



**Universidad
Andrés Bello**

UNIVERSIDAD ANDRES BELLO.

Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil.

Clasificación sísmica de suelos según Decreto Supremo N°61

Estudio sobre la relevancia de la ejecución de sondajes exploratorios como complemento de las mediciones geofísicas de ondas superficiales

Memoria para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

Issa Samy Salem Valderrama

Profesor Guía:

Juan Carlos Tiznado Aitken

Santiago de Chile de 2016

Declaración de Originalidad y Propiedad

Yo, Issa Samy Salem Valderrama, declaro que este documento no incorpora material de otros autores sin identificar debidamente la fuente.

Santiago, Octubre 2016

Firma del alumno

Índice

Declaración de Originalidad y Propiedad	2
Resumen	14
Abstract	16
1 Introducción	18
1.1 Antecedentes generales.	18
1.2 Planteamiento del problema.	24
2 Antecedentes Teóricos	26
2.1 Ondas sísmicas.	26
2.2 Métodos para la medición de la velocidad de ondas de corte del suelo	28
2.2.1 Métodos tradicionales	28
2.2.2 Métodos basados en ondas superficiales	31
3 Metodología	38
4 Resultados	42
4.1 Proyecto Cesfam Loma Colorada	42
4.1.1 Ejecución del estudio	43
4.1.2 Análisis Perfil 1: Longitud 51 metros.	43
4.1.3 Análisis Perfil 2: Longitud 72 metros.	47
4.1.4 Determinación V_{S30} .	50
4.1.5 Sondaje Exploratorio 30 metros.	51
4.2 Descripción del proyecto Condominio Dos Esteros Puerto Montt.	55
4.2.1 Ejecución Del Estudio.	55

4.2.2	Análisis Perfil 1: Longitud 72 metros.	57
4.2.3	Análisis Perfil 2: Longitud 54 metros.	60
4.2.4	Determinación V_{S30} .	63
4.2.5	Sondaje Exploratorio 30 metros.	64
4.3	Descripción del Proyecto Edificio Dram.	68
4.3.1	Análisis Perfil 1: Longitud 72 metros.	69
4.3.2	Análisis Perfil 2: Longitud 54 metros.	71
4.3.3	Determinación V_{S30} .	72
4.3.4	Sondaje Exploratorio 30 metros.	73
4.4	Descripción del Proyecto Ampliación Parque Industrial Enea (Sitios A5 Y A6).	73
4.4.1	Ejecución del Estudio.	74
4.4.2	Análisis Perfil 1: Longitud 72 metros.	75
4.4.3	Análisis Perfil 2: Longitud 72 metros.	77
4.4.4	Determinación V_{S30} .	79
4.4.5	Sondaje Exploratorio 30 metros.	80
4.5	Descripción del Proyecto Edificio Consistorial Santo Domingo.	80
4.5.1	Ejecución del Estudio.	81
4.5.2	Análisis Perfil 1: Longitud 72 metros.	82
4.5.3	Análisis Perfil 2: Longitud 54 metros.	84
4.5.4	Determinación V_{S30} .	86
4.5.5	Sondaje Exploratorio 30 metros.	87
5	Análisis de resultados y discusión	87
5.1	Influencia de la clasificación sísmica en el diseño estructural	90

6	Conclusiones y Recomendaciones	94
7	Referencias	98
8	Anexos	101
8.1	Perfiles Estratigráficos Sondajes Exploratorios.	101
8.2	Registros Fotográficos.	108

1 Índice de Figuras

Figura 1 : Configuración ensayo Crosshole.....	29
Figura 2 : Configuración ensayo Downhole.....	30
Figura 3 : Esquema ensayo Sonda de Suspensión (http://www.geovision.com).....	31
Figura 4 : Ensayo SASW (Adaptado de Sáez, 2015).....	33
Figura 5 : Ensayo MASW (Adaptado de Sáez, 2015).....	34
Figura 6; Resumen del procesado del método ReMi (Granda et al., 2005).....	37
Figura 7: Emplazamiento del proyecto Loma Colorada.....	42
Figura 8: Disposición de perfiles en terreno Loma Colorada.....	43
Figura 9: Registro perfil 1, Loma Colorada.....	44
Figura 10: Espectro de velocidades de frecuencia v/s tardanza (p-f) Perfil 1, Loma Colorada.....	44
Figura 11: Interpretación de microtemores Perfil 1, Loma Colorada.....	45
Figura 12: Registro Perfil 2, Loma Colorada.....	47
Figura 13: Espectro de velocidades de frecuencia v/s tardanza (p-f) Perfil 2, Loma Colorada.....	47
Figura 14: Interpretación de microtemores perfil 2, Loma Colorada.....	48
Figura 15: Emplazamiento de sondaje de 30m de profundidad, Loma Colorada.....	51
Figura 16: Emplazamiento del proyecto Condominio Dos Esteros.....	55
Figura 17: Disposición de perfiles en terreno Condominio Dos Esteros..	56
Figura 15: Registro Perfil 1, Dos Esteros.....	57
Figura 16: Espectro de velocidades de frecuencia v/s tardanza (p-f) Perfil 1, Dos Esteros.....	57
Figura 17: Interpretación de microtemores Perfil 1, Dos Esteros.....	58
Figura 18: Registro Perfil 2, Dos Esteros.....	60

Figura 19: Espectro de velocidades de frecuencia v/s tardanza (p-f) Perfil 2, Dos Esteros	60
Figura 20: Interpretación de microtremores Perfil 2, Dos Esteros	61
Figura 21: Emplazamiento de sondaje de 30 metros de profundidad, Dos Esteros.....	64
Figura 22: Emplazamiento del proyecto, Edificio DRAM	68
Figura 23: Disposición de perfiles en terreno, Edificio DRAM	69
Figura 24: Emplazamiento del proyecto ENEA	74
Figura 25: Disposición de perfiles en terreno, ENEA	74
Figura 26: Emplazamiento del proyecto E.C. Santo Domingo.....	81
Figura 27: Disposición de perfiles en terreno, E.C. Santo Domingo.....	82

Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificación sísmica del terreno de fundación según DS61	21
Tabla 2: Resumen proyectos en estudio.	41
Tabla 3: Velocidad de ondas de corte en profundidad perfil 1, Loma Colorada	45
Tabla 4: Velocidad de ondas de corte perfil 2, Loma Colorada	48
Tabla 5: Determinación V_{s30} Perfil 1, Loma Colorada	50
Tabla 6: Determinación V_{s30} Perfil 2, Loma Colorada.....	50
Tabla 7: Coordenadas de emplazamiento de sondaje, Loma Colorada ..	51
Tabla 8: Perfil estratigráfico predominante sondaje Loma Colorada	52
Tabla 9: Tabla SPT 30 metros sondaje Loma Colorada.....	54
Tabla 10: Ubicación geófonos extremos, Dos Esteros	56
Tabla 11: Velocidad de ondas de corte en profundidad, Dos Esteros.....	58
Tabla 12: Velocidad de ondas de corte en profundidad, Dos Esteros.....	61
Tabla 13: Determinación V_{s30} Perfil 1, Dos Esteros.....	63
Tabla 14: Determinación V_{s30} Perfil 2, Dos Esteros	63
Tabla 15: Coordenadas de emplazamiento de sondaje, Dos Esteros.....	64
Tabla 16: Perfil estratigráfico predominante sondaje exploratorio, Dos Esteros.....	65
Tabla 17: Tabla de cálculo N1, Dos Esteros	66
Tabla 18: Velocidad de ondas de corte en profundidad, Edificio DRAM .	69
Tabla 19: Velocidad de ondas de corte en profundidad, Edificio DRAM .	71
Tabla 20: Determinación V_{s30} Perfil 1, Edificio DRAM	72
Tabla 21: Determinación V_{s30} Perfil 2, Edificio DRAM	72
Tabla 22: Velocidad de ondas de corte en profundidad, ENEA.....	75
Tabla 23: Velocidad de ondas de corte en profundidad, ENEA.....	77
Tabla 24: Determinación V_{s30} perfil 1, ENEA	79
Tabla 25: Determinación V_{s30} perfil 2, ENEA	79

Tabla 26: Velocidad de ondas de corte en profundidad, E.C. Santo Domingo.....	82
Tabla 27: Velocidad de ondas de corte en profundidad, E.C. Santo Domingo.....	84
Tabla 28: Determinación Vs30 Perfil 1, E.C. Santo Domingo.....	86
Tabla 29: Determinación Vs ₃₀ Perfil 2, E.C. Santo Domingo	86
Tabla 30: Resumen Clasificaciones Sísmicas	90
Tabla 31: Cuantía de acero según tipo de suelo. (Pellet, 2015).....	91
Tabla 32: Variación porcentual de la armadura de refuerzo según tipo de suelo real y considerado.....	92
Tabla 33: Perfil Estratigráfico Sondaje Loma Colorada	101
Tabla 34: Perfil Estratigráfico Sondaje Edificio Dos Esteros	102
Tabla 35: Perfil Estratigráfico Sondaje Edificio DRAM	104
Tabla 36: Perfil Estratigráfico Sondaje Parque ENEA	106
Tabla 37: Perfil Estratigráfico Sondaje Edificio Consistorial Santo Domingo	107

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 1, Loma Colorada	46
Gráfico 2: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 2, Loma Colorada	49
Gráfico 3: N° de golpes SPT (N1) en profundidad Proyecto Loma Colorada.	54
Gráfico 4: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 1, Dos Esteros	59
Gráfico 5: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 2, Dos Esteros	62
Gráfico 6: N° de golpes SPT (N1) en profundidad, Dos Esteros	67
Gráfico 7: Variación de la velocidad de propagación en profundidad perfil 1, Edificio DRAM.....	70
Gráfico 8: Variación de la velocidad de propagación en profundidad perfil 2, Edificio DRAM.....	71
Gráfico 9: N° de golpes SPT (N1) en profundidad Edificio DRAM.....	73
Gráfico 10: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 1, ENEA	76
Gráfico 11: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 2, ENEA	78
Gráfico 12: N° de golpes SPT (N1) en profundidad Edificio ENEA	80
Gráfico 13: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 1, E.C. Santo Domingo.....	83
Gráfico 14: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 2, E.C Santo Domingo.....	85
Gráfico 15: N° de golpes SPT (N1) en profundidad E. C. Santo Domingo.....	87

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Emplazamiento sondaje Loma Colorada	108
Ilustración 2: Muestras extraídas entre los 0.0m y los 8.0m de profundidad. Loma Colorada	109
Ilustración 3: Muestras extraídas entre los 8.0m y los 18.0m de profundidad. Loma Colorada.....	109
Ilustración 4: Muestras extraídas entre los 18.0m y los 30.0m de profundidad. Loma Colorada.....	110
Ilustración 5: Perfil Sísmico 1 Loma Colorada.....	111
Ilustración 6: Perfil Sísmico 1 Loma Colorada.....	111
Ilustración 7: Perfil Sísmico 2 Loma Colorada.....	112
Ilustración 8: Perfil Sísmico 2 Loma Colorada.....	113
Ilustración 9: Emplazamiento sondaje Edificio Dos Esteros.....	114
Ilustración 10: Muestras extraídas entre los 0.0m y los 7.0m de profundidad. Edificio Dos Esteros.....	114
Ilustración 11: Muestras extraídas entre los 7.0m y los 13.0m de profundidad. Edificio Dos Esteros.....	115
Ilustración 12: Muestras extraídas entre los 13.0m y los 20.0m de profundidad. Edificio Dos Esteros.....	115
Ilustración 13: Muestras extraídas entre los 20.0m y los 30.0m de profundidad. Edificio Dos Esteros.....	116
Ilustración 14: Perfil Sísmico 1 Edificio Dos Esteros	117
Ilustración 15: Perfil Sísmico 1 Edificio Dos Esteros	118
Ilustración 16: Perfil Sísmico 2 Edificio Dos Esteros	119
Ilustración 17: Perfil Sísmico 2 Edificio Dos Esteros	120
Ilustración 18: Emplazamiento sondaje Edificio DRAM.....	121

Ilustración 19: Muestras extraídas entre los 0.0m y los 6.0m de profundidad. Edificio DRAM.....	122
Ilustración 20: Muestras extraídas entre los 6.0m y los 13.3m de profundidad. Edificio DRAM.....	122
Ilustración 21: Muestras extraídas entre los 13.3m y los 20.4m de profundidad. Edificio DRAM.....	123
Ilustración 22: Muestras extraídas entre los 20.4m y los 27.0m de profundidad. Edificio DRAM.....	123
Ilustración 23: Muestras extraídas entre los 27.0m y los 30.0m de profundidad. Edificio DRAM.....	124
Ilustración 24: Perfil Sísmico 1 Edificio DRAM	125
Ilustración 25: Perfil Sísmico 1 Edificio DRAM	126
Ilustración 26: Perfil Sísmico 2 Edificio DRAM	127
Ilustración 27: Perfil Sísmico 2 Edificio DRAM	128
Ilustración 28: Emplazamiento sondaje Parque ENEA.....	129
Ilustración 29: Muestras extraídas entre los 0.0m y los 12.0m de profundidad. Parque ENEA.....	129
Ilustración 30: Muestras extraídas entre los 12.0m y los 30.0m de profundidad. Parque ENEA.....	130
Ilustración 31: Perfil Sísmico 1 Parque ENEA	131
Ilustración 32: Perfil Sísmico 1 Parque ENEA	132
Ilustración 33: Perfil Sísmico 2 Parque ENEA	133
Ilustración 34: Perfil Sísmico 2 Parque ENEA	134
Ilustración 35: Emplazamiento Sondaje Edificio Consistorial Sto. Domingo.....	135
Ilustración 36: Muestras extraídas entre los 30.0m y los 15.0m de profundidad. Ed. Cons. Sto. Domingo.	136
Ilustración 37: Muestras extraídas entre los 0.0m y los 15.0m de profundidad. Ed. Cons. Sto. Domingo	137

Ilustración 38: Perfil Sísmico 1 Edificio Consistorial Sto. Domingo	138
Ilustración 39: Perfil Sísmico 1 Edificio Consistorial Sto. Domingo	139
Ilustración 40: Perfil Sísmico 2 Edificio Consistorial Sto. Domingo	140

Resumen

Con posterioridad a la ocurrencia del terremoto del 27 de febrero del 2010, la norma chilena de diseño sísmico de edificios (NCh 433 of.96 Mod. 2009) sufrió una serie de modificaciones. Específicamente, en lo que respecta a la clasificación sísmica de suelos, el día 13 de diciembre de 2011 fue promulgado el decreto supremo N° 61 (DS61), el cual estableció nuevas categorías (A a F) y requisitos para llevar a cabo esta tarea. Tal decreto centra la clasificación sísmica de suelos en el parámetro de la velocidad de propagación de ondas de corte promedio de los 30 metros superiores del terreno (V_{s30}) y otros ensayos y propiedades del terreno, como RQD, S_u , N-SPT, y q_u . En particular, la velocidad de propagación de ondas de corte puede ser medida por medio de ensayos DownHole, CrossHole o Sonda de Suspensión; o a partir de mediciones geofísicas de ondas superficiales (Rayleigh), usando métodos como SASW, MASW o ReMi, con un respectivo sondaje exploratorio.

En la práctica, la normativa vigente deja a criterio del especialista la decisión sobre considerar o no un sondaje exploratorio como complemento a la medición del parámetro V_{s30} . Éste puede optar por prescindir del sondaje y clasificar el suelo en una categoría inferior sin la necesidad de mediciones adicionales si se cumplen los criterios indicados en el DS61. En principio, no ejecutar el sondaje exploratorio puede entenderse como un ahorro de dinero en etapas iniciales o de factibilidad de un proyecto. Sin embargo, puede ocurrir que en etapas de ingeniería de detalles el hecho de clasificar el suelo en una categoría inferior lleve a mayores costos estructurales; fundamentalmente debido al uso de un espectro de diseño más severo.

En este estudio se pretende poner de manifiesto la relevancia que tiene la ejecución de sondajes exploratorios, como un complemento de las mediciones

geofísicas de ondas superficiales, al momento de clasificar sísmicamente un terreno. Para ello se abordan 5 proyectos reales, de características geotécnicas similares (depósitos arenosos), ubicados en distintas regiones de Chile. En primer lugar, se clasifican los terrenos considerando como antecedente sólo el parámetro V_{s30} . Luego, se repite el proceso de clasificación utilizando conjuntamente el parámetro V_{s30} y la información entregada por los sondajes exploratorios (ensayos de penetración estándar SPT y estratigrafías).

De los resultados obtenidos, se concluye que resulta recomendable realizar ambos estudios, ya que con ello se puede: (i) verificar el perfil de velocidad de ondas de corte que entrega la exploración geofísica, (ii) obtener información detallada en profundidad del subsuelo, (iii) y diseñar estructuras con un espectro que represente de buena forma las características dinámicas del suelo de fundación.

Abstract

After the February 27th, 2010 Maule Chile Earthquake, the National Chilean standard for seismic design of buildings (NCh 433 of.96 mod. 2009) underwent a series of modifications. One such modification was in regards to seismic soil classification. On December 13th, 2011 the Supreme Decree No. 61 (DS61) was promulgated, which established new categories (from A to F) and requirements to carry out this task. This document focuses seismic soil classification in the shear wave velocity of the top 30 meters from the ground (V_{s30}), and other tests and soil properties, such as RQD, S_u , N-SPT, y q_u . In particular, shear wave velocities can be measured through Downhole, CrossHole or Suspension Logging tests; or from geophysical measurements of surface waves (Rayleigh), using methods such as SASW, MASW or ReMi, with an additional exploratory borehole.

In practice, current provisions from DS61 leaves the decision about whether or not to consider an exploratory borehole to supplement the V_{s30} measurement parameter up to the engineer. Soil can be classified without the borehole information in a lower category with no additional measurements needed if the criteria from DS61 are met. In principle, not doing the exploratory borehole can be understood as a money saving in either initial or feasibility stages of a project. However, in more advanced stages it may happen that the classifying soil in a lower category can lead to higher structural costs; mainly due to the use of a more severe design spectrum.

