio Politécnico, sensores verticales

En el proceso de interpretación de las lecturas de llegada de la onda P, se identificó una incongruencia en ambos ensayos (124 y 125). Por un lado el salto en el tiempo (circulo) hacia los 144 metros del ensayo #124 (Figura 59) y por otro el cambio en la pendiente de las dromocronas a partir de los puntos señalados con las flechas. Ambos podrían tener una explicación física: el “salto” podría deberse a rugosidad del refractor o a un escalón, pero el conjunto sugiere que hubo un corrimiento de algún sensor.

Por estas razones, para tener más seguridad de las mediciones, se repitió el ensayo con el mismo tendido sísmico procurando ubicar los sensores en los mismo sitios, para lo cual sirvieron de referente los límites de las canchas de fútbol y los árboles. La idea era realizar de nuevo el ensayo para descartar, o no, el corrimiento de algún sensor. Para esto lo mejor era empezar por el ensayo #124, de tal manera que si se identificaba de nuevo el “salto”, se procedía no solo a repetir el ensayo #125 sino a hacer un ensayo intermedio.

Tal no fue el caso, ya que al hacer de mediciones nuevamente (RS#16), un ensayo similar al #124 (#132) no mostró ni el salto ni el cambio de pendiente (Figura 60).

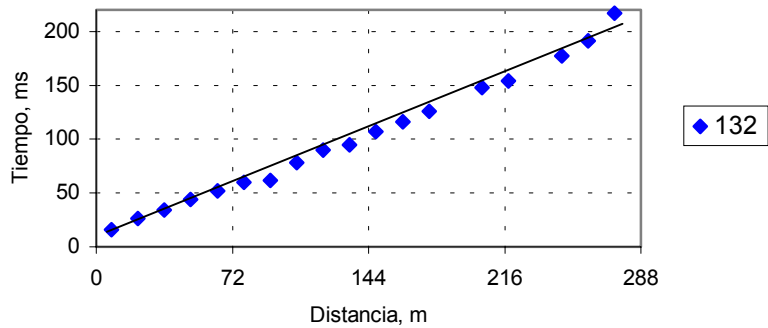


Figura 60. Curva t-x ensayo #132 en Politécnico

Finalmente se puede concluir que existen dos dromocronas, la primera conformada por las ondas directas, y la segunda por las ondas refractadas de una segunda capa.

Los cálculos se realizaron por el método del tiempo de intercepto para el ensayo #132 obteniendo los siguientes resultados:

CP1=500 m/s

CP2 = 1440 m/s

Además se realizaron cálculos por el método de las velocidades aparente para los primeros 10 geófonos de los ensayos #124 y #125, encontrando los siguientes resultados:

CP1 = 533 m/s

CP2 = 1482 m/s

Profundidad refractor 1 = 3,3 m

Biblioteca (RS#10).

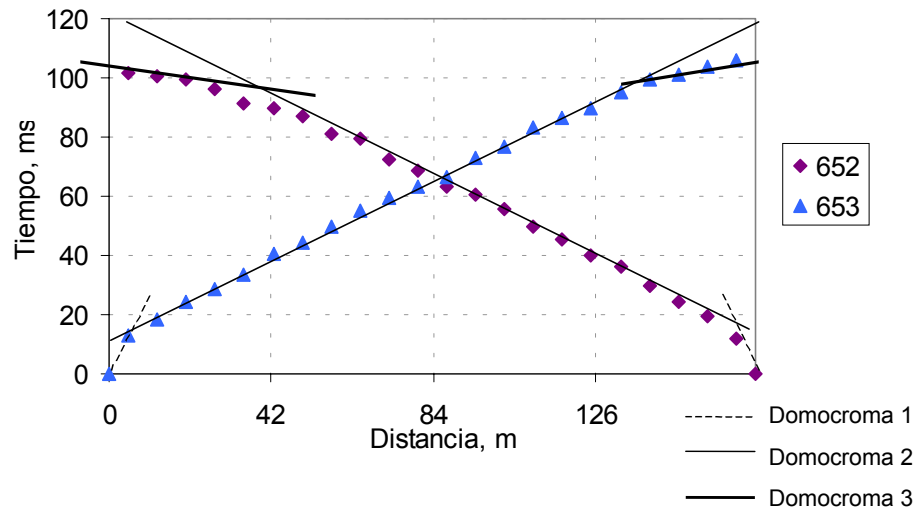


Figura 61. Curvas t-x para Biblioteca con geófonos verticales

Se identificaron 3 domocronas (Figura 61), la primera formada por los tiempos de llegada de las ondas directas, y las otras dos conformadas por ondas refractadas.

