

Velocidades de Onda medidas en Santiago con el Ensayo de Refracción Sísmica

Alejandro Ampuero S.
Pontificia Universidad Católica de Chile
aampuero@uc.cl

Michel Van Sint Jan F.
Pontificia Universidad Católica de Chile
vsintjan@ing.puc.cl

1 RESUMEN

El artículo presenta los resultados de ensayos de refracción sísmica realizados en ocho sitios de Santiago. Las mediciones de velocidad de propagación de ondas de corte y de compresión se complementaron con otros antecedentes de mecánica de suelos. Se entregan los antecedentes recopilados en cada sitio y los resultados de su clasificación para uso de la norma de NCh433 (Diseño sísmico de edificios).

2 INTRODUCCIÓN

La prospección geofísica por refracción sísmica es un método de ensayo conocido (Sheriff et al, 1995; Telford et al. 1990) que permite, desde la superficie, medir la velocidad de propagación de ondas sísmicas en el terreno. Las ondas sísmicas se generan de forma artificial en un punto de la superficie del terreno y viajan en todas direcciones. El ensayo consiste en registrar los tiempos de viaje de las ondas hasta una serie de sensores o geófonos superficiales, instalados en una línea recta con origen en el punto de emisión. En el caso de prospecciones profundas, es común el uso de explosivos, con lo cual la mayor fracción de la energía se transmite en ondas de compresión. Para el caso de prospecciones de profundidad menor, que es el trabajo que se resume en este artículo, se pueden utilizar impactos mediante herramientas manuales, "orientados" para polarizar la onda emitida, de modo que en una dirección determinada se propagan fundamentalmente ondas de compresión o de corte.

El análisis de la información recogida permite calcular la distribución de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el plano vertical que pasa por la línea de medición, dato que se puede correlacionar con el tipo de terreno. El método permite entonces obtener una caracterización aproximada del perfil de suelos existente en el sitio.

Entre las limitaciones de estos ensayos se destacan las siguientes:

- Distintos tipos de suelos o rocas pueden tener velocidad de propagación semejantes. Para resolver la incertidumbre es necesario contar con información geológica o geotécnica.
- No es posible detectar estratos cubiertos con otros de mayor velocidad de propagación de ondas.
- La distancia entre los sensores controla la precisión con que se puede evaluar el espesor de los estratos.
- La profundidad máxima está limitada por la longitud del perfil de refracción utilizado. Con las dimensiones utilizadas en los ensayos cuyos resultados se entregan, no puede prospectarse más allá de unos 25 metros.
- En el caso de existir agua subterránea los resultados de los ensayos basados en medir la velocidad de ondas de compresión estarán limitados a su profundidad, a menos que existan materiales con mayor velocidad de propagación, como algunas gravas y rocas.

En este artículo se presentan los resultados obtenidos con este ensayo en ocho sitios de Santiago, con características geológicas variadas. En cada sitio se recopiló la información disponible del terreno, la cual se incorpora en este trabajo. Los resultados de esta trabajo amplían los antecedentes entregados anteriormente por Acevedo et. al (1973), para la grava de Santiago, y por Riddell et al. (1992) para otros sitios de Santiago..

Como parte de este trabajo se encontró conveniente clasificar cada terreno según la norma NCh433.

3 UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS

Los sitios en que se ejecutaron los ensayos de refracción sísmica son los siguientes:

- 1 Recinto INIA, La Platina. Avenida Santa Rosa 11610, La Pintana
- 2 Parcela El Maitén (Bodegas GATX). Laguna Sur 9600, Pudahuel.
- 3 Condominio Puerto Santiago, Sitio 88, Pudahuel
- 4 Planta Cervecería Santiago, Avenida Eduardo Frei Montalva 8000, Quilicura
- 5 Conjunto Habitacional Juan Francisco González, Quilicura
- 6 Aeródromo Eulogio Sánchez, Larraín 7941, La Reina
- 7 Estadio Paul Harris, Avda. Paul Harris con Río Guadiana, Las Condes
- 8 Campus San Joaquín, Vicuña Mackenna 4860, Macul

En el plano de la figura 3.1 (Valenzuela, 1978), se han marcado siete de los ocho sitios investigados. El sitio N° 1 (INIA La Platina) se encuentra más al sur que el borde de este plano.