This study aims to demonstrate the relevance of the execution of exploration boreholes, as a complement to geophysical measurements of surface waves, for seismic soil classification purposes. Five real projects with similar geotechnical characteristics (sandy soil deposits), located in different regions of Chile, are considered. First, soil is classified using only the V_{s30} parameter. Then, the

information from boreholes is added (SPT Standard Penetration Tests and stratigraphy) and soil classification is repeated.

From the results obtained, it is recommended to perform both studies, because with such information it is possible: (i) to verify the shear wave velocity profile from geophysical surveying, (ii) to obtain detailed information of subsoil as a function of depth, and (iii) to design structures with a design spectrum that represents the dynamic soil characteristics in a proper way.

1 Introducción

1.1 Antecedentes generales.

Con posterioridad a la ocurrencia del terremoto del Maule del 27 de febrero del 2010, la norma chilena de diseño sísmico de edificios (NCh 433 of.96 mod. 2009) sufrió una serie de modificaciones. Específicamente, en lo que respecta a la clasificación sísmica de suelos, el día 13 de diciembre de 2011 fue promulgado el decreto supremo N° 61 (DS61), el cual estableció nuevas categorías y requisitos para llevar a cabo esta tarea. Así, quedó establecido que el diseño sísmico de edificios deberá realizarse de conformidad a las exigencias establecidas en dicho decreto y en lo que no se contraponga con éstas, supletoriamente, por lo establecido en la Norma Técnica NCh 433.

El pasado terremoto del Maule volvió a poner de manifiesto que la naturaleza y distribución de los daños que pueden afectar a la infraestructura están influenciados por la respuesta del terreno frente a cargas cíclicas; producto de lo cual produce una modificación de la señal sísmica. Este fenómeno debido a las condiciones geológicas, geotécnicas y topográficas del terreno se conoce como efecto de sitio y su magnitud está controlada especialmente por las propiedades geotécnicas de los materiales; en específico por sus características dinámicas, así como por el espesor de las capas y la profundidad a la cual se encuentran.

En cuanto a la exploración geotécnica asociada a la clasificación sísmica de suelos, tanto la respuesta sísmica en superficie de un depósito de suelo como la respuesta sísmica de una estructura emplazada en dicho depósito dependen de una serie de factores, entre los que se cuentan: (i) la rigidez de los estratos superiores del terreno de fundación, (ii) el periodo fundamental del depósito de

suelo, (iii) el nivel de amortiguamiento desarrollado por los distintos suelos constituyentes del terreno, y (iv) la excitación sísmica propiamente tal. Teniendo en consideración la tecnología disponible a lo largo del país, en el DS61 se ha optado por centrar la clasificación sísmica del terreno en un parámetro de rigidez a bajas deformaciones de los estratos superiores del subsuelo, correspondiente a la velocidad de propagación de ondas de corte promedio de los 30 metros superiores del terreno (V_{s30}). Este parámetro se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{s-i}}} \quad (1)$$

El parámetro V_{s-i} corresponde a la velocidad de propagación de ondas de corte del estrato i en $[m/s]$, h_i es el espesor del estrato i medido en metros y n es el número de estratos en los 30 metros superiores del terreno. El DS61 establece que la velocidad de propagación de ondas de corte puede ser medida por medio de ensayos de tipo DownHole, CrossHole o Sonda de Suspensión; o a partir de mediciones geofísicas de ondas superficiales (Rayleigh), usando métodos como SASW, MASW o ReMi. En estos casos se deben informar las denominadas curvas de dispersión, que entregan la velocidad de propagación de ondas en función de la frecuencia, y los resultados del perfil de velocidades en profundidad para dos mediciones preferentemente ortogonales. Adicionalmente, cuando se utilice el método ReMi se debe incluir una medición con una fuente activa de ubicación conocida. El perfil de velocidades de ondas de corte que caracteriza el terreno corresponderá a aquel que resulte en el caso más desfavorable.

En adición a la velocidad de propagación de ondas de corte, los principales parámetros considerados por el DS61 para la clasificación de los suelos de fundación son los siguientes: RQD (*Rock Quality Designation*); Índice de

Penetración Estándar normalizado a la presión vertical efectiva de 1kgf/cm^2 (N_1), aplicable solo a suelos que clasifican como arenas; Resistencia a la Compresión Simple (q_u), en el caso de roca o suelos densos o firmes; y Resistencia al Corte No-Drenada (S_u), en el caso de suelos finos. Cabe destacar que estos parámetros se obtienen típicamente a partir de un sondaje exploratorio con sus respectivos ensayos o procedimientos establecidos y normados.

Tal como se detalla en el artículo N°6 del DS61, tanto la experiencia empírica como la teoría indican que el mejor comportamiento sísmico se ha presentado en terrenos de afloramiento rocoso. Por el contrario, el mayor daño se ha observado en terrenos compuestos por suelos finos blandos. Consecuentemente, la clasificación sísmica del terreno de fundación considera unidades o niveles, que van desde el suelo de mejor comportamiento (Suelo tipo A: Roca o suelo cementado) al de mayor exigencia en términos de demanda sísmica (Suelo tipo E: Suelos de compacidad o consistencia media).

La tabla N°1 resume las categorías y condiciones generales que se deben verificar para clasificar sísmicamente el suelo de fundación de acuerdo al DS61.

Suelo Tipo		V_{s30} [m/s]	RQD	q_u [MPa]	N_1 [golpes/pie]	S_u [MPa]
A	Roca, suelo cementado	≥ 900	$\geq 50\%$	≥ 10 ($\epsilon_{qu} \leq 2\%$)		
B	Roca blanda o fracturada, suelo muy denso o muy firme	≥ 500		$\geq 0,40$ ($\epsilon_{qu} \leq 2\%$)	≥ 50	
C	Suelo denso o firme	≥ 350		$\geq 0,30$ ($\epsilon_{qu} \leq 2\%$)	≥ 40	
D	Suelo medianamente denso o firme	≥ 180			≥ 30	$\geq 0,05$
E	Suelo de compactidad, o consistencia mediana	< 180			≥ 20	$< 0,05$
F	Suelos Especiales	*	*		*	*

Tabla 1: Clasificación sísmica del terreno de fundación según DS61

En términos específicos, se debe cumplir las disposiciones siguientes:

Suelo Tipo A:

Para Suelo Tipo A se debe justificar V_{s30} , más RQD en roca y q_u en suelo cementado, con un mínimo de 5 mediciones. En aquellos casos donde se demuestre que todo el perfil de los 15 m superiores presenta una velocidad de onda de corte superior a 900 m/s, no será necesaria la justificación de RQD, ni q_u .

Cuando la estructura se apoya íntegramente en el basamento rocoso y este basamento cumple las características geotécnicas antes indicadas, independientemente de los materiales geotécnicos existentes sobre el sello de fundación, el sitio clasifica como Suelo Tipo A.

Suelo Tipo B:

Para Suelo Tipo B se debe justificar V_{s30} , más N_1 en caso de arenas, y que en el caso de suelos finos. En el caso de suelos granulares gruesos, donde no resulta posible el uso del índice de penetración, se deberá proporcionar una detallada descripción estratigráfica del terreno hasta una profundidad de 30 metros, medidos a partir de la superficie natural, indicando el tamaño máximo nominal de partícula cada 5 metros de profundidad.

En el caso que sólo se disponga del perfil de V_s en profundidad y que dicho perfil indique claramente que V_s aumenta monótonamente con la profundidad y además, se cumple que $V_{s30} > 500 \text{m/s}$, se podrá clasificar automáticamente como Suelo Tipo C, sin necesidad de otras mediciones.

Una excepción son las gravas fluviales de espesor mayor o igual a 30 metros (medidos a partir de la superficie natural), las cuales clasifican en Suelo Tipo B sin necesidad de medir V_s , ni presentar la descripción estratigráfica detallada. El sustento para establecer la presencia de gravas fluviales de espesor mayor o igual a 30 metros, puede ser de tipo geológico, o información confiable y demostrable de sectores del entorno inmediato.

Suelo Tipo C

Para Suelo Tipo C se debe justificar V_{s30} , más N_1 en caso de arenas, y q_u en el caso de suelos finos.

En el caso de suelos granulares gruesos, donde no resulta posible el uso del índice de penetración, se deberá proporcionar una descripción estratigráfica del terreno hasta una profundidad de 30 metros, medidos desde la superficie natural, indicando el tamaño máximo nominal de partícula cada 5 metros de profundidad.

En el caso que sólo se disponga del perfil de V_s en profundidad y que dicho perfil indique claramente que V_s aumenta monótonamente con la profundidad y además, se cumple que $V_{s30} > 350 \text{ m/s}$, se podrá clasificar automáticamente como Suelo Tipo D, sin necesidad de mayores mediciones.

Suelo Tipo D

Para Suelo Tipo D se debe justificar V_{s30} , más N_1 en caso de arenas, y S_u en el caso de suelos finos.

En depósitos de suelos arenosos donde se disponga de mediciones del Índice de Penetración, al menos cada un metro de profundidad en los 30 metros superiores, y se cumpla que $N_1 \geq 30$ golpes/pie, se podrá clasificar automáticamente el terreno como Suelo Tipo D, sin necesidad de otras mediciones. Dentro de los 30 metros de medición del N-SPT se aceptan en total no más de 5 metros con N_1 en el rango de 20 - 29 golpes/pie.

En el caso que sólo se disponga del perfil de V_s en profundidad y que dicho perfil indique claramente que V_s aumenta monótonamente con la profundidad y además, se cumple que $V_{s30} > 180 \text{ m/s}$, se podrá clasificar automáticamente como Suelo Tipo E, sin necesidad de otras mediciones.

Suelo Tipo E

Para suelo tipo E se debe justificar V_{s30} , más N_1 en caso de arenas y S_u en el caso de suelos finos.

Suelo Tipo F

Se consideran Suelos Especiales (Tipo F) aquellos que presentan singularidades en su comportamiento mecánico y, por tanto, requieren estudios

geotécnicos especiales. Como ejemplo de este tipo de materiales se pueden citar: suelos licuables, suelos colapsables, suelos orgánicos, suelos sensitivos, turbas, entre otros.

Es importante señalar que cuando la información sobre el suelo de fundación permita clasificarlo dentro de dos o más tipos de suelo, se debe optar por clasificación sísmica más desfavorable.

1.2 Planteamiento del problema.

En la práctica, la normativa vigente deja a criterio del especialista la decisión sobre considerar o no un sondaje exploratorio como complemento a la medición del parámetro V_{s30} . El profesional a cargo del proyecto puede optar por prescindir del sondaje y clasificar al suelo en una categoría inferior sin la necesidad de mediciones adicionales si se cumplen los criterios indicados en el DS61.

En principio, no ejecutar el sondaje exploratorio puede entenderse como un ahorro de dinero en etapas iniciales o de factibilidad de un proyecto. Sin embargo, puede ocurrir que en etapas de ingeniería de detalles el hecho de clasificar el suelo en una categoría inferior lleve a mayores costos estructurales; fundamentalmente debido al uso de un espectro de diseño más severo.

En este estudio se pretende poner de manifiesto la relevancia que tiene la ejecución de sondajes exploratorios, como un complemento de las mediciones geofísicas de ondas superficiales, al momento de clasificar sísmicamente un terreno. Para ello se abordan 5 proyectos reales, de características geotécnicas similares (depósitos arenosos), ubicados en distintas regiones de Chile.

En primer lugar, se realiza una clasificación del terreno considerando únicamente el parámetro V_{s30} . Luego, se repite el proceso de clasificación utilizando conjuntamente el parámetro V_{s30} y la información entregada por los sondajes exploratorios (ensayos de penetración estándar SPT y estratigrafías). Para la estimación del parámetro V_{s30} se utiliza el método geofísico ReMi (*Refraction Microtremors*) (Louie, 2001); que es uno de los métodos contemplados por el DS61 para estos efectos.

Así, en este trabajo se analizan y discuten las implicancias relativas a la decisión de ejecutar sondajes complementarios a las mediciones geofísicas, como una manera de aportar hacia una clasificación sísmica de suelos más realista, que incorpore desde las etapas tempranas de proyecto toda la información potencialmente disponible.

2 Antecedentes Teóricos

2.1 Ondas sísmicas.

Las ondas sísmicas consisten en paquetes de energía de deformación que viajan desde la fuente sísmica hacia el subsuelo a velocidades variables, que dependen de la rigidez y la densidad del medio a través del cual transitan.

Los elementos fundamentales de una onda sísmica son:

- Amplitud(A) : Altura alcanzada por la onda medida sobre un nivel de referencia.
- Periodo (T) : Tiempo entre las repeticiones sucesivas de una onda, medida en segundos.
- Frecuencia (F) : Número de onda por unidad de tiempo, medido en Hz.
- Longitud de onda (λ): Distancia entre dos peaks sucesivos de una onda, medido en m.
- Velocidad (V) : Número de ondas por unidad de tiempo que pasan por un mismo punto. Se define por la siguiente relación:

$$V = \lambda f \quad (2)$$

Las ondas sísmicas se dividen fundamentalmente en dos tipos: las llamadas ondas de cuerpo o volumétricas, y las denominadas ondas de superficie (Stein y Wysession, 2009).

- Ondas de cuerpo:

- Ondas Primarias (P): Corresponden a ondas de compresión. Son las que viajan a mayor velocidad y tienen la capacidad de hacer vibrar las partículas del suelo alternadamente, comprimiendo y expandiendo el material en la dirección de propagación de la onda.
- Ondas de Corte o Secundarias (S): También conocidas como ondas de cizalle, el movimiento de las partículas que son alteradas a través de estas ondas es perpendicular a la dirección de propagación, por lo que están asociadas con deformaciones de corte. Las ondas S viajan exclusivamente a través de los sólidos, ya que los líquidos no pueden transmitir esfuerzos de corte.

- Ondas Superficiales:

- Ondas Love: Se generan sólo cuando un medio elástico se encuentra estratificado en capas con diferentes características. Se propagan con un movimiento de las partículas perpendicular a la dirección de propagación, y se encuentran polarizadas al plano de la superficie de la tierra. Sólo poseen una componente horizontal, lo que las hace imperceptibles a los sensores de tipo vertical.
- Ondas Rayleigh: Estas ondas se generan a lo largo de la superficie de la tierra. Tienen su máxima amplitud en campo libre, y esta decrece exponencialmente con la profundidad. La trayectoria que siguen las partículas que son afectadas por las ondas Rayleigh es del tipo elíptico retrogrado. Este tipo de ondas, junto con las ondas Love, se conocen como

dispersivas, por cuanto la velocidad de propagación en un medio determinado es función de la frecuencia.

2.2 Métodos para la medición de la velocidad de ondas de corte del suelo

El DS61 indica que la velocidad de propagación de ondas de corte en el terreno puede ser medida a través de distintos procedimientos. Ellos pueden ser agrupados en dos categorías: (i) métodos tradicionales y (ii) métodos basados en ondas superficiales.

2.2.1 Métodos tradicionales

Dentro de esta categoría de métodos, el DS61 contempla los ensayos Crosshole, Downhole, y Sonda de Suspensión. Este tipo de procedimientos son invasivos, puesto que requieren de uno o más sondajes en el terreno para medir V_s .

El ensayo Crosshole (Figura 1) consiste en una configuración de dos sondajes. En uno de ellos se introduce un martillo, fijo a las paredes mediante un *packer*, que funciona como fuente. En el otro sondaje se dispone un geófono receptor (también fijo), que registra la señal de la onda que viaja entre ambas perforaciones separadas una distancia Δx . A nivel del terreno, en un osciloscopio se registra el tiempo de viaje Δt de la onda incidente, y con ello se puede determinar la velocidad de ondas de corte del suelo (a la profundidad de ensayo) como $V_s = \Delta x / \Delta t$.

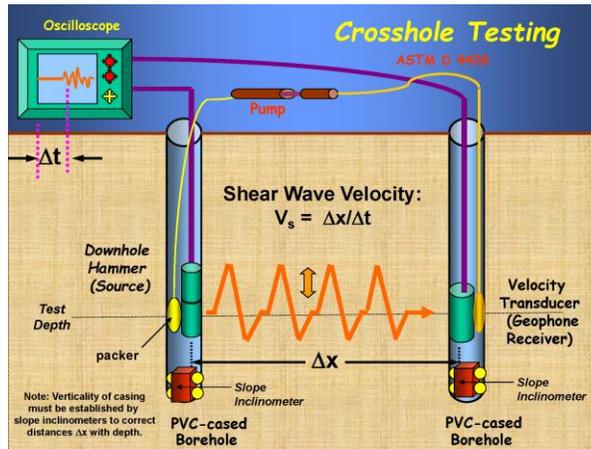


Figura 1 : Configuración ensayo Crosshole
(<http://geosystems.ce.gatech.edu/Faculty/Mayne>)

Por su parte, el ensayo Downhole (Figura 2) consta de un solo sondaje y dos receptores separados una distancia conocida (el intervalo deseado de ensayo). En superficie se genera un impacto que hace viajar un frente de ondas a ambos geófonos. Por simple geometría, se determina la distancia radial desde la fuente a cada uno de los receptores (R_1 y R_2 , respectivamente), y la correspondiente diferencia ΔR entre ellas. De igual forma que en el ensayo Crosshole, un osciloscopio mide la diferencia entre los tiempos de llegada de las ondas, y con eso se determina la velocidad de propagación de ondas de corte del suelo como $V_s = \Delta R / \Delta t$.