Primer refractor.

Por el método de una sola capa horizontal se obtiene que

$$v_1 = 385 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 1509 \text{ m/s}$$

$$h_1 = 1.8 \text{ m}$$

Segundo refractor.

Utilizando los valores hallados para la primera capa y aplicando el método de las velocidades aparentes con los siguientes datos: $t_{2a} = 0,06 \text{ s}$, $t_{2d} = 0,067$, $v_{3d} = 3541$, $v_{3a} = 4545 \text{ m/s}$, se obtiene que:

$$h_a = 43 \text{ m} , h_d = 49 \text{ m} , v_3 = 3959 \text{ m/s}$$

9.4 RESULTADOS.

Las velocidades y los espesores de las capas obtenidos se resumen en la Tabla 13.

Tabla 13. Resultados de mediciones de la onda P.

	Coliseo		Iglesia		Politécnico		Biblioteca	
	CP	h	CP	h	CP	h	CP	h
	m/s	M/s	m/s	M/s	m/s	M/s	m/s	M/s
Primera	294	4,2	323	3,8	533	3,3	385	1,8
Segunda	1543	--	1484	--	1482	--	1509	46
Tercera	--	--	--	--	--	--	3959	--

En todos los ensayos aparece un refractor a poca profundidad con velocidad cercana a la velocidad de las ondas P en el agua. El refractor corresponde con el nivel freático y varía entre los 2 y los 4 metros de profundidad. La capa de suelo por encima del nivel freático (o refractor) presenta velocidades de onda P entre 294 y 385 m/s.

En Biblioteca, además del refractor del nivel freático, es posible identificar un segundo refractor con velocidades del orden de 3960 m/s a 46 metros de profundidad. Esta velocidad usualmente está asociada con rocas duras del Terciario, más que con depósitos sedimentarios. La información disponible del pozo CVC *vc191* (h=220 m) indica que aunque efectivamente a los 50 metros de profundidad (aprox.) se encuentra cambio brusco en el material de suelo conformado por arenas y arcillas, este no corresponde a un refractor rocoso sino a depósitos sedimentarios de gravas, arenas y cantos rodados, los cuales suelen tener velocidades máximas de 2000 m/s. De todos modos es posible identificar (Figura 61) en los datos originales una ligera curvatura – cóncava hacia abajo – asociada con incremento lineal de la velocidad lo cual es característico de suelos antiguos y consolidados.

Los ensayos realizados en la zona de estudio (Iglesia, Coliseo y Politécnico) no muestran ningún refractor relacionado con un cambio importante del material. Por esto se vio necesario estimar la profundidad explorada hasta la cual no hay un segundo refractor. Para tales fines se escogió en la zona de estudio el ensayo Coliseo y se supuso un refractor justo donde se termina la dromocrona 2, lo cual implica suponer la pendiente de la dromocrona, es decir, suponer la velocidad de refractor. Con esto se pueden hallar los tiempos de intercepto en las curvas tiempo-distancia respectivas para cada punto de disparo.

En primera instancia se supuso una velocidad igual a la velocidad del segundo refractor en Biblioteca, es decir 3960 m/s. Calculando por velocidades aparentes, esto daría una profundidad promedio de 65 m para Coliseo. Mientras que suponiendo una velocidad de 1800 m/s, solo un poco por encima de la velocidad de la capa 2 que oscila alrededor de 1500 m/s, la profundidad de exploración sería mínimo 28 m. Suponiendo otras velocidades para la tercera capa se obtienen otras profundidades como se ilustra en la Figura 62.