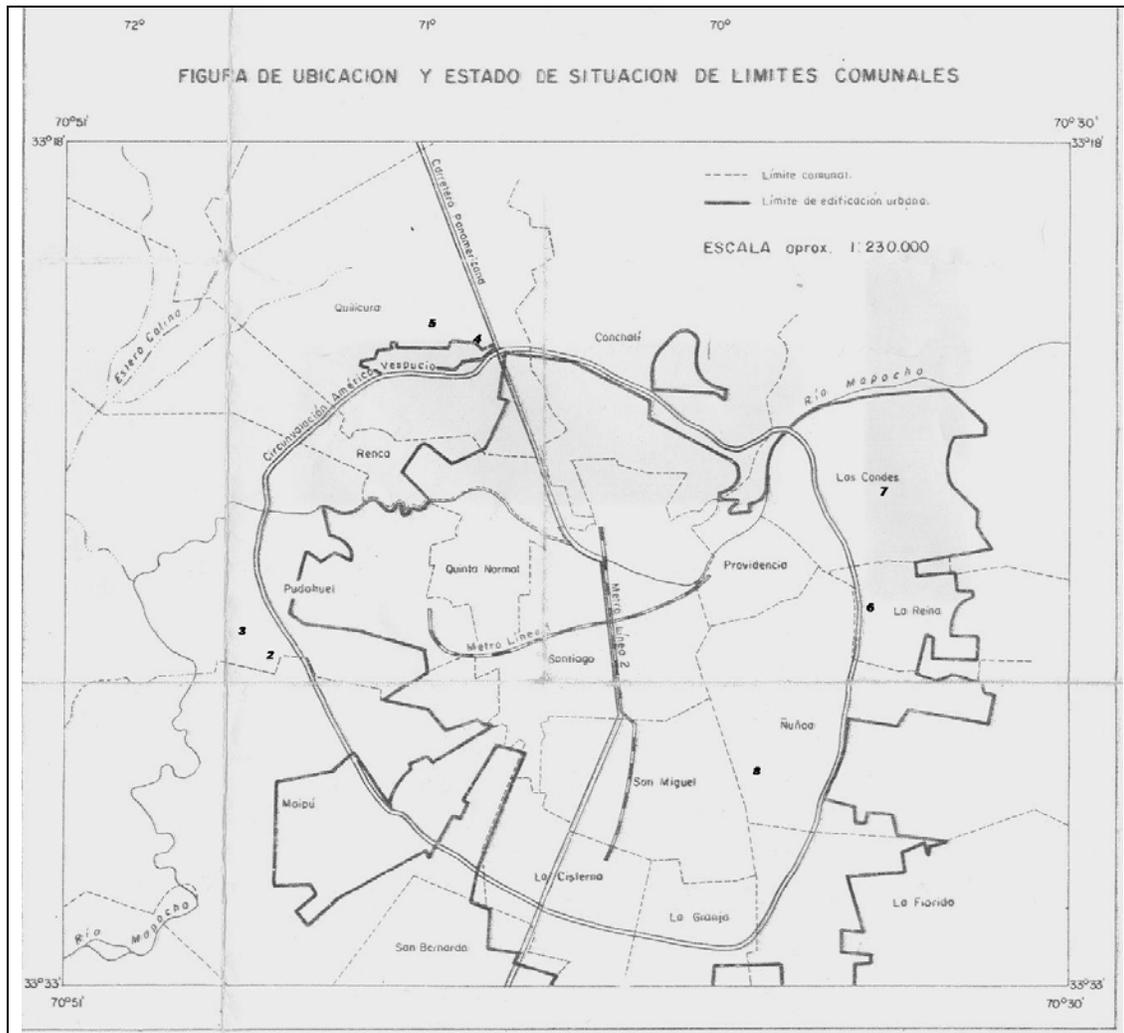


Figura 3.1 Ubicación de los sitios de ensayo

Como se puede observar en este plano, los ensayos se ejecutaron en sitios alejados entre sí, algunos de los cuales se ubican en unidades geológicas de las cuales existe limitada información publicada. Por lo anterior, en los terrenos en que se pudo obtener información adicional se consideró interesante publicarla en conjunto con los resultados de los ensayos de refracción. En el siguiente capítulo se detallan los antecedentes recopilados para cada sitio.