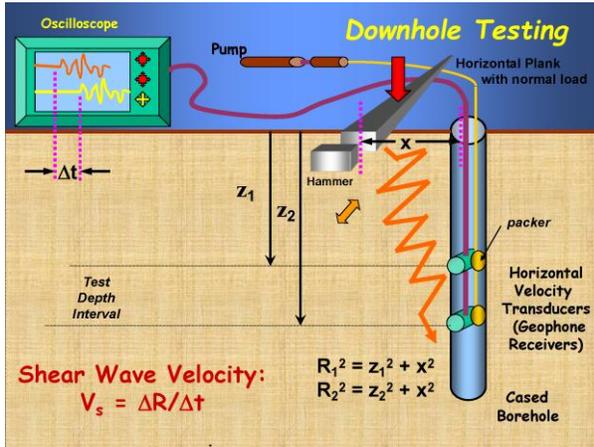


Figura 2 : Configuración ensayo Downhole
(<http://geosystems.ce.gatech.edu/Faculty/Mayne>)

Finalmente, el ensayo de Sonda de Suspensión (Figura 3) consiste en una sonda de aproximadamente 5 a 7m que ejecuta un sondaje no-encamisado relleno con fluido de perforación. Una bobina (fuente) induce una onda de presión en el fluido que se transmite a las paredes de la perforación y viaja a través del terreno. La energía que se transmite de vuelta al fluido se registra en dos geófonos biaxiales separados 1m entre sí. La diferencia entre los tiempos de viaje se usa para determinar la velocidad de ondas S promedio en una columna de espesor 1m alrededor del sondaje.

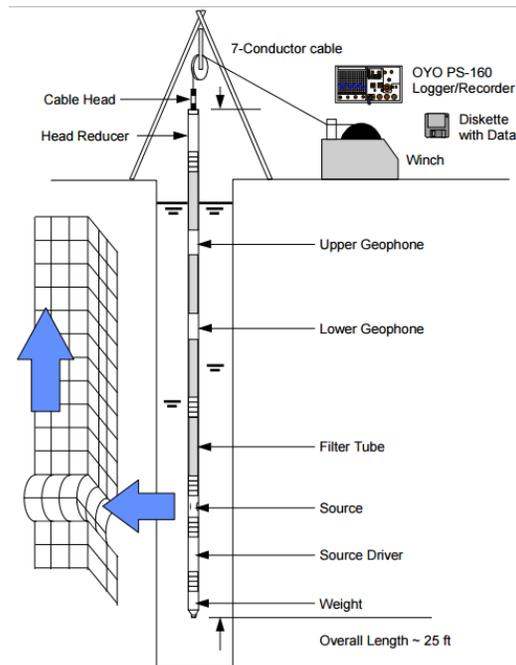


Figura 3 : Esquema ensayo Sonda de Suspensión (<http://www.geovision.com>)

2.2.2 Métodos basados en ondas superficiales

A partir de los años 70, con la invención de los analizadores de señales portátiles capaces de desarrollar análisis de Fourier, se pudo avanzar considerablemente en el uso de ondas superficiales para la estimación de propiedades dinámicas del terreno.

Los métodos basados en ondas superficiales, a diferencia de los métodos tradicionales, brindan la ventaja que son métodos no invasivos y que, en general, pueden ser empleados en entornos urbanos e industriales sin mayores dificultades y de forma rápida y económica. (Padrón Lugo, 2013). Además, hacen uso de la propiedad dispersiva de las ondas de superficie; esto es, que la velocidad de propagación (velocidad de fase) depende de la frecuencia.

De acuerdo a la fuente que se utiliza para entregar energía al sistema y producir frentes de ondas superficiales en el terreno, estos métodos se clasifican en dos categorías generales: activos y pasivos.

2.2.2.1 *Métodos Activos.*

RegISTRAN ondas Rayleigh inducidas por una fuente impulsiva o por una fuente oscilatoria con movimientos verticales armónicos. Los sensores (geófonos) son ubicados en la superficie del terreno, en línea con la fuente, y las velocidades de fase (como función de la frecuencia) se calculan a partir de un análisis de tipo espectral. Estos métodos son útiles para explorar profundidades de entre 10 a 30 metros, aproximadamente. Para lograr caracterizar profundidades mayores se necesita una fuente con mayor alcance (input de mayor energía).

Los métodos activos para la medición de ondas superficiales considerados por el DS61 son: Spectral Analysis of Surface Wave (SASW) (Nazarian y Stokoe 1984; Stokoe et al.1989) y Multi-Channel Analysis of Surface Wave (MASW) (Park et al. 2002)

El método SASW utiliza como información fundamental la diferencia de fase de las señales que llegan a dos receptores que se ubican a distancias conocidas con respecto a la fuente (D y x , según Figura 4a), que puede ser impulsiva, armónica, o de ruido aleatorio. Las señales registradas se llevan al dominio de la frecuencia por medio de la Transformada Rápida de Fourier (FFT), y luego se calcula la diferencia de fase $\phi(f)$ para frecuencia f predominante de la fuente. Con ello, se puede obtener el tiempo de viaje de las ondas entre receptores $\Delta t(f) = \phi(f) / 2\pi f$, la velocidad de ondas Rayleigh $v_R(f) = x / \Delta t(f)$, y la longitud de onda $\lambda_R = v_R(f) / f$. Esto permite obtener la *curva de dispersión del*

terreno (velocidad de fase versus frecuencia) (Figura 4b), y posteriormente mediante la denominada *inversión de la curva de dispersión* (Nazarian, 1984), es posible obtener la relación entre V_s y profundidad.

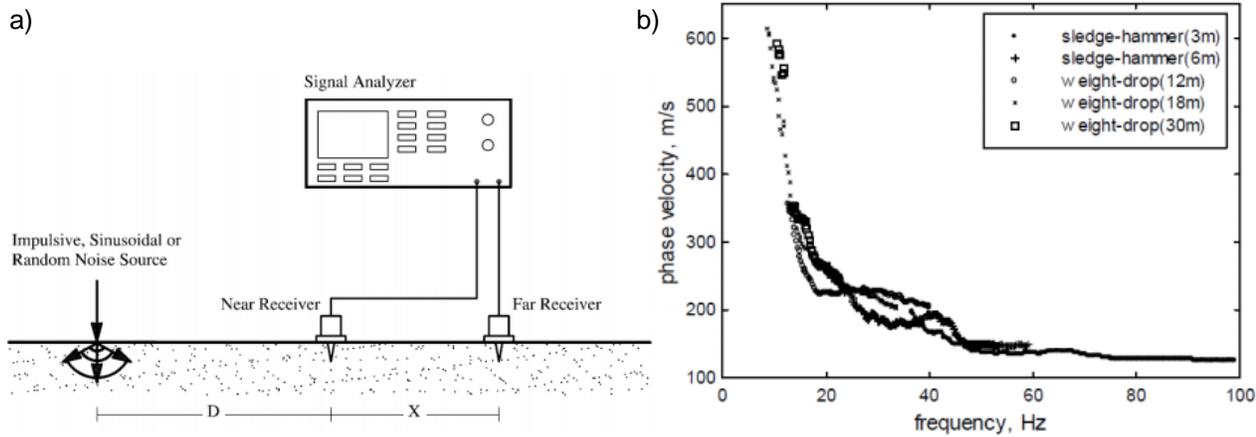


Figura 4 : Ensayo SASW (Adaptado de Sáez, 2015)

El método MASW por su parte, es similar a SASW. Sin embargo, permite separar de mejor manera las ondas de superficie de las ondas de cuerpo por medio de un análisis multicanal (Figura 5a) que considera la Transformada de Fourier en dos dimensiones (frecuencia-número de onda o $f-k$). La configuración típica del ensayo consiste en un arreglo de 24 geófonos separados entre 1m a 3m, y la curva de dispersión del terreno se obtiene con los peaks de energía en el espacio velocidad de fase – frecuencia (Figura 5b).

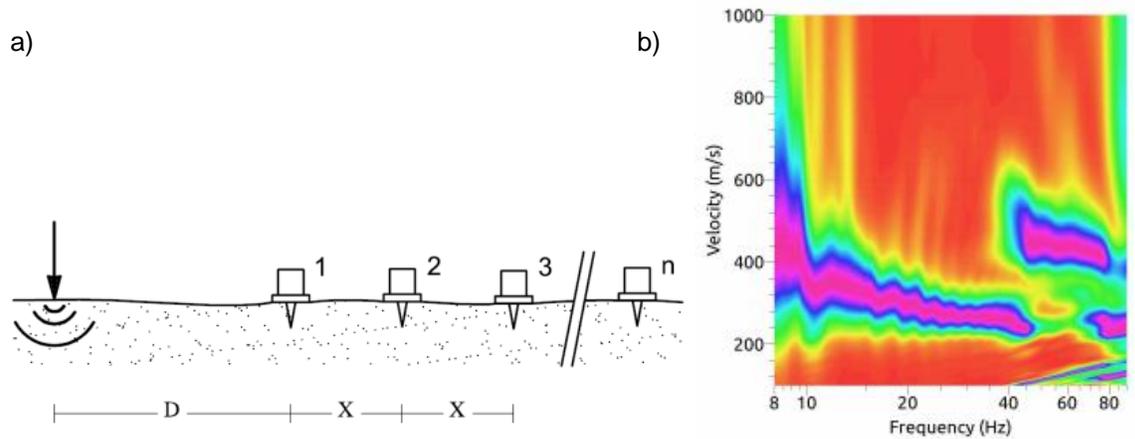


Figura 5 : Ensayo MASW (Adaptado de Sáez, 2015)

2.2.2.2 Métodos Pasivos

Son métodos basados principalmente en el análisis de microtremores (Ruido ambiental), y su objetivo es evaluar de forma indirecta y no destructiva propiedades y/o características del suelo en profundidad.

Los principales métodos pasivos disponibles actualmente son: Nakamura (Razón Espectral H/V) (Nakamura, 1989), Técnica $f-k$ (Capon, 1969), Técnica de Auto correlación Espacial (SPAC) (Aki, 1957), y Refracción de Microtremores (ReMi) (Louie, 2001); que corresponde al utilizado en esta memoria. En particular, el DS61 indica que para la medición de V_s puede utilizarse el método ReMi, pero complementado con una fuente activa (alta frecuencia) de ubicación conocida (para mejorar la resolución del perfil estratigráfico en los metros superiores del terreno).

Los microtremores se caracterizan por contener básicamente ondas superficiales del tipo Rayleigh y Love. Se presentan en un rango de frecuencias

entre 0.01 a 30 Hz, aunque la banda de interés está entre 0.1 a 10 Hz; es decir el rango en el cual parte de la energía se transmite como ondas Rayleigh y cuyos modos y velocidades de propagación se pueden estimar y medir con arreglos instrumentales y así conocer las características de los parámetros elásticos de la corteza terrestre. En general, las características espectrales de los microtremores pueden correlacionarse con las condiciones geológicas locales. Por ejemplo, los períodos predominantes menores a 0.2 segundos son característicos de rocas duras; mientras que, períodos predominantes superiores a 0.2 segundos son típicos de depósitos más blandos y de mayor potencia (Yauri, 2005).

Refracción de Microtremores (ReMi)

Este método fue propuesto por Louie (2001) y constituye uno de los más recientes avances entre los métodos geofísicos aplicados a la caracterización de áreas y evaluación de terrenos para ingeniería civil.

ReMi es un método para mediciones in situ de perfiles de velocidad de ondas de corte V_s que utiliza registros de ruido ambiental. Para la adquisición de datos se usa un sismógrafo convencional y los mismos geófonos verticales de ondas P usados en ensayos de refracción. Generalmente se disponen 24 geófonos de 4.5Hz a una distancia de 3.0m entre ellos. En el sismógrafo se graban entre 15 a 20 ventanas de ruido de entre 15 a 30 segundos cada una. Estos registros son posteriormente utilizados para construir la curva de dispersión del terreno. En el ensayo ReMi se suele utilizar expresar esta curva como *lentitud-frecuencia*, en donde la lentitud p (s/m) es simplemente el inverso de la velocidad de fase.

Es un método de alto potencial en zonas urbanas e industriales. Resulta también particularmente útil en áreas donde no se puede usar explosivos o donde

la configuración estratigráfica del suelo limita la aplicación de métodos tradicionales como refracción y reflexión sísmica (por ej., capas rígidas de poco espesor, o capas blandas entre estratos duros).

Esta técnica está basada en dos ideas fundamentales. La primera es que el equipo de adquisición de refracción sísmica puede efectivamente grabar ondas superficiales a frecuencias tan bajas como de 2 Hz (dependiendo de los tipos de geófonos utilizados). La segunda idea es que se pueden separar las ondas Rayleigh de otras ondas registradas por el equipo (Louie, 2001).

Las ventajas del ensayo ReMi, desde un punto de vista de adquisición de datos son: (i) requiere solamente de equipos estándar de refracción, (ii) no requiere de una fuente de energía de onda específica o fuerte, y (iii) trabaja mejor en ambientes con intenso ruido superficial, elemento de disturbo en ensayos de sísmica estándar. Dependiendo de las propiedades del material del subsuelo, el arreglo geométrico y tipos de sensores (distancia y frecuencia de los geófonos), el método ReMi puede identificar velocidades de ondas a profundidades mínimas de 30 metros y hasta un máximo de 100 metros.

El procesamiento de los datos obtenidos en un ensayo con el método ReMi involucra tres pasos: Análisis espectral de velocidades (diagrama $p-f$); Selección de la curva de dispersión, e Inversión de la curva de dispersión (Figura 6).

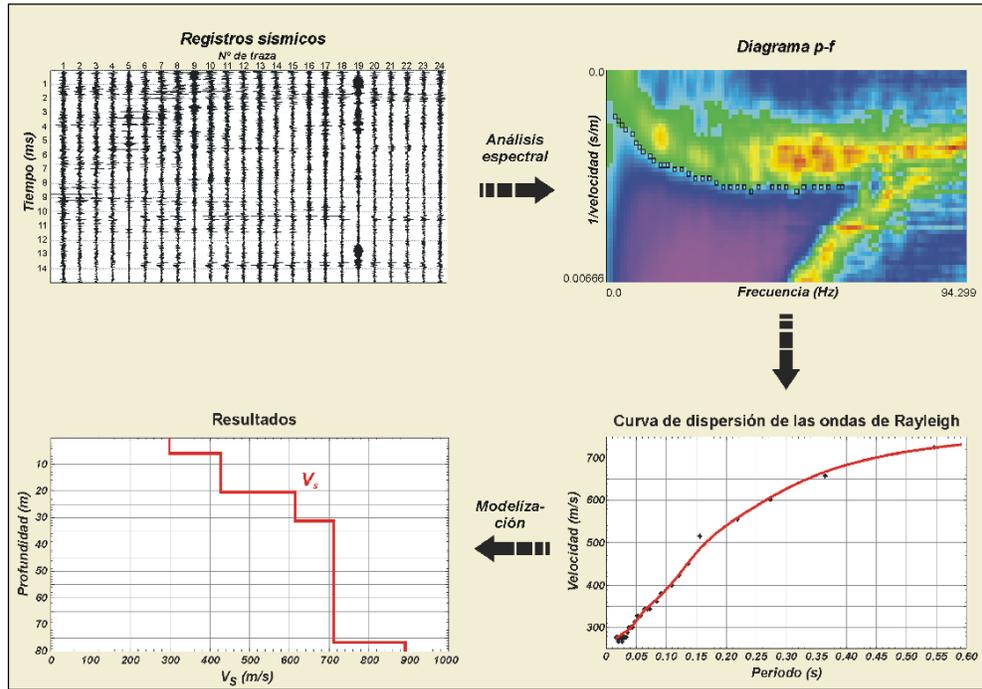


Figura 6; Resumen del procesado del método ReMi (Granda et al., 2005)

3 Metodología

Para estudiar la relevancia de la ejecución de sondajes exploratorios como complemento de las mediciones geofísicas de ondas superficiales en la clasificación sísmica de suelos, este estudio contempla cinco (5) proyectos: tres (3) del ámbito público y dos (2) del ámbito privado. Ésta elección tiene como objetivo poder dar a conocer los dos tipos de clientes solicitantes de clasificaciones sísmicas, ya que cada uno de ellos posee un perfil distinto.

Para la selección de los proyectos, se adoptaron los siguientes criterios:

- Debían contener estudios de mecánica de suelos con fecha de realización posterior al año 2010, ya que con anterioridad el DS61 no existía.
- Los estudios realizados debían contemplar por lo menos un estudio geofísico con dos perfiles sísmicos, con arreglos de a lo menos 12 geófonos por perfil.
- Cada estudio debía contemplar un sondaje exploratorio de 30 metros dentro del área donde se realizó la geofísica.
- Este sondaje debía tener como antecedente el perfil estratigráfico detallado, con descripciones con un máximo de 5 metros entre estratos, de los 30 metros superiores del subsuelo.
- El estudio se limitó al caso de suelos arenosos, para así utilizar los valores de N medidos en los ensayos de penetración estándar (SPT) disponibles en la clasificación del terreno.
- Se escogieron proyectos de distintas regiones del país que cumplieran con los requisitos anteriores.

Para la estimación del parámetro V_{s30} se utiliza el método geofísico ReMi (*Refraction Microtremors*); que es uno de los métodos contemplados por el DS61 para estos efectos.

Los análisis fueron realizados con la siguiente metodología, empleada en los 5 proyectos de manera idéntica:

1. Etapa de Pre-Terreno: Se recopila información disponible de la zona de estudio, luego se realiza un planteamiento de ubicación de los perfiles sísmicos y sondaje, dependiendo de la topografía de cada terreno en particular. Lo ideal es para la ejecución del ensayo ReMi es tener líneas rectas con la mayor distancia longitudinal posible. Cabe mencionar que el DS61 propone que ambos perfiles sean ortogonales, mientras que para el sondaje de 30 metros se busca un lugar de a lo menos $15m^2$ que esté preferente en la misma curva de nivel para evitar pendientes y de esta forma instalar el equipo de sondaje sin mayor problema.