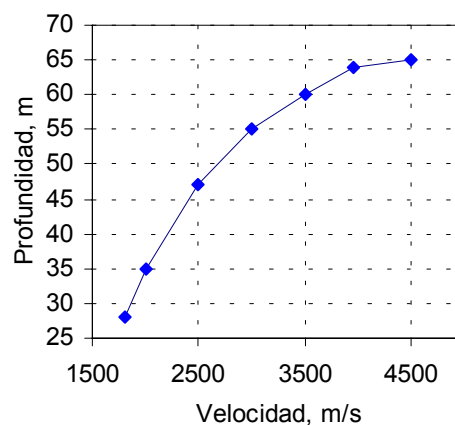


Figura 62. Estimación de la profundidad al refractor en Coliseo

9.5 MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE ONDA S

Se realizaron mediciones en dos sitios en la zona del proyecto y en uno fuera de ésta, para efectos de comparación con otros depósitos sedimentarios.

Como las mediciones de onda P, realizadas previamente, no mostraron en el área de estudio un refractor relevante mas allá del correspondiente con el nivel freático (con excepción de Biblioteca, por fuera del área de estudio), para el diseño de las mediciones de onda S se consideró necesario realizar tendidos solamente a la mitad de la máxima longitud del tendido (o del terreno, en el caso que fuera menor), con un solo punto de disparo.

Cada uno de los canales se conectó a cada una de las componentes de los geófonos triaxiales, lo que implicó el uso de 4 geófonos para el total de 12 canales. En los casos de las mediciones en el área de estudio, se contaba con las extensiones de las conexiones de cada componente, por lo que el espaciamiento entre geófonos fue de 45 m (ensayos Coliseo y Politécnico).

En el caso de Sólidos se realizó un tendido limitado por la longitud - de fábrica - de los cables de conexión ya que las extensiones no se habían adaptado entonces; así, la separación entre geófonos fue de 15 m. En este caso si se utilizaron los dos cables sísmicos.

Los cables de cada componente de movimiento de los geófonos, vienen marcados de fábrica como V, para la componente vertical y H1 y H2 para las dos horizontales. En todos los ensayos la componente H1 fue alineada con el rumbo del tendido de refracción, renombrada como componente L; de tal manera que H2 quedó alineada transversal al tendido, renombrada como componente T.

Para este ensayo, como para los otros, la lectura de la llegada de la onda S se realizó en las componentes horizontales de los geófonos. La velocidad de la onda P se leyó a partir de la componente vertical.

Los datos fueron analizados por el método de los tiempos de intercepto. En la Figura 63, se incluyen las curvas t-x para las ondas P y las S refractadas, y para la onda P directa.

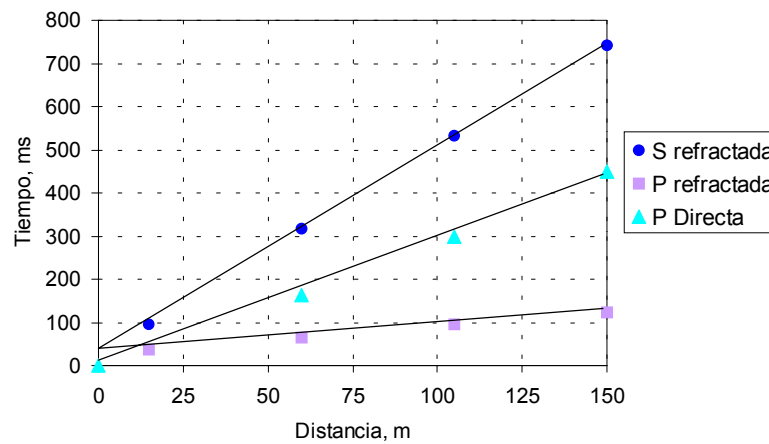


Figura 63. Curva t-x para Coliseo con geófonos triaxiales

Se realizaron los cálculos por el método de las tiempos de intercepto obteniendo los siguientes resultados:

$$C_s \text{ refractada} = 208 \text{ m/s}$$

$$C_P \text{ refractada} = 1500 \text{ m/s}$$

$$C_P \text{ directa} = 330 \text{ m/s}$$

Colegio Politécnico (RS # 17).

Ubicado en el mismo sitio que el ensayo RS#14.