4 ANTECEDENTES

4.1 Recinto INIA, La Platina. Avenida Santa Rosa 11610, La Pintana (INIA)

El terreno se ubica sobre el abanico del río Maipo. El plano de Valenzuela no alcanza a incluir este sitio, sin embargo, corresponde a lo que esta publicación considera como Gravas del Maipo. No se logró obtener resultados de prospecciones previas.

4.2 Parcela El Maitén (Bodegas GATX). Laguna Sur 9600, Pudahuel (GATX)

El terreno se encuentra unos 2 km hacia el sur poniente de la intersección de la ruta 68 y la Avenida Américo Vespucio, en la comuna de Pudahuel, donde actualmente se encuentran las instalaciones de Bodegas GATX. Los ensayos se ejecutaron antes de la construcción de dicho proyecto.

Este terreno se encuentra en un área muy cercana a los depósitos de Cenizas Volcánicas y a los Ripios de Santiago (Valenzuela, 1978). En este sitio se tuvo acceso visual a varios pozos, uno de los cuales alcanzó una profundidad de 9m. Además, se tuvo acceso al registro del sondaje de agua desarrollado para el proyecto. La estratigrafía del terreno se muestra en la Tabla 4.2.1 y el registro resumido del sondaje de agua se muestra en la tabla 4.2.2

Tabla 4.2.1
Estratigrafía superficial, Parcela El Maitén

Profundidad (m)	Descripción visual
0.0 – 4.0	Suelo fino, de plasticidad media a baja, café claro, de estructura porosa, humedad baja en el momento de las observaciones (verano), consistencia media a firme.
4.0 –9.0	Gravas limpias color gris con intercalaciones de lentes de arena gruesa, media y fina en algunas profundidades. No se aprecian partículas finas. Compacidad alta.

Tabla 4.2.2
Registro del sondaje de agua, Parcela El Maitén

Profundidad (m)	Descripción
0.0 – 3.9	Limo
3.9 –18.0	Gravas y arenas. Partículas de más de 4”.
18.0 –23.3	Arcilla
23.3 –42.6	Gravas y arenas, con lentes de partículas gruesas de hasta 16”, y algunas intercalaciones de suelos finos y arenas finas
42.6 –44.5	Arcilla
44.5 –46.4	Arenas con algún porcentaje de gravas y partículas gruesas.
46.4 –49.5	Suelos finos arcillosos o limosos
49.5 –60.0	Suelo granular limpio de hasta 4” (grava, gravilla, arena)

El nivel estático del agua subterránea, medido en febrero de 1999, fue 14 m.

4.3 Condominio Puerto Santiago, Sitio 88, Pudahuel (STGO)

Este sitio se ubica sobre la unidad denominada Depósitos de Cenizas Volcánicas (Valenzuela, 1978). En este terreno, se tuvo acceso visual a cuatro pozos excavados para un estudio de mecánica de suelos (DICTUC, 1999) y cuyo resumen se muestra en la Tabla 4.3.1

Tabla 4.3.1
Estratigrafía Sitio 88, Puerto Santiago

Profundidad (m)	Descripción visual
0 –2.9	Arenas limosas color café (pomacita) con delgadas vetas horizontales color amarillo.