Equipos utilizados

- a) 24 geófonos de componente vertical de 4,5 HZ.
- b) 1 Sismógrafo Summit X Stream 255-001.
- c) 2 cables de transmisión, donde se conectan los geófonos.
- d) 1 computador portátil con el software Summit Acquisition Tool.
- e) 1 navegador GPS, marca Garmin Modelo Etrex 10.
- f) 1 batería de 12 v.
- g) Cable conector computador portátil con sismógrafo.
- h) Libreta para apuntes.
- i) Placa metálica de espesor 8 mm y área 300 x 300 mm.
- j) Mazo de 12 kg (fuente activa)

- k) Huincha 100 m.
 - l) Sonda longyear 38, Capacidad de perforación 350 metros en HQ, 550 metros, NQ 750 metros en BQ.
 - m) 1 Bomba lodo FMC 5,35 Motor Deutz 2 pistones Diésel.
2. Etapa de terreno: Se instala cada equipo, para así poder realizar los ensayos ReMi requeridos. Luego de aplicar el procedimiento descrito en la Figura 6, se realiza una estimación de estratos dependientes de estas velocidades para finalmente obtener un perfil unidimensional de V_s en profundidad (a contar del nivel de terreno natural). Como resultado de este ensayo obtenemos un V_{s30} por perfil, y según el DS61, se escoge el perfil con el menor valor para estipularlo como el V_{s30} representativo del terreno.
3. Interpretación de ensayos SPT: Los valores de N medidos en los ensayos de penetración estándar (SPT) disponibles fueron corregidos por confinamiento (c/r a una presión vertical efectiva $p_a=1\text{kgf/cm}^2\approx 100\text{kPa}$) en el punto de medición de modo de obtener el índice N_1 que pide el DS61 para clasificar suelos arenosos. Esta corrección se expresa matemáticamente como $N_1=N\cdot C_N$, donde el factor C_N se obtuvo según la expresión de Liao y Whitman (1986), $C_N=(p_a/\sigma'_v)^{0.5}\leq 1.7$.

Cuando se presentó rechazo, para el cálculo de N_1 se asignó el máximo valor de N; esto con el único objeto de poder graficar la secuencia completa del ensayo en profundidad.

4. Clasificación sísmica del terreno: Una vez obtenido V_{s30} del ensayo ReMi para cada proyecto y los valores del parámetro N_1 del ensayo SPT en profundidad, se procede a clasificar sísmicamente el suelo según el DS61.

Se consideran dos criterios: (i) usando sólo el criterio basado en V_s , y (ii) usando la información de V_{s30} más la proveniente del sondaje.

La tabla 2 resume los proyectos escogidos en este estudio y sus principales características.

N°	Ubicación		Nombre proyecto	Zona sísmica (NCh 433)
	Región	Comuna		
I	VIII	San Pedro de la Paz	CESFAM Loma Colorada	3
II	RM	Pudahuel	Edificio DRAM	2
III	V	Santo Domingo	Edificio Consistorial Santo Domingo	3
IV	X	Puerto Montt	Edificio Dos Esteros	2
V	RM	Pudahuel	Parque Industrial ENEA	2

Tabla 2: Resumen proyectos en estudio.

Para efectos ilustrativos, a lo largo de la memoria se presenta el análisis en detalle de dos de los proyectos seleccionados. Para los otros 3 restantes, sólo se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos.

4 Resultados

4.1 Proyecto Cesfam Loma Colorada

Con motivo de llevar a cabo el proyecto CESFAM Loma Colorada, se solicitó al suscrito realizar un estudio geofísico de manera de caracterizar sísmicamente el suelo donde se emplazará la edificación de 1.555 m², ubicado en San Pedro de la Paz, VIII Región del Biobío (Figura 7).

El estudio consistió en la medición de perfiles sísmicos, de manera tal de obtener el parámetro V_{s30} mediante el método ReMi.



Figura 7: Emplazamiento del proyecto Loma Colorada

4.1.1 Ejecución del estudio

La obtención de datos en terreno fue realizada en el mes de Agosto del 2013, para lo cual se dispusieron dos perfiles sísmicos, uno con una longitud de 72 metros, utilizando de ésta manera 24 geófonos con un distanciamiento entre ellos de 3 metros, y otro perfil de 51 metros, utilizando en este caso 17 geófonos distanciados a 3 metros.

En la figura 8 se muestra la disposición de los perfiles en terreno:

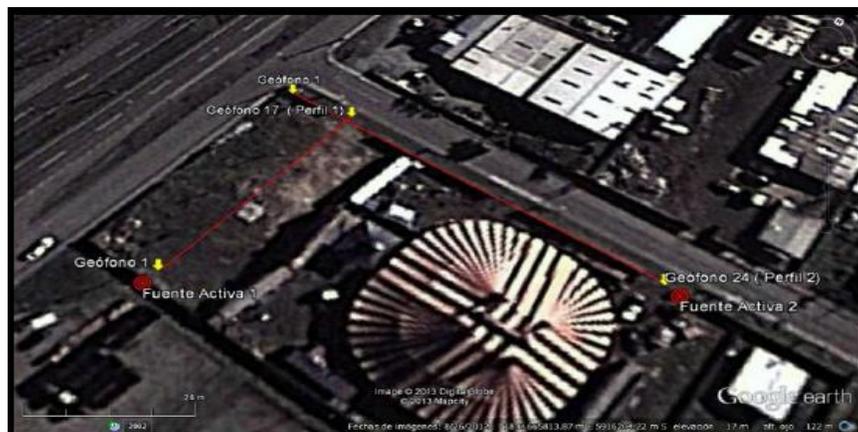


Figura 8: Disposición de perfiles en terreno Loma Colorada.

4.1.2 Análisis Perfil 1: Longitud 51 metros.

Registro del ruido ambiental en 17 geófonos durante 15 segundos.

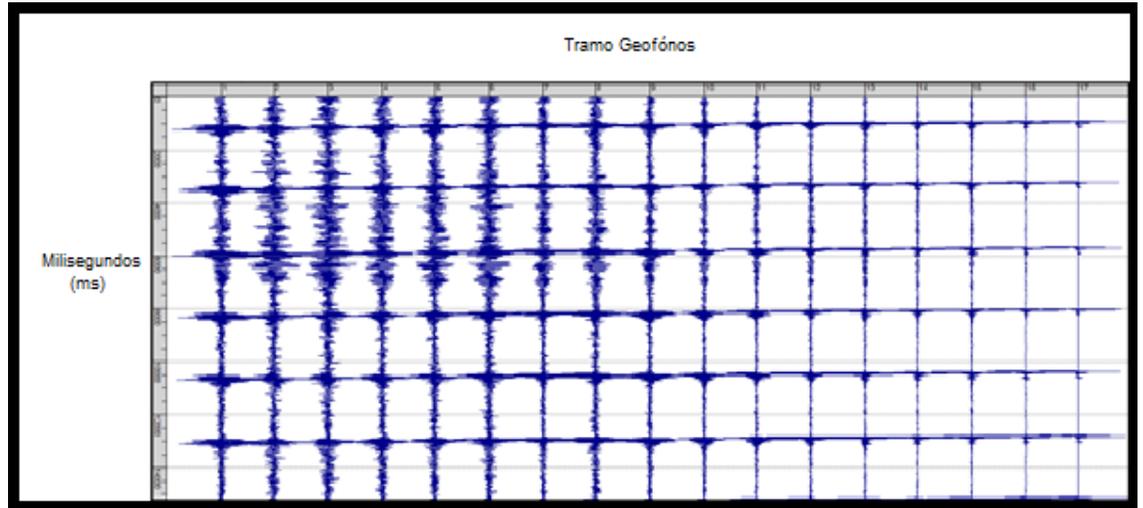


Figura 9: Registro perfil 1, Loma Colorada

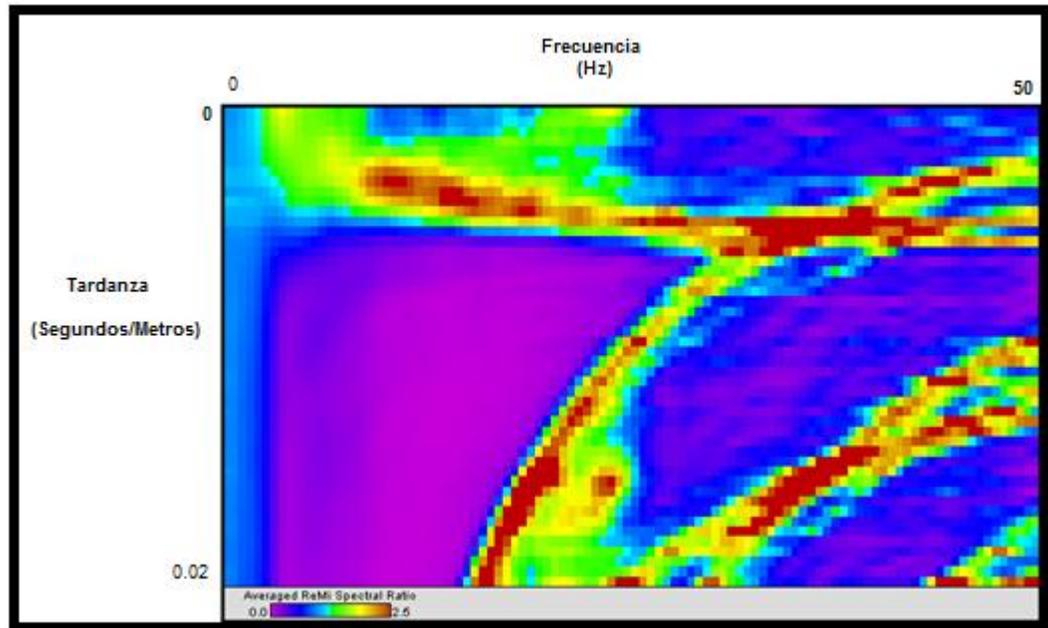


Figura 10: Espectro de velocidades de frecuencia v/s tardanza (p-f) Perfil 1, Loma Colorada

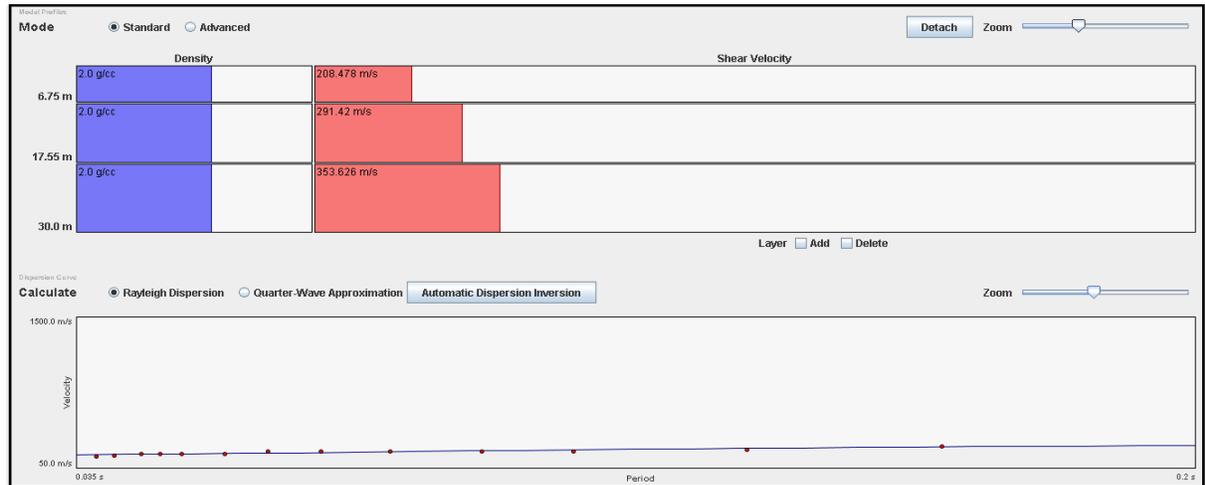


Figura 11: Interpretación de microtremores Perfil 1, Loma Colorada

PERFIL - 1		
TRAMO [m]		Vs [m/s]
0	6,75	208,48
6,75	17,55	291,42
17,55	30	353,63

Tabla 3: Velocidad de ondas de corte en profundidad perfil 1, Loma Colorada

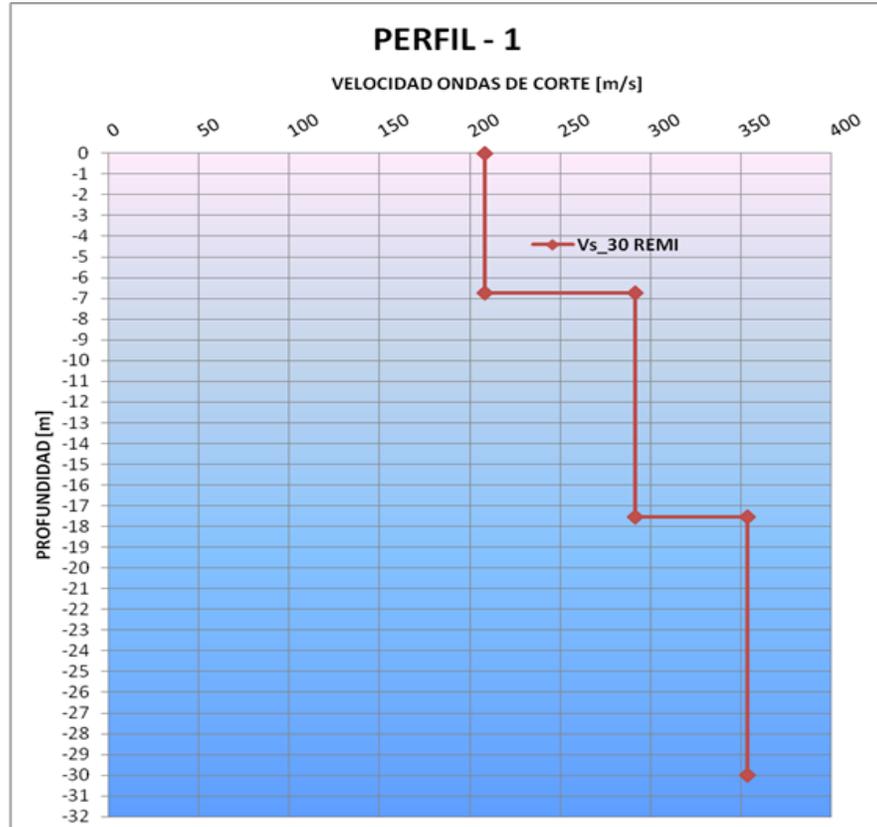


Gráfico 1: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 1, Loma Colorada

4.1.3 Análisis Perfil 2: Longitud 72 metros.

Registro del ruido ambiental en 24 geófonos durante 15 segundos.

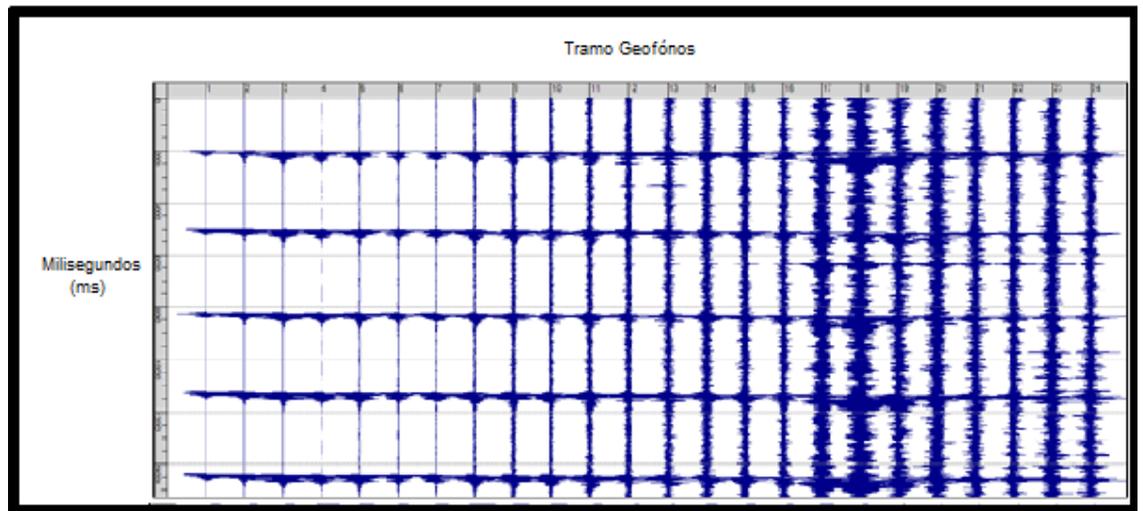


Figura 12: Registro Perfil 2, Loma Colorada

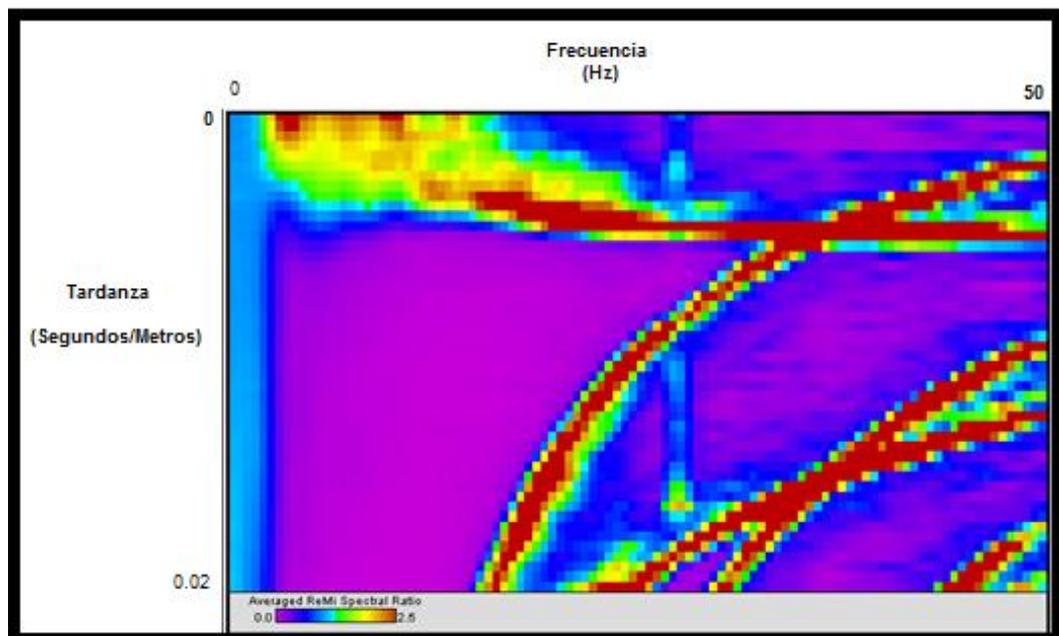


Figura 13: Espectro de velocidades de frecuencia v/s tardanza (p-f) Perfil 2, Loma Colorada