→ **N**

Nombre 133

Ensayo 134

Canales C13

...

C24

El espaciamiento entre geófonos fue de 45 m y el punto de disparo se ubicó a 15 metros del canal 13. La correspondencia entre los canales y las componentes de cada sensor se aclara a continuación:

ID geófono	2			3			4			8 (-5)		
Componente	V	L	T	V	L	T	V	L	T	V	L	T
Canal	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Al igual que en el ensayo anterior el geófono más lejano del punto de disparo presentó problemas. En este caso, aunque el geófono 5 (que había presentado supuestos problemas en un ensayo anterior) ya había sido probado, se cambió por el geófono 8, y se repitieron los golpes sin tener ningún éxito en el mejoramiento de la señal. Se puede concluir entonces que para este sitio de medición y con la fuente de generación empleada el alcance para medir llegadas de ondas S es 105 m - en longitud -; esto quiere decir que hasta el geófono 4 se obtuvieron buenas y claras llegadas de la onda S.

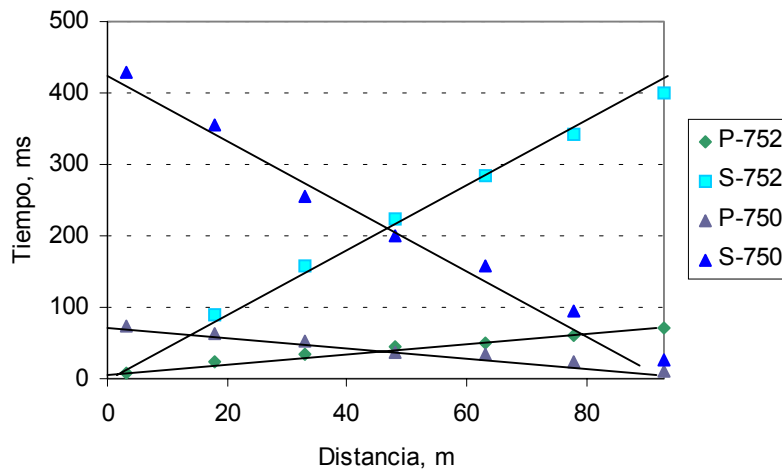


Figura 64. Curva t-x para Colegio con geófonos triaxiales

Se realizaron los cálculos por el método de las tiempos de intercepto obteniendo los siguientes resultados:

C_s refractada = 194 m/s

C_p refractada = 1250 m/s

Sólidos (RS# RS11).

Ubicado a 450 metros aprox. del ensayo RS#10, en terrenos de la Universidad del Valle. El tendido se ubicó entre el edificio de Mecánica de Sólidos y la Microestación.

A diferencia de los dos ensayos anteriores, en este se realizaron puntos de disparo conjugados.

El espaciamiento entre geófonos triaxiales fue de 15 metros. Los puntos de disparo fueron ubicados a 3 metros de los geófonos en los extremos del tendido.

→ N

Nombre 750 **752**

Ensayo 751 **753**

Canales C12 ... **C22**

ID Sensor	1			7			6			5			4			3			2		
Componente	L	T	V	L	T	V	L	T	V	L	T	V	L	T	V	L	T	V	L	T	V
Canal	10	11	12	7	8	9	4	5	6	1	2	3	13	14	15	16	17	18	19	21	22

Este fue el primer ensayo realizado utilizando los geófonos triaxiales de tal manera que, a modo de prueba, se realizaron golpes de dos tipos: (1) los golpes normales con la platina dispuesta horizontalmente sobre el terreno - ensayos 750 y 752 - y (2) golpes sobre la platina dispuesta verticalmente en un hueco de 40 cm de profundidad – ensayos 751 y 753 -; la idea era producir ondas con mayor contenido de SH, pero las lecturas con ambos tipos de golpes no se diferenciaron en las llegadas. Por tal motivo solo se utilizaron las lecturas de los ensayos con platina horizontal.