Otro antecedente considerado interesante de mencionar es el sondaje geotécnico con algunos ensayos de penetración normal (DICTUC, 1990) y los ensayos de microvibraciones (Riddell et al, 1992; Midorikawa et al. 1990) que fueron ejecutados en la Planta Toyota de Pudahuel

(Américo Vespucio con Ruta 68), ubicada a unos 300 m del terreno en que se ejecutaron los ensayos geofísicos. Los resultados del sondaje se entregan en la tabla 4.3.2 y en la tabla 4.3.3 se entregan los resultados del ensayo de penetración normal. La tabla 4.3.4. muestra los resultados de los ensayos de microvibraciones.

Tabla 4.3.2
Descripción de Sondaje Geotécnico, Plata Toyota de Pudahuel

Profundidad (m)	Descripción visual
0.00 –5.00	Pomacita, café claro mezclada con gravas y arena gruesa. Partículas intercaladas de grava, de tamaño máximo 2". Compacidad alta
5.00 –7.50	Grava tamaño máximo 1/2", con arena gruesa color gris oscuro. Escasos finos. Contiene partículas de grava intercaladas, de tamaño máximo 2".
7.50 – 30.50	Pomacita color café claro. Partículas intercaladas, de grava con tamaño máximo 2" y cascotes aislados de tamaño máximo 5". La compacidad aumenta con la profundidad.

Tabla 4.3.3
Ensayo de Penetración Normal (valores sin corregir), Planta Toyota de Pudahuel

Profundidad (m)	N
1.50 –1.80	Rechazo
4.50 –4.95	52
7.50 –7.95	66
10.00 –10.45	65
13.00 –13.45	67
16.00 –16.45	74
19.00 –19.12	R

Tabla 4.3.4
Ensayo de Microvibraciones, Planta Toyota de Pudahuel

Profundidad (m)	V _s (m/s)
0.0–7.0	300
7.0–15.0	550
15.0–19.5	616
19.5–55.7	568
55.7–60.0	715

4.4 Planta Cervecera Santiago. Av. Presidente Eduardo Frei Montalva 8000, Quilicura (PCQ)

En este caso se tiene como antecedente el sondaje geotécnico con algunos ensayos de penetración normal (DICTUC, 1990) y los ensayos de microvibraciones (Riddell et al, 1992; Midorikawa et al. 1990) los que se ejecutaron en la misma ubicación en que se efectuaron los ensayos geofísicos. Los resultados del sondaje se entregan en la tabla 4.4.1 y los ensayos de penetración normal en la tabla 4.4.2. En la tabla 4.4.3 se entregan los resultados de los ensayos de microvibraciones.

Tabla 4.4.1
Perfil estratigráfico de sondaje

Profundidad (m)	Descripción visual
0.00–1.00	Arena media a fina con gravas intercaladas.
1.00–2.00	Arcilla color café.
2.00–3.00	Grava media limpia.
3.00–9.45	Arcilla color café y amarillo.
9.45–14.00	Estratificaciones de limos y limos arenosos color café, con algunas gravas aisladas y consistencia firme.
14.00–16.30	Grava arenosa con finos, color café.

Tabla 4.4.2
Resultados de ensayos SPT

Profundidad (m)	N
3.00–3.45	4
6.55–7.00	2
9.45–9.90	35
12.00–12.45	35

Tabla 4.4.3
Perfil de onda de corte de ensayos de microvibraciones

Profundidad (m)	V_s (m/s)
0.0–5.0	160
5.0–9.0	250
9.0–11.9	380
11.9–25.2	294
25.2–35.2	413

4.5 Conjunto Habitacional Juan Francisco González, comuna de Quilicura (CJFG)
El sitio se ubica sobre la unidad denominada Finos del Norponiente (Valenzuela, 1978). En este terreno se efectuó un reconocimiento superficial del suelo (DICTUC, 1999), los ensayos realizados se muestran en la tabla 4.5.1.