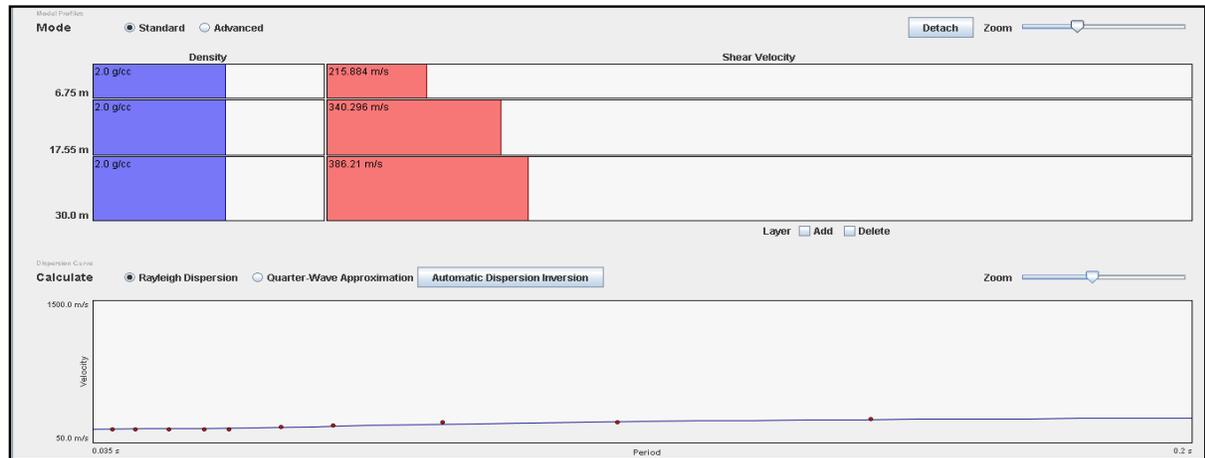


Figura 14: Interpretación de microtremores perfil 2, Loma Colorada

PERFIL - 2		
TRAMO [m]		Vs [m/s]
0	6,75	215,88
6,75	17,55	340,30
17,55	30	386,21

Tabla 4: Velocidad de ondas de corte perfil 2, Loma Colorada

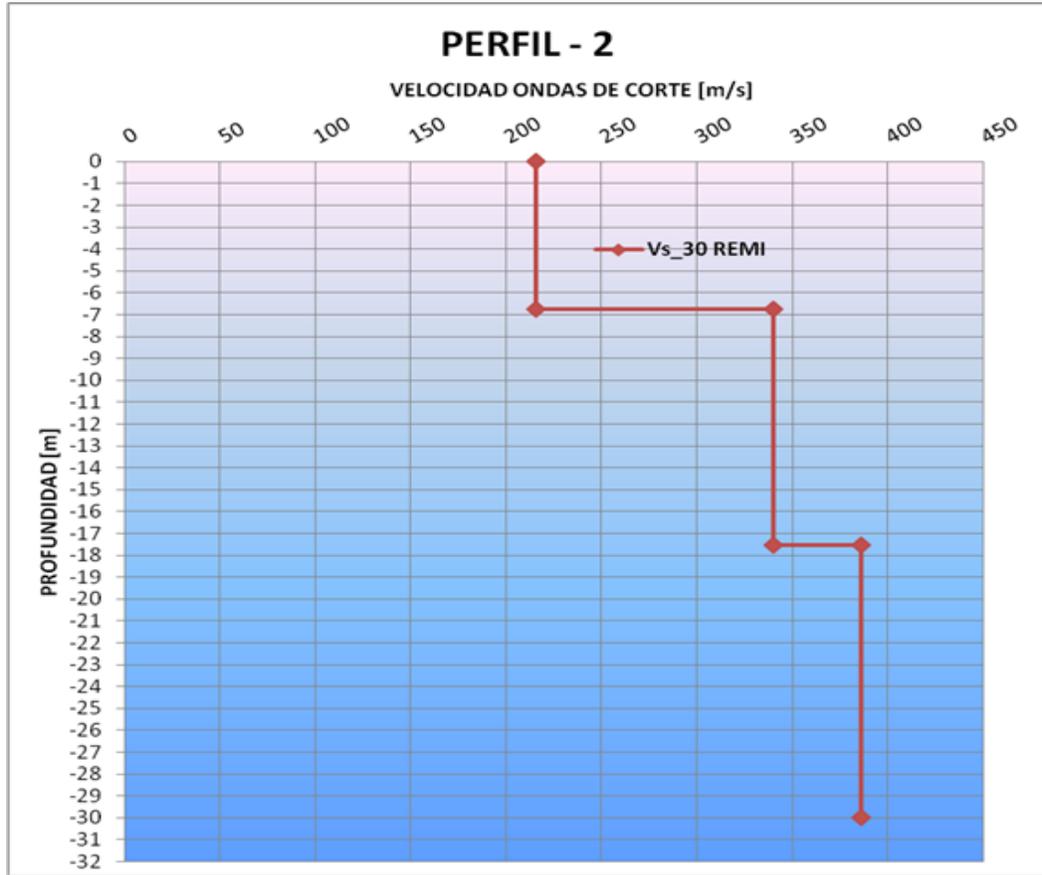


Gráfico 2: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 2, Loma Colorada

4.1.4 Determinación V_{s30} .

Perfil 1.

En la siguiente tabla se determina el valor de V_{s30} (ecuación 1) para el perfil N°1:

Determinación V_{s30}		
hi	V_{s_i}	hi/ V_{s_i}
6,75	208,48	0,03238
10,8	291,42	0,03706
12,45	353,63	0,03521
V_{s30} [m/s] =		286,69

Tabla 5: Determinación V_{s30} Perfil 1, Loma Colorada

Perfil 2.

En la siguiente tabla se determina el valor de V_{s30} para el perfil N°2, utilizando la ecuación descrita anteriormente:

Determinación V_{s30}		
hi	V_{s_i}	hi/ V_{s_i}
6,75	215,88	0,0312669
10,8	340,30	0,0317371
12,45	386,21	0,0322363
V_{s30} [m/s] =		314,99

Tabla 6: Determinación V_{s30} Perfil 2, Loma Colorada

4.1.5 Sondaje Exploratorio 30 metros.

La ejecución del sondaje comenzó el día 07-02-2014, finalizando el día 09-02-2014, y su ubicación en coordenadas UTM se entregan a continuación.

Sondaje	Zona	C. Este	C. Norte
1	18H	665818	5916188

Tabla 7: Coordenadas de emplazamiento de sondaje, Loma Colorada



Figura 15: Emplazamiento de sondaje de 30m de profundidad, Loma Colorada

Unidad	Profundidad (m)		Tipo de Suelo
	Desde	Hasta	
U - 1	0.00	7.00	Arena. Color Café grisáceo, humedad alta, compacidad alta y plasticidad baja. Estrato de suelo natural clasifica como SP según USCS.
U - 2	7.00	12.05	Arena. Color gris, humedad alta, compacidad alta y plasticidad baja. Estrato de suelo natural clasifica como SP según USCS.
U - 3	12.05	18.00	Arena. Color gris, humedad alta, compacidad alta y plasticidad baja. Estrato de suelo natural clasifica como SP según USCS.
U - 4	18.00	23.08	Arena. Color gris, humedad alta, compacidad alta y plasticidad baja. Estrato de suelo natural clasifica como SP según USCS.
U - 5	23.08	29.00	Arena. Color gris, humedad alta, compacidad alta y plasticidad baja. Estrato de suelo natural clasifica como SP según USCS.
U - 6	29.00	30.00	Arena. Color gris, humedad alta, compacidad alta y plasticidad baja. Estrato de suelo natural clasifica como SP según USCS.

Tabla 8: Perfil estratigráfico predominante sondaje Loma Colorada

Muestra	Tipo Suelo	Profundidad	C _N	N	N ₁
1	SM	1,00	1,70	30	51,00
2	SM	2,00	1,70	34	57,80
3	SM	3,00	1,40	26	36,41
4	SM	4,00	1,21	58	70,34
5	SM	5,00	1,08	70	75,93
6	SM	6,00	0,99	65	64,36
7	SM	7,00	0,92	77	70,59
8	SM	8,00	0,86	67	57,45
9	SM	9,00	0,81	67	54,17
10	SM	10,00	0,77	86	65,96
11	SM	11,00	0,73	100	73,13
12	SM	12,00	0,70	100	70,01
13	SM	13,00	0,67	100	67,27
14	SM	14,00	0,65	100	64,82
15	SM	15,00	0,63	100	62,62
16	SM	16,00	0,61	100	60,63
17	SM	17,00	0,59	100	58,82
18	SM	18,00	0,57	100	57,17
19	SM	19,00	0,56	100	55,64
20	SM	20,00	0,54	100	54,23
21	SM	21,00	0,53	100	52,93
22	SM	22,00	0,52	100	51,71
23	SM	23,00	0,51	100	50,57
24	SM	24,00	0,50	100	49,51
25	SM	25,00	0,49	100	48,51
26	SM	26,00	0,48	100	47,57
27	SM	27,00	0,47	100	46,68
28	SM	28,00	0,46	100	45,83
29	SM	29,00	0,45	100	45,04

30	SM	30,00	0,44	100	44,28
----	----	-------	------	-----	-------

Tabla 9: Tabla SPT 30 metros sondaje Loma Colorada

Nota: desde la profundidad de 11 metros con respecto al nivel de terreno natural se obtienen rechazos en el ensayo SPT.

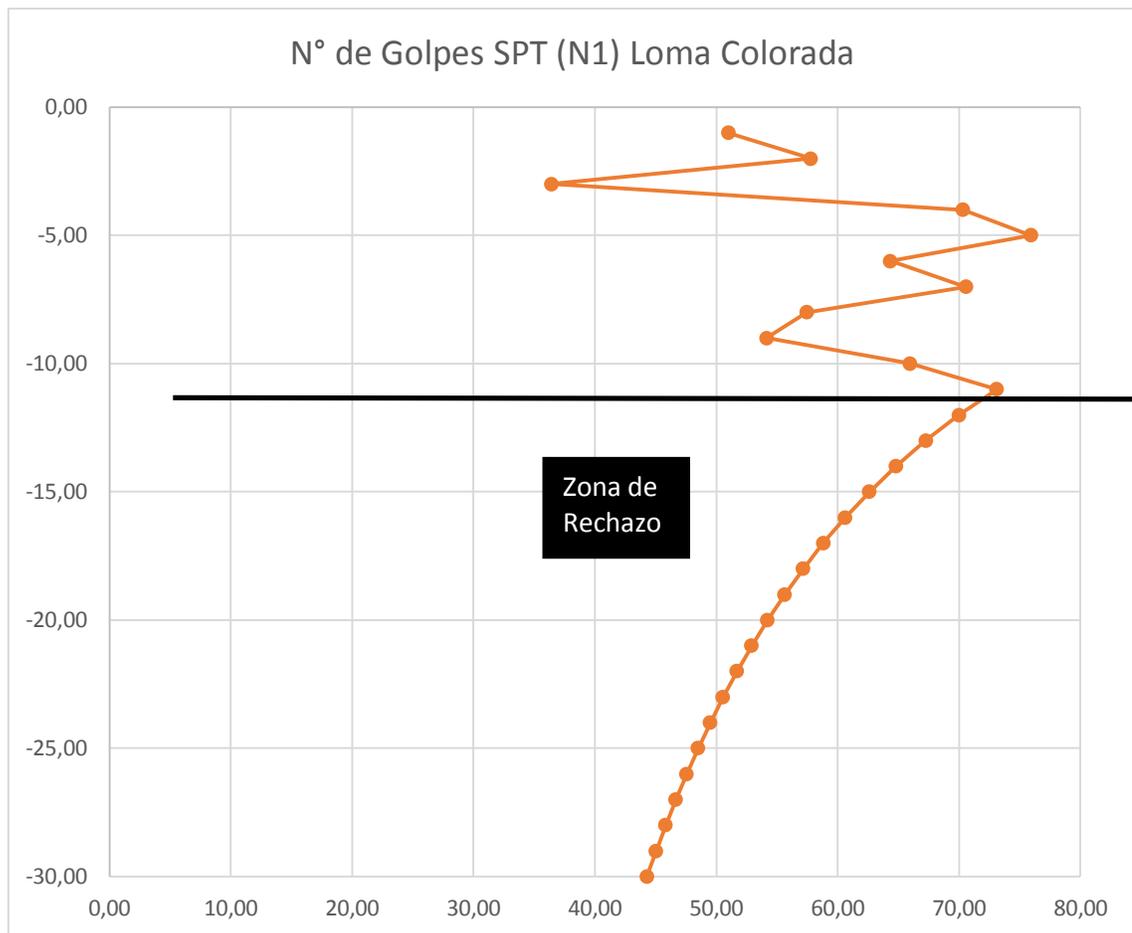


Gráfico 3: N° de golpes SPT (N1) en profundidad Proyecto Loma Colorada.

4.2 Descripción del proyecto Condominio Dos Esteros Puerto Montt.

Con motivo de llevar a cabo el proyecto para el diseño y construcción de un conjunto habitacional conformado por edificios de 4 a 5 pisos sin subterráneos, emplazados en una superficie de 2 Ha., se solicitó al suscrito realizar un estudio geofísico de manera de caracterizar sísmicamente el suelo del sector, ubicado en en avenida dos esterós, lote R4, Puerto Montt, Región de los Lagos.

El estudio consistió en la medición de perfiles sísmicos, de manera tal de obtener el parámetro V_{s30} mediante el método ReMi.

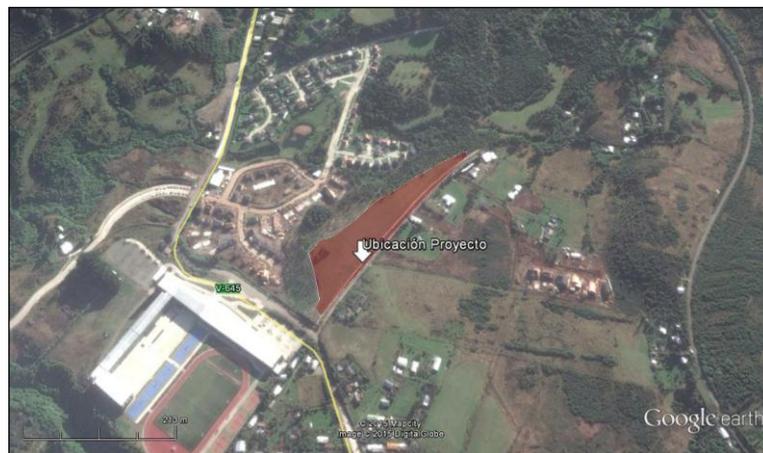


Figura 16: Emplazamiento del proyecto Condominio Dos Esteros

4.2.1 Ejecución Del Estudio.

La obtención de datos en terreno fue realizada en el mes de marzo del 2015, para lo cual se dispusieron dos Perfiles sísmicos, con una longitud de 72 y 57 metros, utilizando de esta manera 24 y 19 geófonos respectivamente con un distanciamiento entre geófonos de 3 metros.

En la siguiente figura se muestra la disposición de los perfiles en terreno:



Figura 17: Disposición de perfiles en terreno Condominio Dos Esteros

Perfil N°	Geófono N°	Zona	C. Este	C. Norte
1	1	18G	676223	5405319
1	24	18G	676270	5405371
2	1	18G	676264	5405324
2	19	18G	676222	5405359

Tabla 10: Ubicación geófonos extremos, Dos Esteros

4.2.2 Análisis Perfil 1: Longitud 72 metros.

Registro del ruido ambiental en 24 geófonos durante 15 segundos.