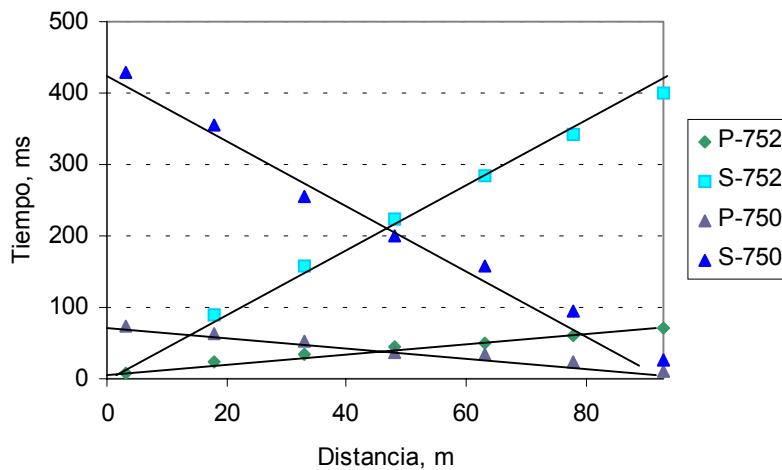


Figura 65. Curva t-x para Sólidos con geófonos triaxiales

A partir de las dromocronas (Figura 65) se realizaron los cálculos de las velocidades obteniendo los siguientes resultados:

$$C_P = 1516 \text{ m/s}, C_S = 232 \text{ m/s}$$

9.5.2 Resultados.

Los resultados de las mediciones de C_S se resumen en la Figura 66.

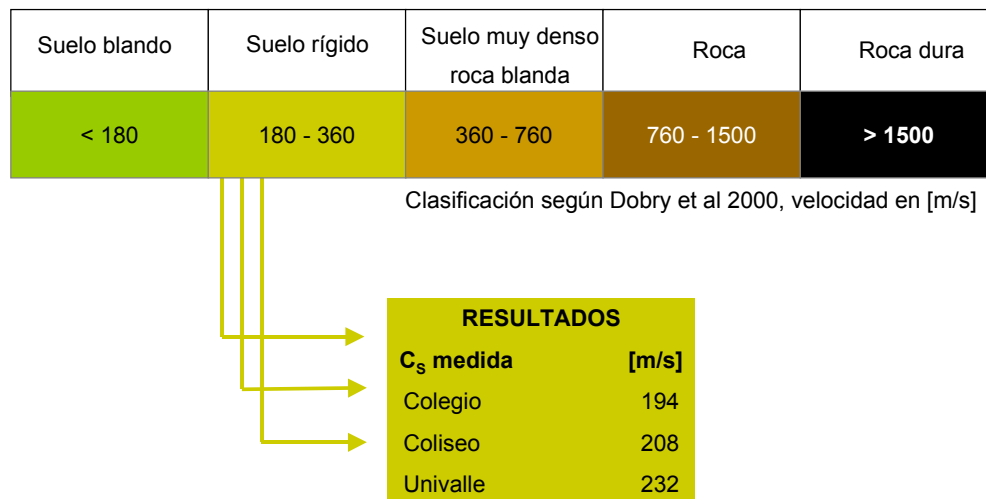


Figura 66. Resultados de medición de C_S y clasificación según Dobry et al. 2000

Estos valores corresponden a velocidades como mínimo hasta los primeros 30 metros de exploración del ensayo, y se deben considerar como preliminares para estos puntos. Se esperaban diferencias mayores entre las velocidades medidas en los depósitos del río Meléndez, y los del Cañaveralejo, con base en la granulometría y los valores de los ensayos SPT disponibles. Según la categorización de las velocidades de Dobry *et al* (2000) (**¡Error!No se encuentra el origen de la referencia.**) las tres mediciones estarían dentro de un mismo tipo “Suelo rígido” que corresponde a un rango de velocidades entre 180 y 360 m/s.

9.6 PARÁMETROS DINÁMICOS

Con las velocidades de onda S y onda P se puede determinar el módulo elástico de Poisson. Para ellos se utilizaron las velocidades de P medidas a partir de los ensayos con geófonos verticales, y las velocidades de S a partir de los ensayos con geófonos triaxiales (Tabla 14).

Tabla 14. Resultados de la relación de Poisson

Coliseo	Politécnico	Sólidos
0,490	0,491	0,487