Tabla 4.5.1
Ensayos de índice, Conjunto Juan Francisco González

Prof. (m)	%<4.75 mm	%<0.075 mm	%<0.002 mm	LL	IP	Símbolo USCS	Gs	γ_d g/cm ³	w %	q_u kgf/cm ²
-0.5	-	-	-	-	-	-	-	-1.39	11.8	-
1.0	95	22	-	26	10	CL	2.78	1.58	8.4	-
1.5	99	89	12	42	19	CL	2.74	1.14	31.2	0.53
2.0	100	21	-	-	-	SM	2.74	1.35	9.5	-
2.5	100	96	-	38	12	ML	2.72	1.22	36.5	0.20
3.0	99	97	5	38	10	ML	2.71	1.24	37.6	-

4.6 Aeródromo Eulogio Sánchez, comuna de La Reina (AES)
El terreno en que se ubica el Aeródromo corresponde a los depósitos de Conos de Deyección (Valenzuela, 1978), cuyos materiales tienen una disposición errática y que varía notablemente tanto con profundidad como horizontalmente.

Tabla 4.6.1
Perfil estratigráfico, sondaje en Aeródromo Eulogio Sánchez

Profundidad (m)	Descripción visual
0.00 – 8.80	Arcillas arenosas color café, con algunas partículas de grava.
8.80 – 12.00	Grava y arena con arcilla, color café.
12.00 – 20.60	Arcillas arenosas color café.
20.60 – 21.60	Arena fina con grava.
21.60 – 23.00	Arcilla arenosa con gravas, color café.
23.00 – 24.10	Grava y arena fina arcillosa.
24.10 – 26.20	Arcillas arenosas con algunas gravas.
26.20 – 27.30	Arena fina con gravas.

4.7 Estadio Paul Harris, Avda. Paul Harris esquina Rio Guadiana, Las Condes (ESPH)
Este terreno se ubica en el sector que geológicamente corresponde a los Depósitos de Cono de Deyección, descrito anteriormente y que incluye una disposición errática de materiales. En la tabla 4.7.1 se entrega la observación visual obtenida de un estudio de mecánica de suelos en el sitio.

Tabla 4.7.1
Perfil estratigráfico Estadio Paul Harris, Las Condes

Profundidad (m)	Descripción visual
0.0– 3.0	Arcilla café de plasticidad media, con algunos lentes de gravas y arenas de tamaño medio. Humedad cercana al Límite Plástico.

4.8 Campus San Joaquín, Vicuña Mackenna 4860, Macul (CSJ)
El Campus San Joaquín se ubica al sur del Zanjón de la Aguada, el cual es considerado habitualmente como el límite entre El Ripio del Mapocho y Los Ripios del Maipo (Valenzuela, 1978).

Los estudios de mecánica de suelos que se han ejecutado en su interior indican que la disposición de suelos pueden resumirse según lo que se indica en la tabla 4.8.1, la cual incluye pozos hasta 8 m de profundidad. La tabla 4.8.2 muestra, además, los resultados de un sondaje geotécnico que alcanzó una profundidad de 26 m

Tabla 4.8.1
Perfil estratigráfico Campus San Joaquín, Macul

Estrato	Descripción visual
I	Arcilla de mediana plasticidad color café. Consistencia media. Humedad cercana al Límite Plástico. Este suelo se encuentra hasta una profundidad variable dependiendo de su posición en el campus. En la zona poniente su profundidad máxima es del orden de 1.0 m, mientras que hacia el oriente, alcanza más de 2.0 m
II	Grava arcillosa color café. Compacidad media a alta. Este estrato se encuentra siempre bajo el estrato I, de arcilla. La profundidad máxima que se ha medido para su base es 4.0 m
III	Grava arenosa color gris, con intercalaciones de lentes de arena. Este estrato gris se encuentra siempre bajo el estrato II, y se ha encontrado hasta la máxima profundidad prospectada, 8.0m en pozos y 26.5m en sondajes.

Tabla 4.8.2
Perfil estratigráfico sondaje en Campus San Joaquín

Profundidad (m)	Descripción visual
0.00-0.30	Relleno
0.30-0.70	Arcilla café.
0.70-26.50	Grava con arena, color gris café. Partículas gruesas de hasta 7". Finos de plasticidad media a baja. A la profundidad de 23 metros aparece un estrato o lente de 50 cm de espesor, de arena limpia.