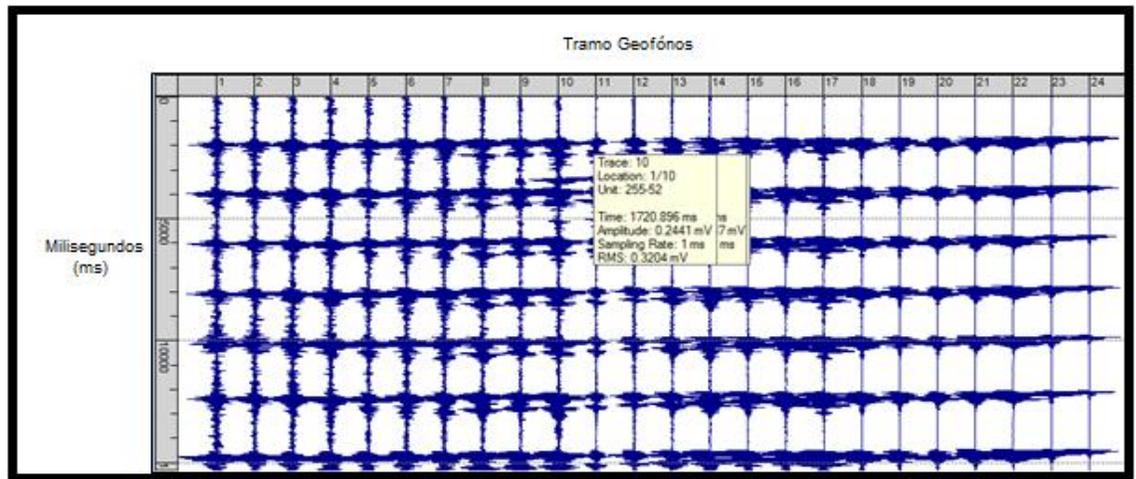


Figura 18: Registro Perfil 1, Dos Esteros

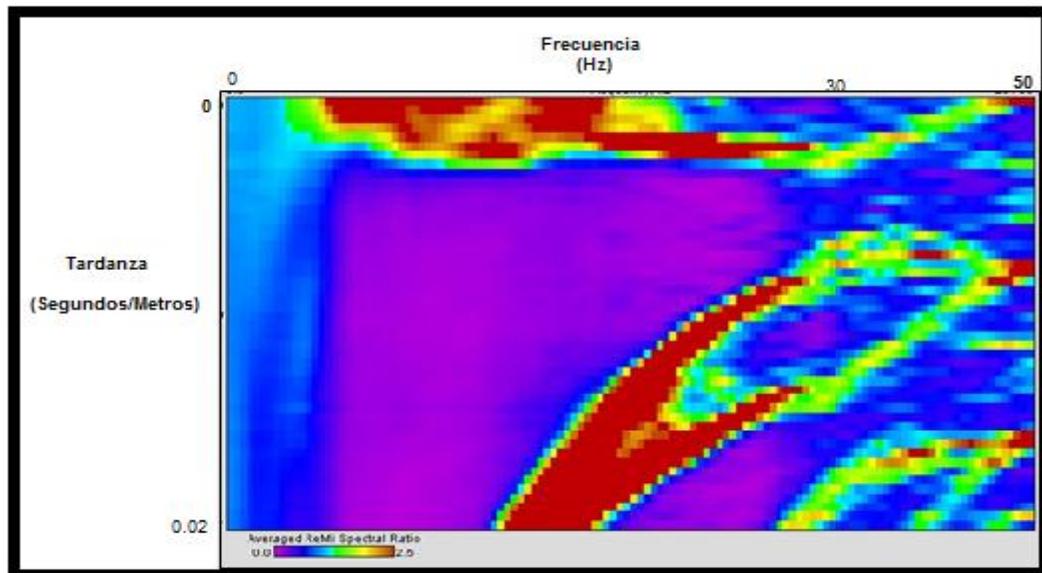


Figura 19: Espectro de velocidades de frecuencia v/s tardanza (p-f) Perfil 1, Dos Esteros

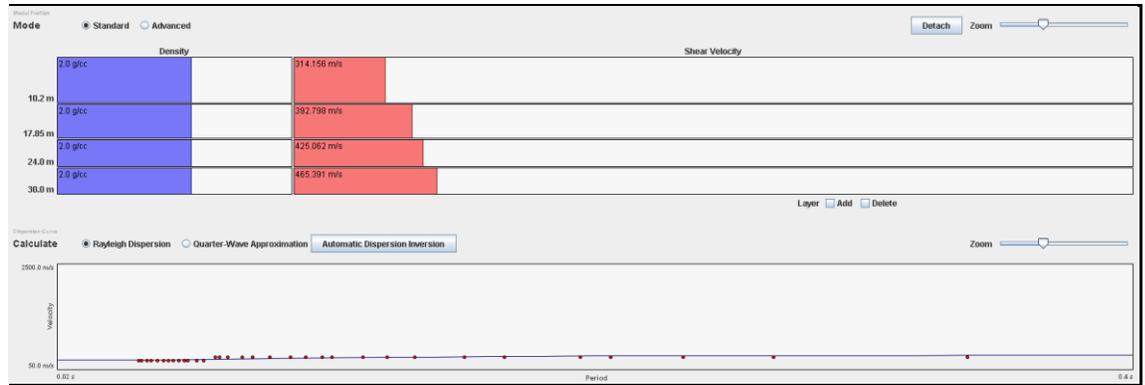


Figura 20: Interpretación de microtremores Perfil 1, Dos Esteros

PERFIL - 1		
TRAMO [m]		Vs [m/s]
0,00	10,20	314,156
10,20	17,85	392,798
17,85	24,00	425,062
24,00	30	465,39

Tabla 11: Velocidad de ondas de corte en profundidad, Dos Esteros

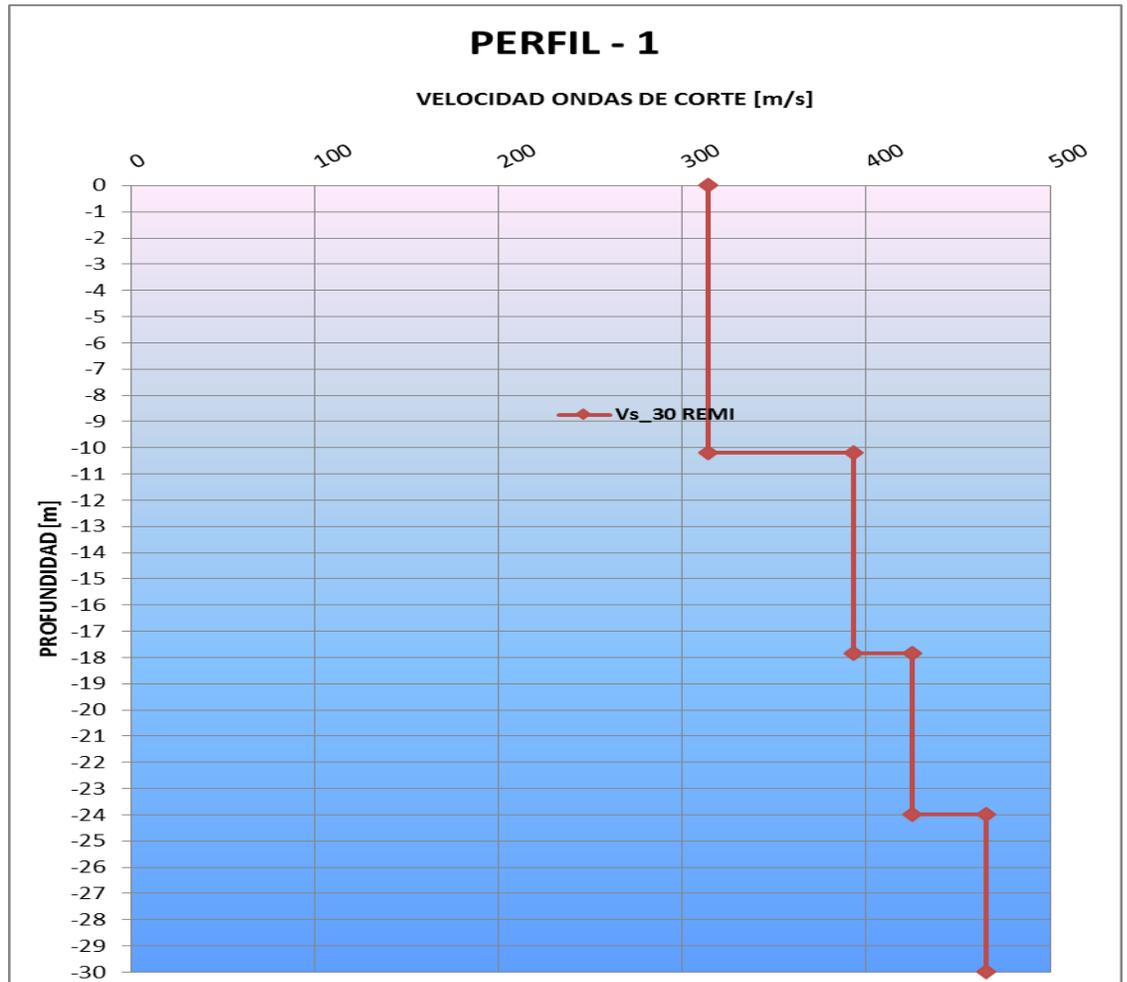


Gráfico 4: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 1, Dos Esteros

4.2.3 Análisis Perfil 2: Longitud 54 metros.

Registro del ruido ambiental en 19 geófonos durante 15 segundos.

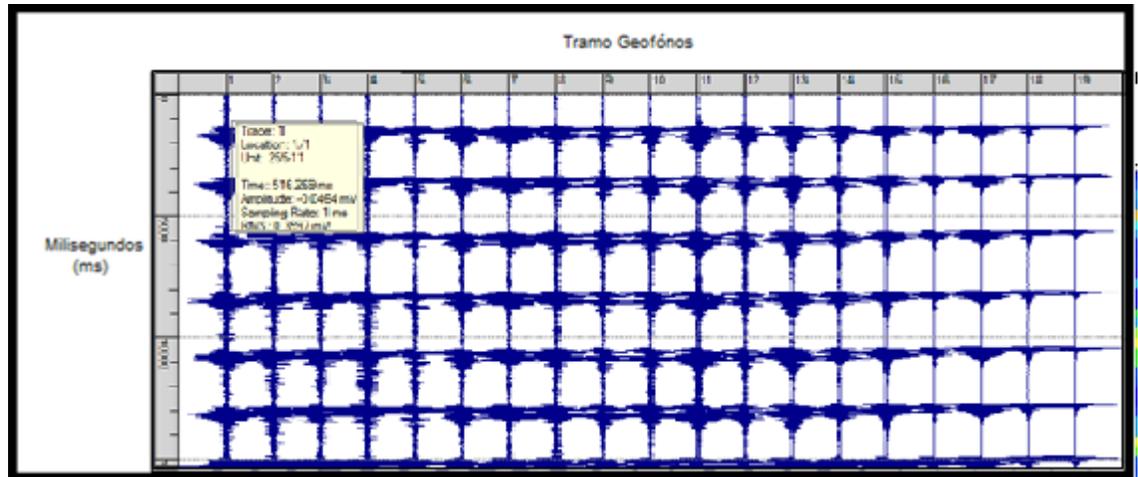


Figura 21: Registro Perfil 2, Dos Esteros

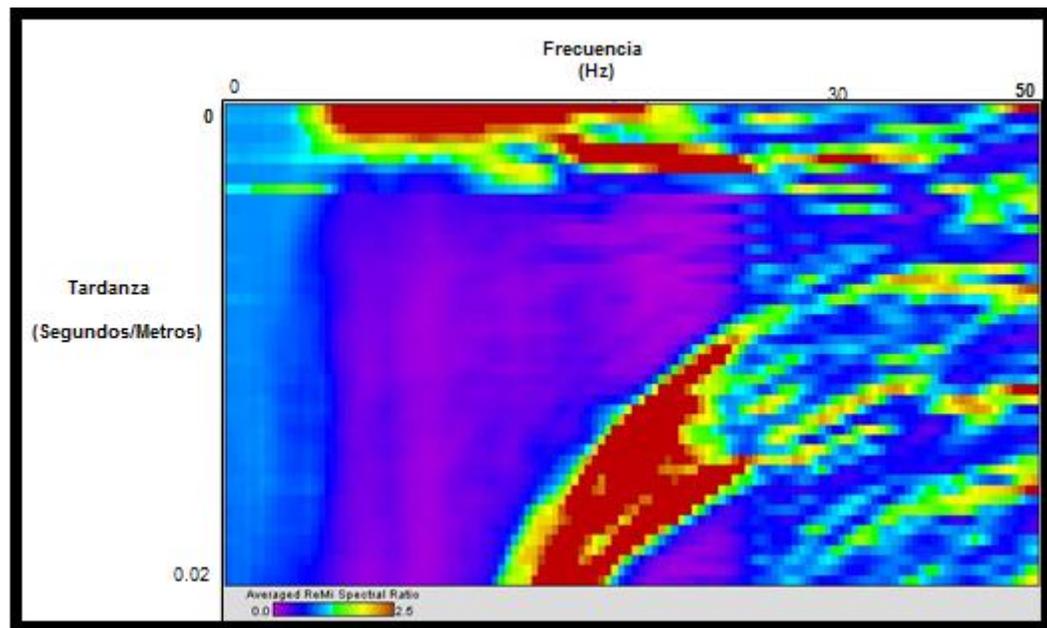


Figura 22: Espectro de velocidades de frecuencia v/s tardanza (p-f) Perfil 2, Dos Esteros

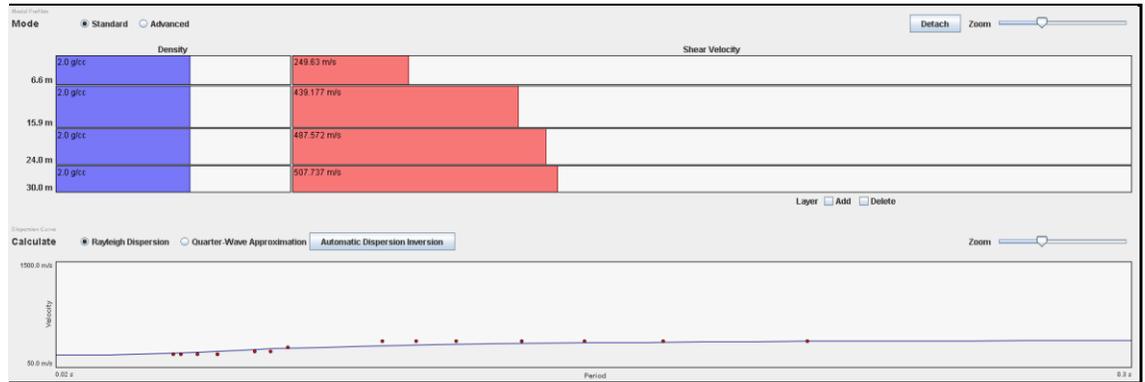


Figura 23: Interpretación de microtemores Perfil 2, Dos Esteros

PERFIL - 2		
TRAMO [m]		Vs [m/s]
0,00	6,60	249,630
6,60	15,90	439,177
15,90	24,00	487,572
24,00	30	507,737

Tabla 12: Velocidad de ondas de corte en profundidad, Dos Esteros

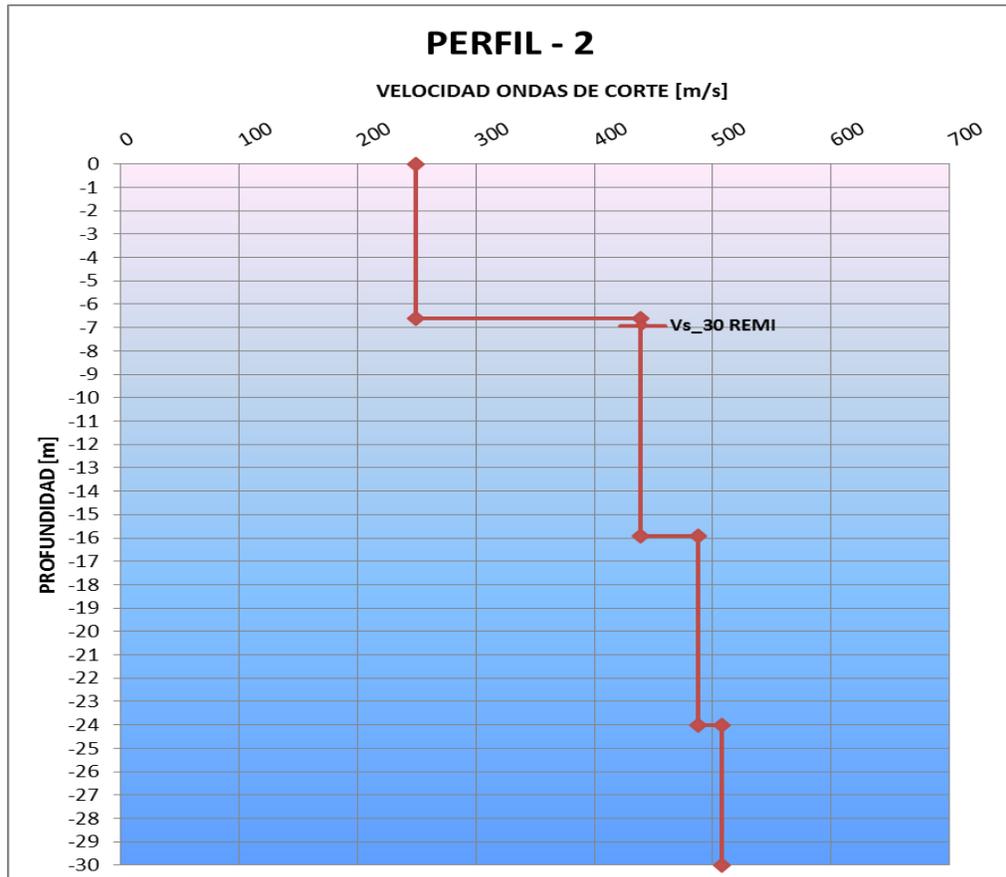


Gráfico 5: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 2, Dos Esteros

4.2.4 Determinación V_{s30} .

Perfil 1.

En la siguiente tabla se determina el valor de V_{s30} para el perfil N°1, utilizando la ecuación descrita anteriormente:

Determinación V_{s30}		
hi	V_{s_i}	hi/ V_{s_i}
10,200	314,156	0,032
7,650	392,798	0,019
6,150	425,062	0,014
6,00	465,39	0,013
V_{s30} [m/s] =		378,29

Tabla 13: Determinación V_{s30} Perfil 1, Dos Esteros

Perfil 2.

En la siguiente tabla se determina el valor de V_{s30} para el perfil N°2, utilizando la ecuación descrita anteriormente:

Determinación V_{s30}		
hi	V_{s_i}	hi/ V_{s_i}
6,60	249,63	0,03
9,30	439,18	0,02
8,10	487,57	0,02
6,00	507,737	0,01
V_{s30} [m/s] =		394,50

Tabla 14: Determinación V_{s30} Perfil 2, Dos Esteros

4.2.5 Sondaje Exploratorio 30 metros.

La ejecución del sondaje comenzó el día 20-05-2015, finalizando el día 22-05-2015, y su ubicación en coordenadas UTM se entregan a continuación.

Sondaje	Zona	C. Este	C. Norte
1	18G	676237	5405339

Tabla 15: Coordenadas de emplazamiento de sondaje, Dos Esteros



Figura 24: Emplazamiento de sondaje de 30 metros de profundidad, Dos Esteros

Perfil Estratigráfico

Unidad	Profundidad (m)		Tipo de Suelo
	Desde	Hasta	
U - 1	0.00	2.90	Limo , color café, plasticidad baja, dilatancia rápida, humedad media, estructura homogénea, consistencia blanda. Estrato de suelo natural clasifica como ML según USCS.
U - 2	2.90	7.45	Arena Limosa , color gris, plasticidad media, humedad baja, compacidad baja, estructura homogénea, dilatancia rápida. Estrato de suelo natural que clasifica como SM según USCS.
U - 3	7.45	12.45	Arena Limosa , color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad media, estructura homogénea, dilatancia rápida. Estrato de suelo natural que clasifica como SM según USCS.
U - 4	12.45	17.45	Arena Limosa , color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad media, estructura homogénea, dilatancia rápida. Estrato de suelo natural que clasifica como SM según USCS.
U - 5	17.45	22.00	Arena Limosa , color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida. Estrato de suelo natural que clasifica como SM según USCS.
U - 6	22.00	27.45	Arena Limosa , color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida. Estrato de suelo natural que clasifica como SM según USCS.
U - 7	27.45	30.00	Arena Limosa , color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida. Estrato de suelo natural que clasifica como SM según USCS.