5 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA

La tabla 5.1 presenta los resultados de las velocidades de ondas de compresión de todos los sitios prospectados, las velocidades de ondas de corte se muestran en la tabla 5.2.

En estas tablas, se muestran los siguientes resultados:

- V_{Pi} : Velocidad de propagación de onda de compresión en el estrato i.
 V_{Si} : Velocidad de propagación de onda de corte en el estrato i.
 h_i : profundidad máxima del estrato i.

Tabla 5.1
Velocidades de onda de compresión

Sitio	h_1 (m)	V_{P1} (m/s)	h_2 (m)	V_{P2} (m/s)	h_3 (m)	V_{P3} (m/s)
INIA	3.0	700	11.0	1160	> 11.0	2110
GATX	4.0	340	10.0	800	-	-
STGO	>7.0	575	-	-	-	-
PCQ	-	-	-	-	-	-
CJFG	3.5	420	> 3.5	1500	-	-
AES	4.0	460	10.0	720	-	-
ESPH	2.7	380	> 2.7	870	-	-
CSJ	3.5	390	>3.5	1550	-	-

Tabla 5.2
Velocidades de onda de corte

Sitio	h_1 (m)	V_{S1} (m/s)	h_2 (m)	V_{S2} (m/s)	h_3 (m)	V_{S3} (m/s)
INIA	3.0	310	11.0	620	> 11.0	810
GATX	4.0	190	10.0	440	> 10.0	1200
STGO	>7.0	350	-	-	-	-
PCQ	4.5	225	>4.5	470	-	-
CJFG	3.5	250	>3.5	520	-	-
AES	4.0	300	10.0	480	>10.0	1010
ESPH	2.7	180	>2.7	370	-	-
CSJ	3.5	210	>3.5	875	-	-

6 CLASIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS SITIOS

En la Tabla 6.1 se muestra la tabla de clasificación de los suelos de fundación según NCh 433. En la Tabla 6.2 se entregan los resultados de esta clasificación en cada uno de los sitios investigados.

Tabla 6.1
Definición de los suelos de fundación

Tipo de suelo	Descripción
I	Roca: Material natural, con velocidad de propagación de ondas de corte in-situ igual o mayor que 900 m/s, o bien, resistencia de la compresión uniaxial de probetas intactas (sin fisuras) igual o mayor que 10 MPa y RQD igual o mayor que 50%.
II	<p>a) Suelo con V_S igual o mayor que 400 m/s en los 10 m superiores, y creciente con la profundidad, o bien,</p> <p>b) Grava densa, con peso unitario seco γ_d igual o mayor que 20 kN/m³, o índice de densidad $ID(D_R)$ (densidad relativa) igual o mayor que 75%, o grado de compactación mayor que 95% del valor Proctor Modificado; o bien;</p> <p>c) Arena densa, con $ID(D_R)$ mayor que 75%, o Índice de Penetración Estándar N mayor que 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0.10 MPa), o grado de compactación superior al 95% del valor Proctor Modificado; o bien,</p> <p>d) Suelo cohesivo duro, con resistencia al corte no drenado s_u igual o mayor que 0.10 MPa (resistencia a la compresión simple q_u igual o mayor que 0.20 MPa) en probetas sin fisuras.</p> <p>En todos los casos, las condiciones indicadas deberán cumplirse independientemente de la posición del nivel freático y el espesor mínimo del estrato debe ser 20 m. Si el espesor sobre la roca es menor que 20 m, el suelo se clasificará como tipo I</p>
III	<p>a) Arena permanentemente no saturada, con $ID(D_R)$ entre 55 y 75%, o N mayor que 20 (sin normalizar a la presión efectiva de sobrecarga de 0.10 MPa); o bien</p> <p>b) Grava o arena no saturada, con grado de compactación menor que el 95% del valor Proctor Modificado; o bien</p> <p>c) Suelo cohesivo con s_u comprendido entre 0.025 y 0.10 MPa (q_u entre 0.05 y 0.20 MPa) independientemente del nivel freático; o bien,</p> <p>d) Arena saturada con N comprendido entre 20 y 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0.10 MPa).</p> <p>Espesor mínimo del estrato: 10m. Si el espesor del estrato sobre roca o sobre suelo correspondiente al tipo II es menor que 10 m, el suelo se clasificará como tipo II.</p>
IV	<p>Suelo cohesivo saturado con s_u igual o menor que 0.025 MPa (q_u igual o menor que 0.050 MPa).</p> <p>Espesor mínimo del estrato: 10m. Si el espesor del estrato sobre suelo correspondientes a algunos de los tipos I, II o III es menor que 10 m, el suelo se clasificará como tipo III.</p>

Tabla 6.2
Clasificación según NCh 433

Sitio	Tipo	Comentarios
INIA	II	V_S promedio \approx 530 m/s.
GATX	II	El espesor de suelo con $V_S < 400$ m/s, sobre suelo con $V_S > 400$ m/s, es menor que 10 m.
STGO	II ^{Ver Nota 1}	$V_S < 400$ m/s hasta por lo menos 6 metros.
PCQ	III ^{Ver Nota 2}	V_S no es suficiente para clasificar el sitio, pero es levemente inferior a 400 m/s (360 m/s.)
CJFG	III ^{Ver Nota 3}	V_S promedio \approx 425 m/s.
AES	III ^{Ver Nota 4}	V_S promedio \approx 408 m/s.
ESPH	III ^{Ver Nota 5}	V_S promedio \approx 318 m/s.
CSJ	II	V_S promedio \approx 642 m/s.

Nota 1

Sitio en Condominio Puerto Santiago (STGO). Con la sola información proveniente del ensayo de refracción, el sitio debiese clasificar conservadoramente como tipo III. Sin embargo, el antecedente de ensayos de microvibraciones, en un depósito similar cercano, (Planta Toyota), indica que superficialmente la velocidad V_S es similar (300 m/s), pero que aumenta con la profundidad a 550 m/s. Además, los ensayos de penetración normal realizados en la Planta Toyota hasta 10.45 m de profundidad, entregan valores del índice N superiores a 50, con lo que se puede clasificar el terreno como tipo II.

Nota 2

La velocidad de onda de corte V_S es levemente inferior al límite para clasificar el sitio como tipo II. Así, puede resultar lógico su clasificación como tipo III, aunque para esta categoría no existe el criterio de velocidad de onda de corte. Sin embargo, si se toman en cuenta los otros antecedentes que existen directamente en este sitio, este incluso podría clasificarse como tipo IV. En efecto, los escasos resultados de ensayos de penetración normal (Tabla 4.4.2) son muy bajos (N = 4 y 2, hasta 7 metros) y aumentan sólo a la profundidad de 9.45 m (N = 35). Los ensayos de microvibraciones, por otro lado, entregan valores de V_S inferiores a los determinados por refracción, con un valor promedio de 218 m/s. Ante la ambigüedad generada en la definición de los tipos de suelos según la norma NCh433, se ha estimado que los antecedentes de la Tabla 4.4.1 favorecen la clasificación de este sitio en el tipo III.

Nota 3

En forma similar a la situación del sitio anterior, la velocidad de onda de corte es insuficiente para clasificar el terreno. Los resultados de ensayos de compresión uniaxial, sobre dos muestras obtenidas de profundidades inferiores a 3.5 metros, incluidos en la tabla 4.5.1 indican la existencia de un suelo superficial muy blando. Así, con los antecedentes de la tabla 4.5.1 el terreno debiera clasificarse como tipo IV. Sin embargo, por estar en el mismo ambiente geológico que el sitio PCQ, se ha optado por la categoría III.

Nota 4

En este sitio en particular, se tiene la condición numérica límite de V_S promedio = 408 m/s, muy levemente superior al límite de 400 m/s que entrega la norma para clasificar como tipo II. Sin embargo, el sitio se ha clasificado como tipo III. La razón es que, como se ha mencionado en la introducción, el método de refracción sísmica no permite detectar estratos de velocidades de ondas menores bajo otros de mayores velocidades. Por el registro del sondaje (Tabla 4.6.1) y los antecedentes geológicos del sitio, es muy probable que existan estratos de arcillas arenosas y arenas, con menores velocidades de onda, bajo los estratos de grava.