Tabla 16: Perfil estratigráfico predominante sondaje exploratorio, Dos Esteros

Muestra	Tipo Suelo	Profundidad	C _N	N	N1
1	ML	1,00	1,70	9	15,30
2	ML	2,00	1,70	21	35,70
3	ML	3,00	1,40	20	28,01
4	SM	4,00	1,21	23	27,89
5	SM	5,00	1,08	24	26,03
6	SM	6,00	0,99	26	25,74
7	SM	7,00	0,92	28	25,67
8	SM	8,00	0,86	26	22,29
9	SM	9,00	0,81	27	21,83
10	SM	10,00	0,77	37	28,38
11	SM	11,00	0,73	39	28,52
12	SM	12,00	0,70	39	27,31
13	SM	13,00	0,67	28	18,83
14	SM	14,00	0,65	24	15,56
15	SM	15,00	0,63	22	13,78
16	SM	16,00	0,61	25	15,16
17	SM	17,00	0,59	27	15,88
18	SM	18,00	0,57	27	15,43
19	SM	19,00	0,56	34	18,92
20	SM	20,00	0,54	37	20,07
21	SM	21,00	0,53	36	19,05
22	SM	22,00	0,52	25	12,93
23	SM	23,00	0,51	40	20,23
24	SM	24,00	0,50	25	12,38
25	SM	25,00	0,49	40	19,40
26	SM	26,00	0,48	39	18,55
27	SM	27,00	0,47	43	20,07
28	SM	28,00	0,46	39	17,88
29	SM	29,00	0,45	43	19,37
30	SM	30,00	0,44	39	17,27

Tabla 17:
Tabla de cálculo
N1, Dos Esteros

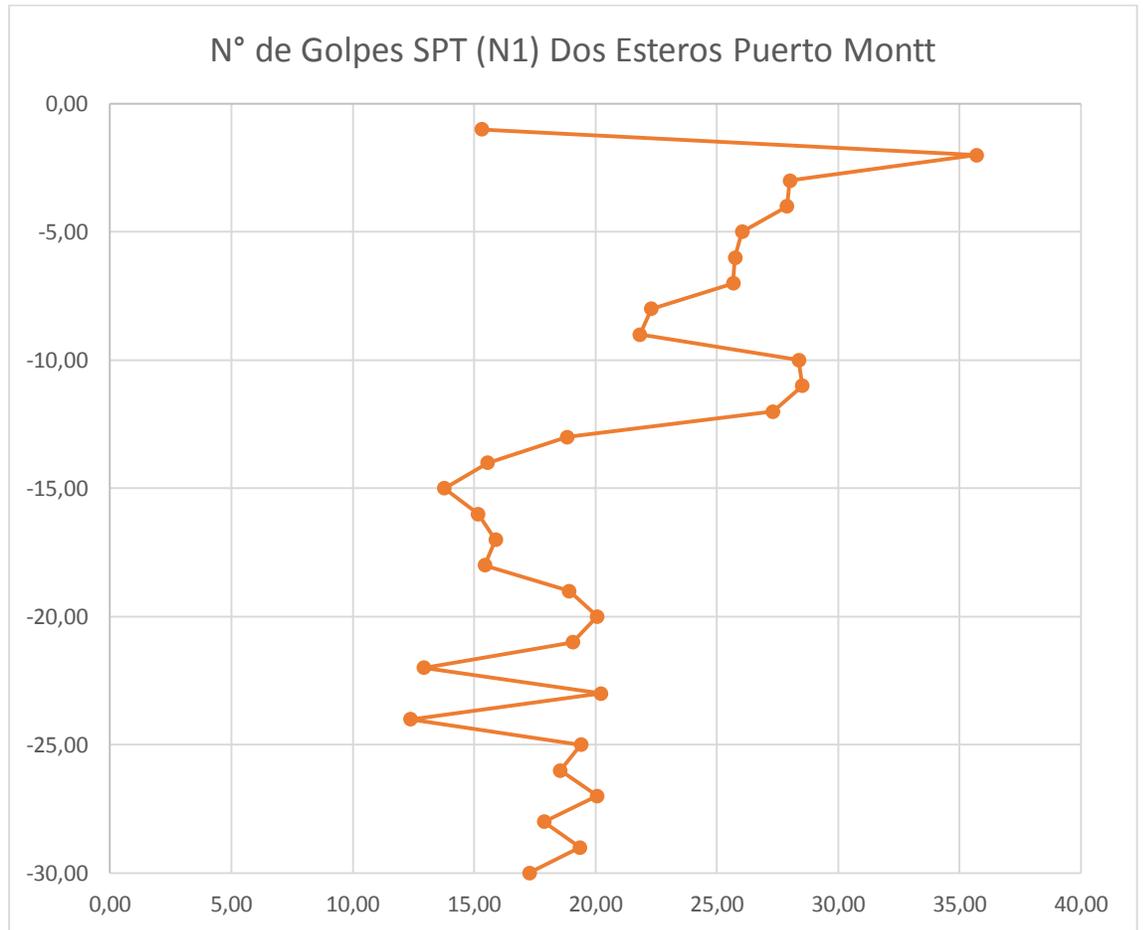


Gráfico 6: N° de golpes SPT (N1) en profundidad, Dos Esteros

4.3 Descripción del Proyecto Edificio Dram.

Con motivo de llevar a cabo el proyecto: Edificio DRAM, se solicitó al suscrito realizar un estudio geofísico de manera de caracterizar sísmicamente el suelo donde se emplazará la edificación, ubicado en el Área de concesión del aeropuerto Arturo Merino Benítez, comuna de Pudahuel, Región Metropolitana.

El estudio consistió en la medición de perfiles sísmicos, de manera tal de obtener el parámetro V_{s30} mediante el método ReMi.



Figura 25: Emplazamiento del proyecto, Edificio DRAM

Ejecución del Estudio

La obtención de datos en terreno fue realizada en el mes de Abril del 2013, para lo cual se dispusieron dos Perfiles sísmicos, ambos con una longitud de 63 metros, utilizando de esta manera 21 geófonos en cada perfil, el distanciamiento entre geófonos fue de 3 metros.

En la siguiente figura se muestra la disposición de los perfiles en terreno:



Figura 26: Disposición de perfiles en terreno, Edificio DRAM

4.3.1 Análisis Perfil 1: Longitud 72 metros.

PERFIL - 1		
TRAMO [m]		Vs [m/s]
0	2,4	127,02
2,4	7,05	267,72
7,05	30	297,34

Tabla 18: Velocidad de ondas de corte en profundidad, Edificio DRAM

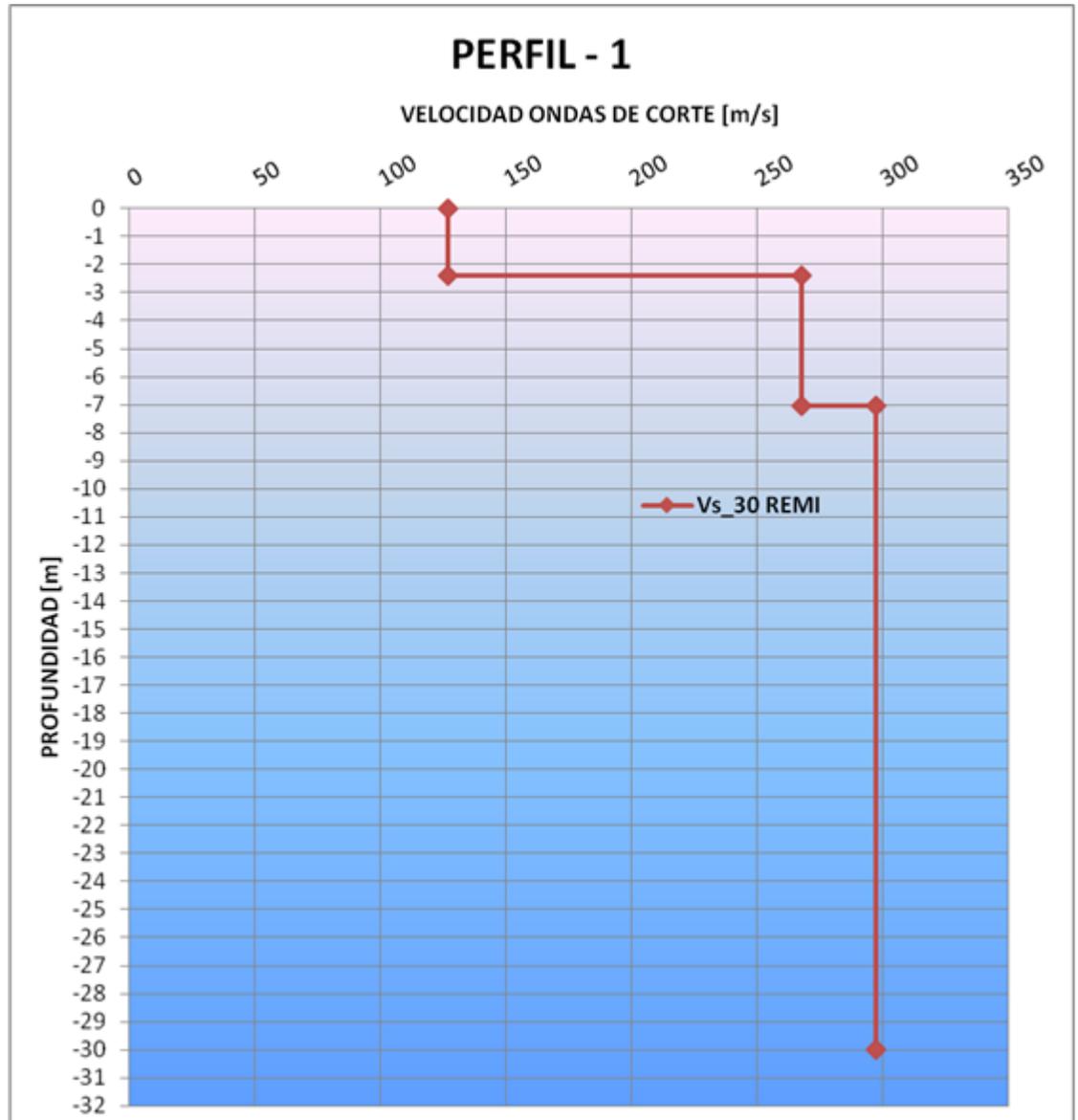


Gráfico 7: Variación de la velocidad de propagación en profundidad perfil 1, Edificio DRAM

4.3.2 Análisis Perfil 2: Longitud 54 metros.

PERFIL - 2		
TRAMO [m]		Vs [m/s]
0	3	158,12
3	12,75	218,85
12,75	30	325,49

Tabla 19: Velocidad de ondas de corte en profundidad, Edificio DRAM

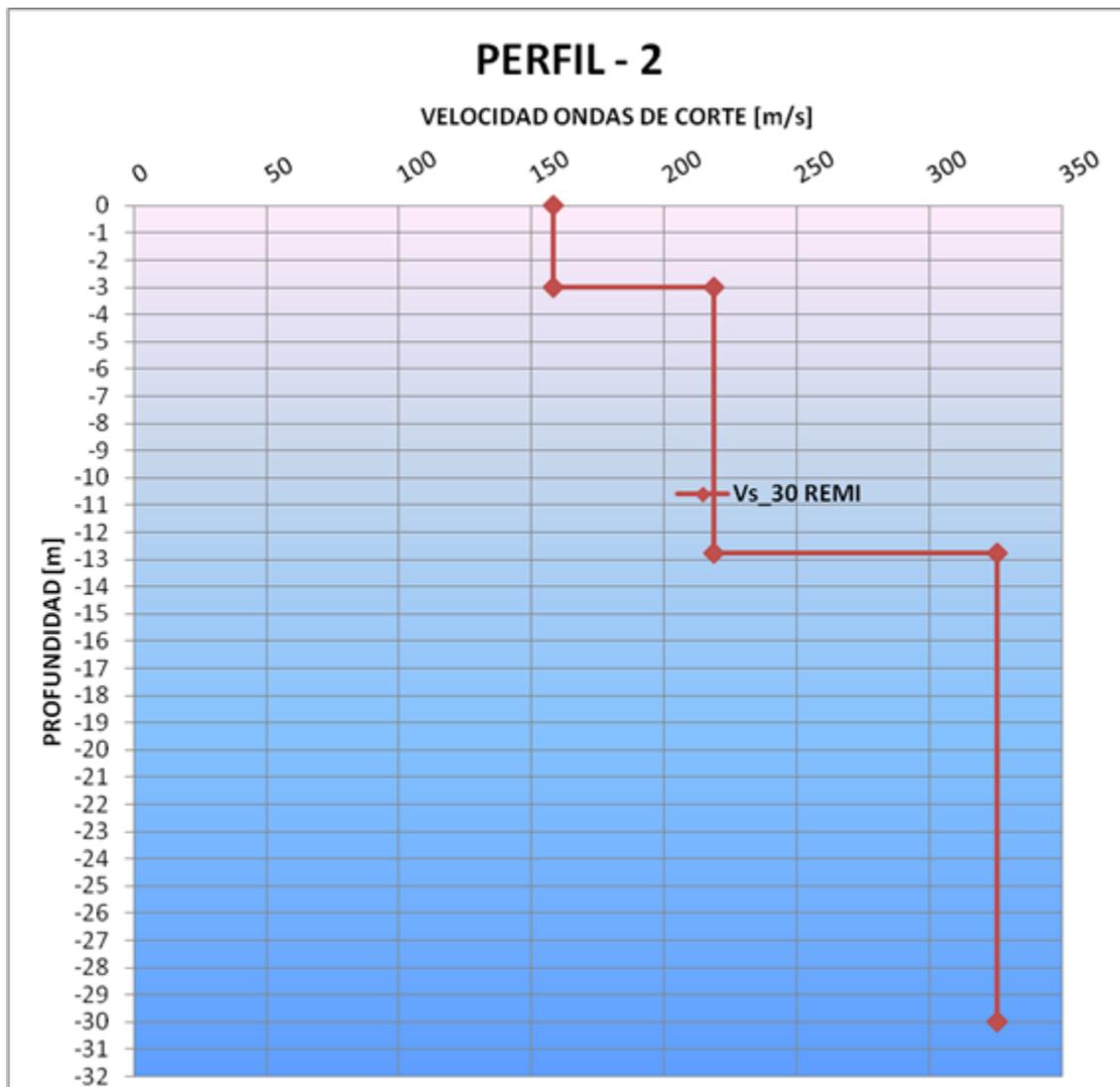


Gráfico 8: Variación de la velocidad de propagación en profundidad perfil 2, Edificio DRAM

4.3.3 Determinación V_{s30} .

Perfil 1.

En la siguiente tabla se determina el valor de V_{s30} para el perfil N°1, utilizando la ecuación descrita anteriormente:

Determinación V_{s30}		
hi	V_{s_i}	hi/ V_{s_i}
2,4	127,02	0,0188951
4,65	267,72	0,0173688
22,95	297,34	0,0771833
V_{s30} [m/s] =		264,44

Tabla 20: Determinación V_{s30} Perfil 1, Edificio DRAM

Perfil 2.

En la siguiente tabla se determina el valor de V_{s30} para el perfil N°2:

Determinación V_{s30}		
hi	V_{s_i}	hi/ V_{s_i}
3	158,12	0,01897287
9,75	218,85	0,04455193
17,25	325,49	0,05299780
V_{s30} [m/s] =		257,46

Tabla 21: Determinación V_{s30} Perfil 2, Edificio DRAM

4.3.4 Sondaje Exploratorio 30 metros.

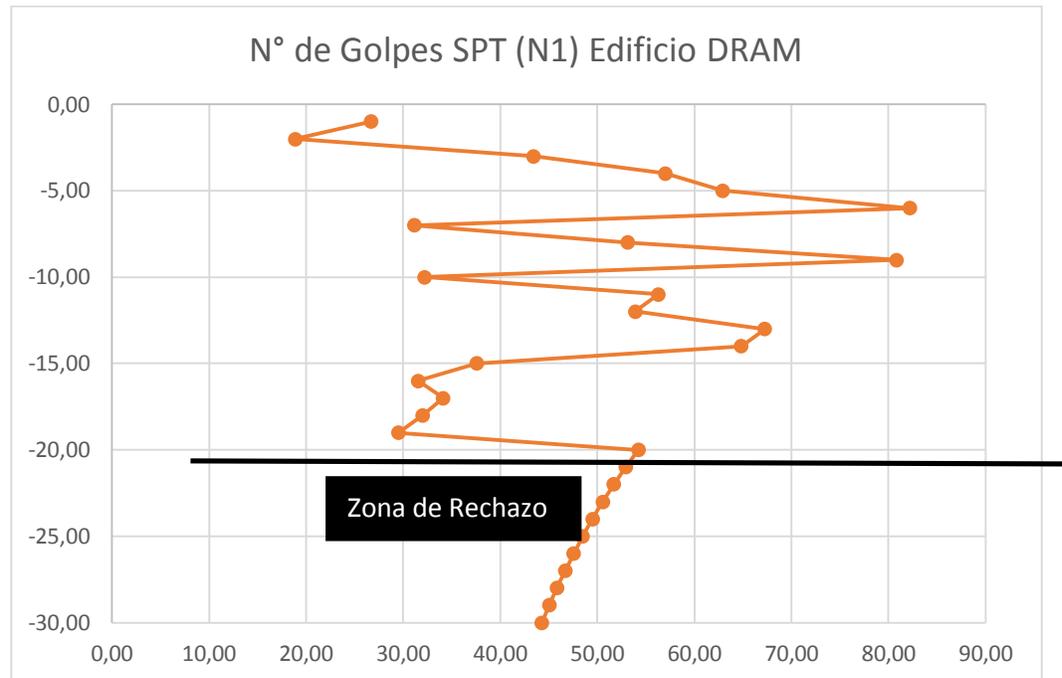


Gráfico 9: N° de golpes SPT (N1) en profundidad Edificio DRAM

4.4 Descripción del Proyecto Ampliación Parque Industrial Enea (Sitios A5 Y A6).

Con motivo de llevar a cabo el proyecto: Diseño y construcción de edificios, se solicitó al suscrito realizar un estudio geofísico de manera de caracterizar sísmicamente el suelo donde se emplazará la edificación, ubicado en el Parque Industrial ENEA sitios A5 y A6, comuna de Pudahuel, Región Metropolitana.