Nota 5

En este sitio no se cuenta con todos los antecedentes necesarios para clasificar según la norma chilena, debido que con V_S menores a 400 m/s se requiere de resultados de ensayos de resistencia o de densidad para discriminar entre suelos tipo III o IV. En los pozos a los que se tuvo acceso (tabla 4.7.1) se observaron materiales de baja resistencia mecánica, controlada por el alto contenido de humedad debida al riego, situación que se estima alcanza hasta una profundidad limitada. Por los antecedentes geológicos del sector, este sitio se clasificó finalmente como tipo III.

7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A partir de los resultados de los ensayos geofísicos realizados, ha sido posible clasificar la mayoría de los sitios para los propósitos de la norma sísmica chilena (NCh433).

Dado que la norma NCh433 no establece la velocidad de propagación de ondas de corte como criterio para discriminar entre suelos tipo III o IV, se presentaron dificultades en los casos en que se midieron velocidades de onda de corte inferiores o muy cercanas a 400 m/s, límite inferior para la clasificación de sitio tipo II, y fue necesario recurrir a otros antecedentes para completar la clasificación.

En los sitios GATX, PCQ y CJFG se detectó la presencia de agua subterránea.

Puesto que el método de ensayo no puede determinar la existencia de suelos más blandos bajo estratos firmes, es siempre conveniente acompañar la prospección geofísica con algún método que permita la observación directa del terreno.

8 REFERENCIAS

ACEVEDO, Pedro, AVENDAÑO, María Soledad y ARANEDA, Manuel, (1973) "Propiedades dinámicas de las gravas de Santiago", Revista del Idiem, 12 (3): 119-136, Diciembre.

DICTUC (1990) "Proyecto de Investigación JICA/UC – Exploración geotécnica realizada en zonas de emplazamiento de sismógrafos", Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

DICTUC (1999), "Informe de Sondaje de Investigación en Campus San Joaquín para FONDECYT", DICTUC S.A., Santiago, Chile.

DICTUC (1999) "Informe de Sondaje Geotécnico en el Aeródromo Eulogio Sánchez", DICTUC S.A., Santiago, Chile.

DICTUC (1999) "Informe de Fundaciones, Sitio 88 Puerto Santiago", DICTUC S.A., Santiago, Chile.

DICTUC (1999) "Informe de Mecánica de Suelos, Conjunto Juan Francisco González", DICTUC S.A., Santiago, Chile.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (CHILE). "Diseño Sísmico de Edificios NCh 433".

MIDORIKAWA, Saburoh, RIDDELL Rafael, CRUZ Ernesto (1990) "Strong- motion array observation in Santiago, Chile (SMASCH Array)", Publicación DIE 90-2, Santiago, Chile, Departamento de Ingeniería Estructural, Pontificia Universidad Católica de Chile, 83 p.

RIDDELL, Rafael, VAN SINT JAN, Michel, MIDORIKAWA, Saburo y GAJARDO, José Francisco (1992) "Clasificación Geotécnica de los sitios de estaciones acelerográficas en Chile" Publicación DIE 92-2, Santiago, Chile, Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica, Pontificia Universidad Católica de Chile, 174 p.

SHERIFF, Robert E. y GELDART, Lloyd P. (1995) "Exploration Seismology", 2nd Edition, Cambridge, U.K. Cambridge University Press, 592 p.

TELFORD, W.M., GELDART, L.P. y SHERIFF, R.E. (1990) Applied Geophysics, 2nd ed., Cambridge, U.K., Cambridge University Press, 770 p.

VALENZUELA, Gloria (1978) "Suelo de Fundación del Gran Santiago", Santiago, Chile, Boletín 33, Instituto de Investigaciones Geológicas, 84 p. y 2 planos.