El estudio consistió en la medición de perfiles sísmicos, de manera tal de obtener el parámetro V_{s30} mediante el método ReMi.

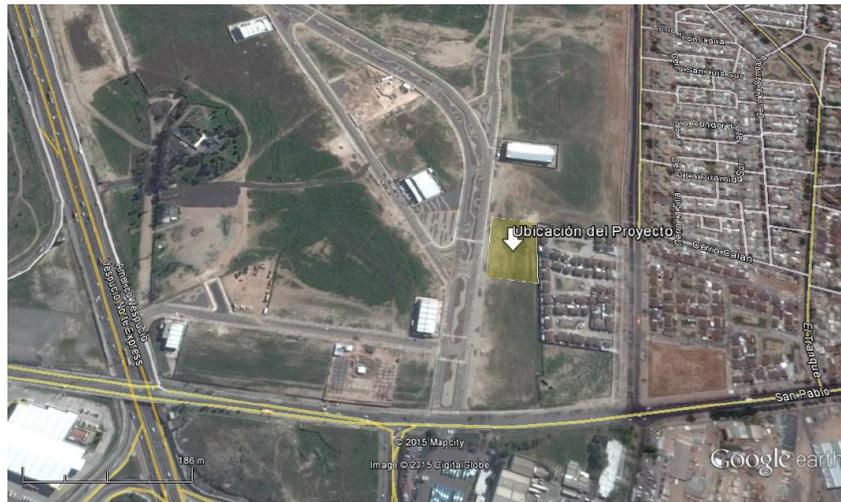


Figura 27: Emplazamiento del proyecto ENEA

4.4.1 Ejecución del Estudio.

La obtención de datos en terreno fue realizada en el mes de Marzo del 2015, para lo cual se dispusieron dos Perfiles sísmicos, ambos con una longitud de 72 metros, utilizando de esta manera 24 geófonos en cada perfil, el distanciamiento entre geófonos fue de 3 metros.

En la siguiente figura se muestra la disposición de los perfiles en terreno:



Figura 28:
Disposición de
perfiles en
terreno, ENEA

4.4.2 Análisis Perfil 1: Longitud 72 metros.

PERFIL - 1		
TRAMO [m]		Vs [m/s]
0,00	6,15	363,99
6,15	16,50	504,70
16,50	30,00	540,25

Tabla 22: Velocidad de ondas de corte en profundidad, ENEA

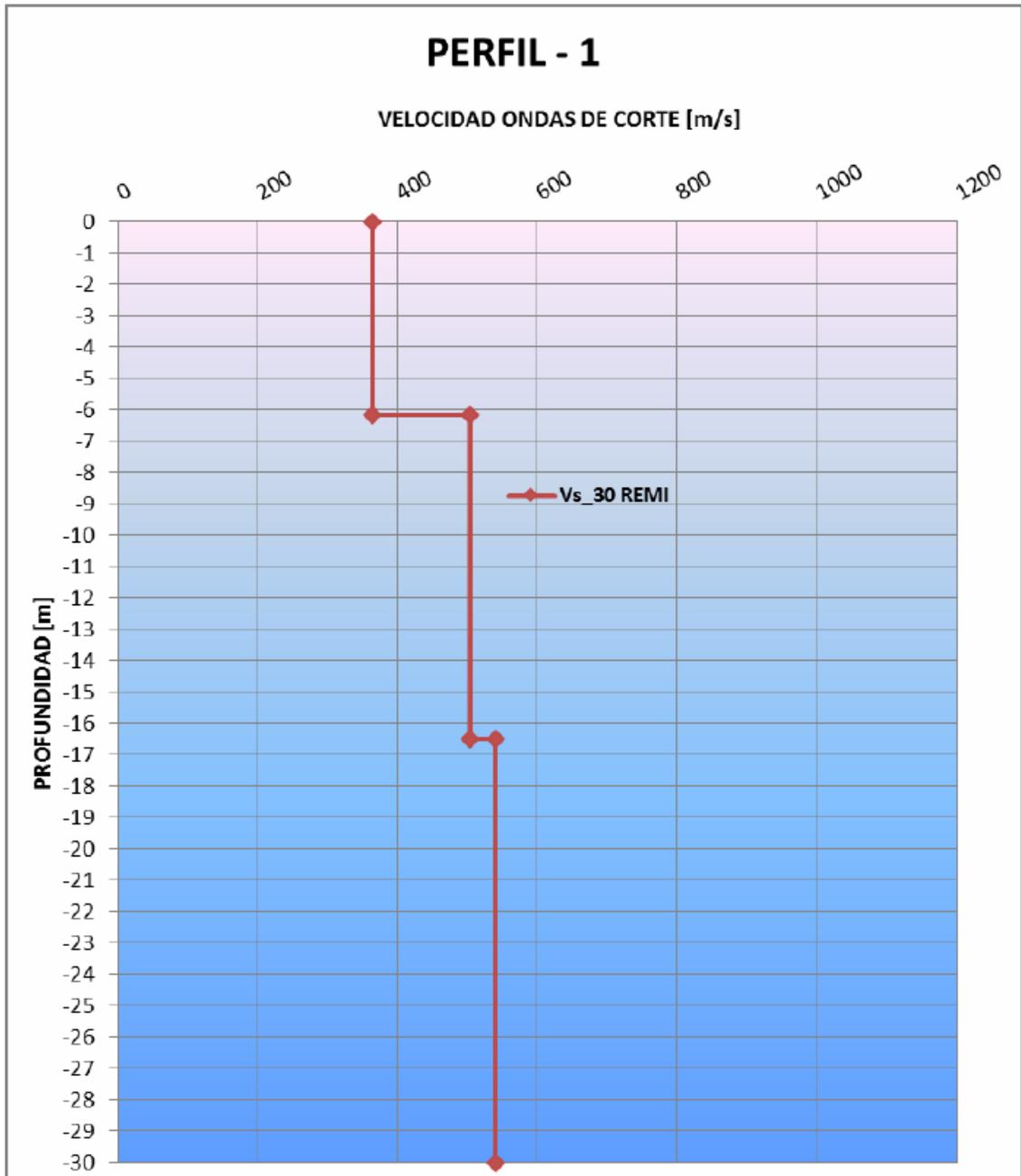


Gráfico 10: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 1, ENEA

4.4.3 Análisis Perfil 2: Longitud 72 metros.

PERFIL - 2		
TRAMO [m]		Vs [m/s]
0,00	6,15	338,82
6,15	13,35	518,03
13,35	30,00	541,73

Tabla 23: Velocidad de ondas de corte en profundidad, ENEA

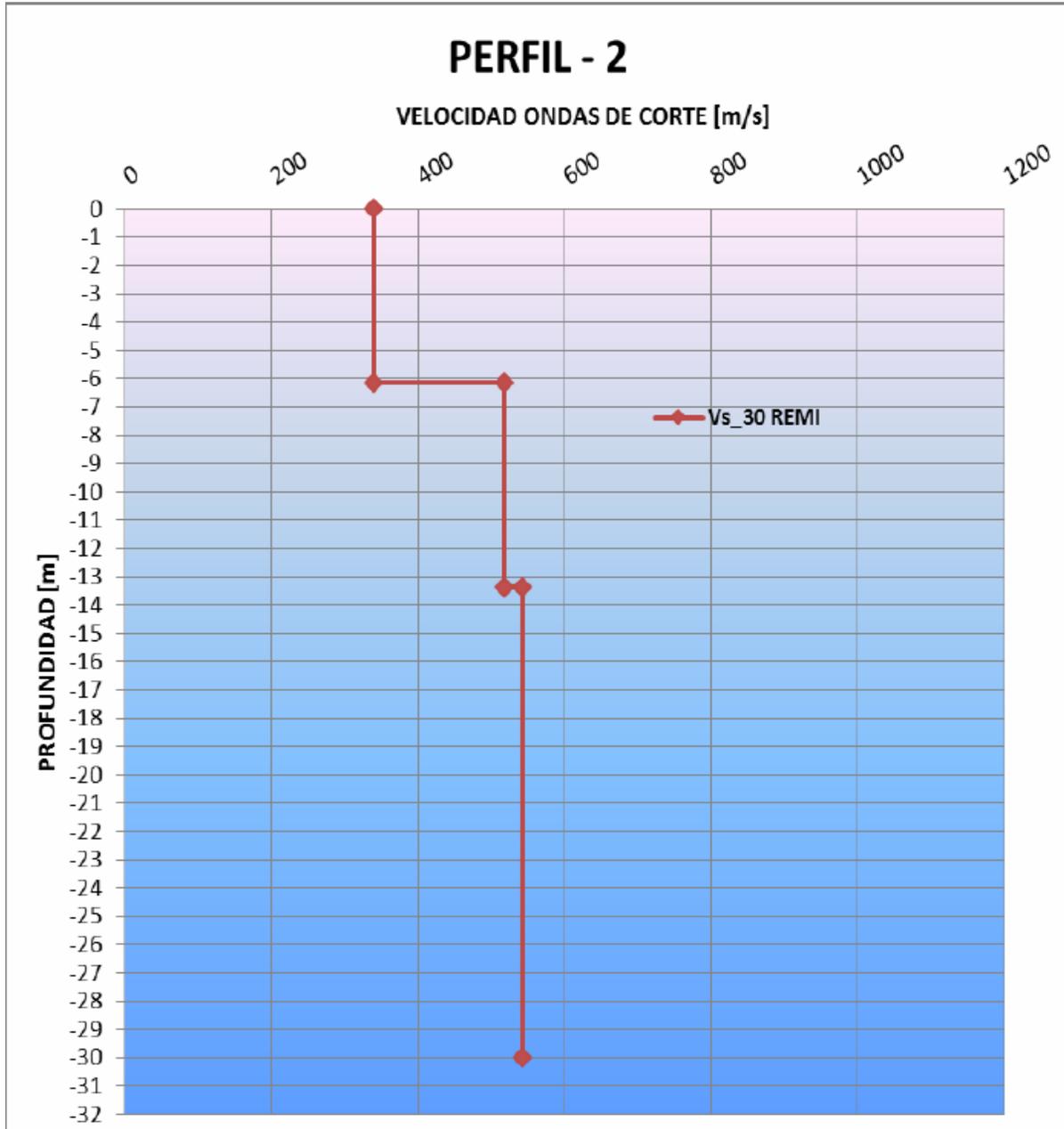


Gráfico 11: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 2, ENEA

4.4.4 Determinación V_{s30} .

Perfil 1.

En la siguiente tabla se determina el valor de V_{s30} para el perfil N°1, utilizando la ecuación descrita anteriormente:

Determinación V_{s30}		
hi	V_{s_i}	hi/ V_{s_i}
6,15	369,99	0,02
10,35	504,70	0,02
13,50	540,25	0,02
V_{s30} [m/s] =		480,83

Tabla 24: Determinación V_{s30} perfil 1, ENEA

Perfil 2.

En la siguiente tabla se determina el valor de V_{s30} para el perfil N°2, utilizando la ecuación descrita anteriormente:

Determinación V_{s30}		
hi	V_{s_i}	hi/ V_{s_i}
6,15	338,82	0,02
7,20	518,03	0,01
13,50	540,25	0,03
V_{s30} [m/s] =		477,82

Tabla 25: Determinación V_{s30} perfil 2, ENEA

4.4.5 Sondaje Exploratorio 30 metros.

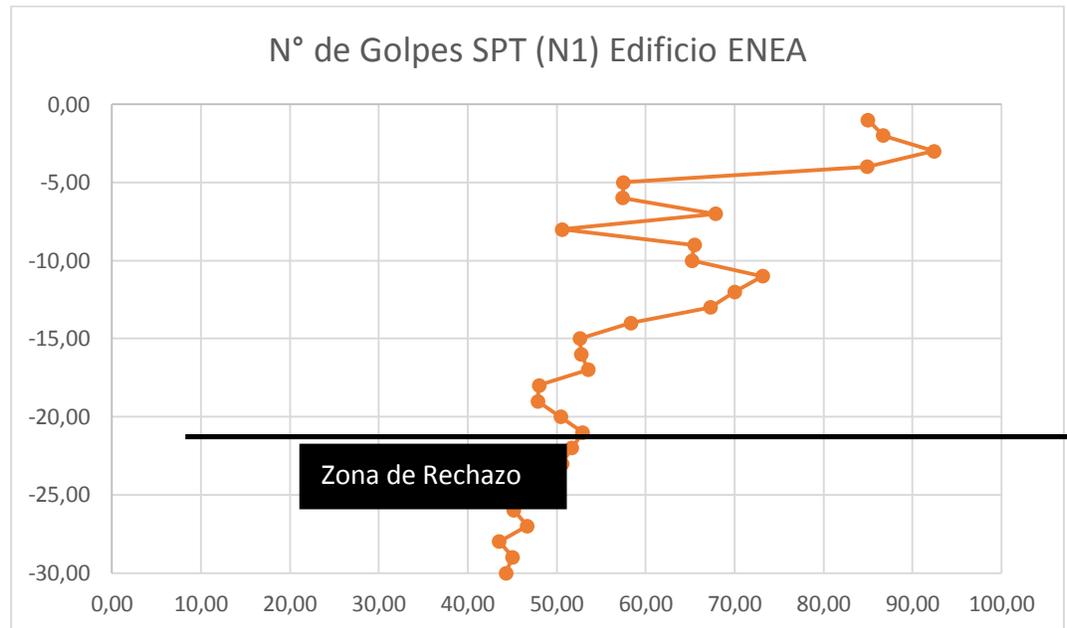


Gráfico 12: N° de golpes SPT (N1) en profundidad Edificio ENEA

4.5 Descripción del Proyecto Edificio Consistorial Santo Domingo.

Con motivo de llevar a cabo el proyecto: Edificio Consistorial Municipalidad de Santo Domingo, se solicitó al suscrito realizar un estudio geofísico de manera de caracterizar sísmicamente el suelo donde se emplazará la edificación, ubicado en la comuna de Santo Domingo, Región de Valparaíso.

El estudio consistió en la medición de perfiles sísmicos, de manera tal de obtener el parámetro V_{s30} mediante el método ReMi.

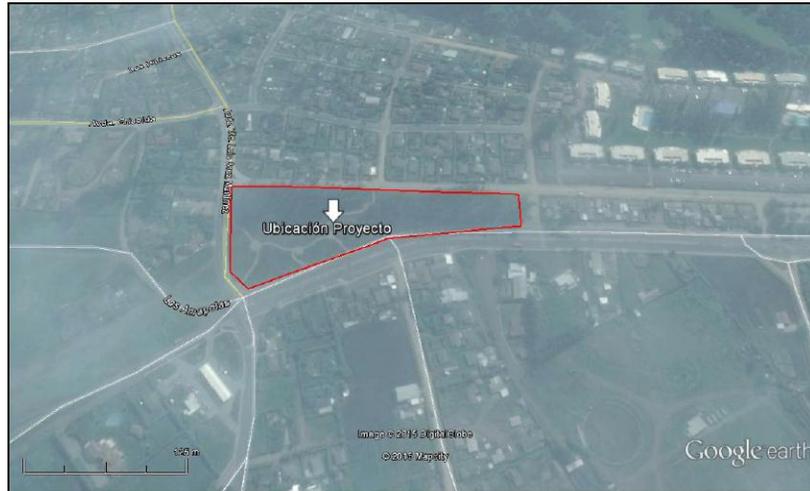


Figura 29: Emplazamiento del proyecto E.C. Santo Domingo.

4.5.1 Ejecución del Estudio.

La obtención de datos en terreno fue realizada en el mes de Enero del 2015, para lo cual se dispusieron dos Perfiles sísmicos, ambos con una longitud de 72 metros, utilizando de esta manera 24 geófonos en cada perfil, el distanciamiento entre geófonos fue de 3.00 metros.

En la siguiente figura se muestra la disposición de los perfiles en terreno:

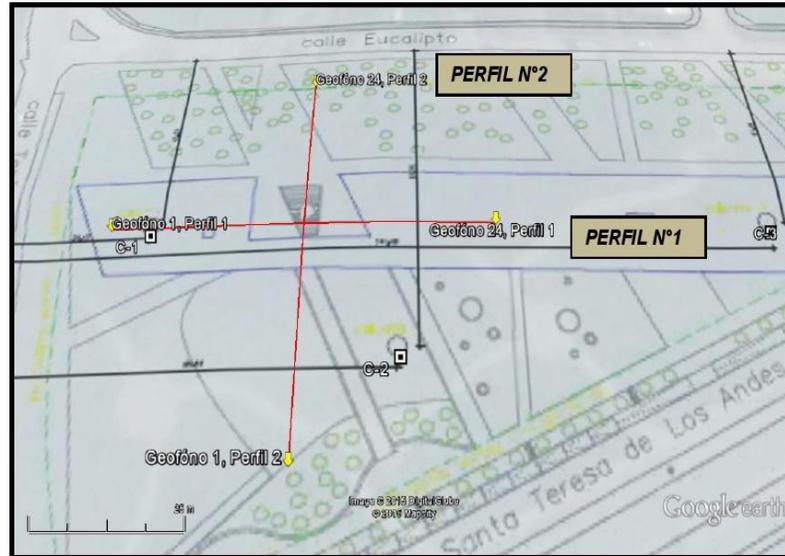


Figura 30: Disposición de perfiles en terreno, E.C. Santo Domingo

4.5.2 Análisis Perfil 1: Longitud 72 metros.

PERFIL - 1		
TRAMO [m]		Vs [m/s]
0,00	6,90	316,60
6,90	15,15	435,09
15,15	30,00	583,20

Tabla 26: Velocidad de ondas de corte en profundidad, E.C. Santo Domingo

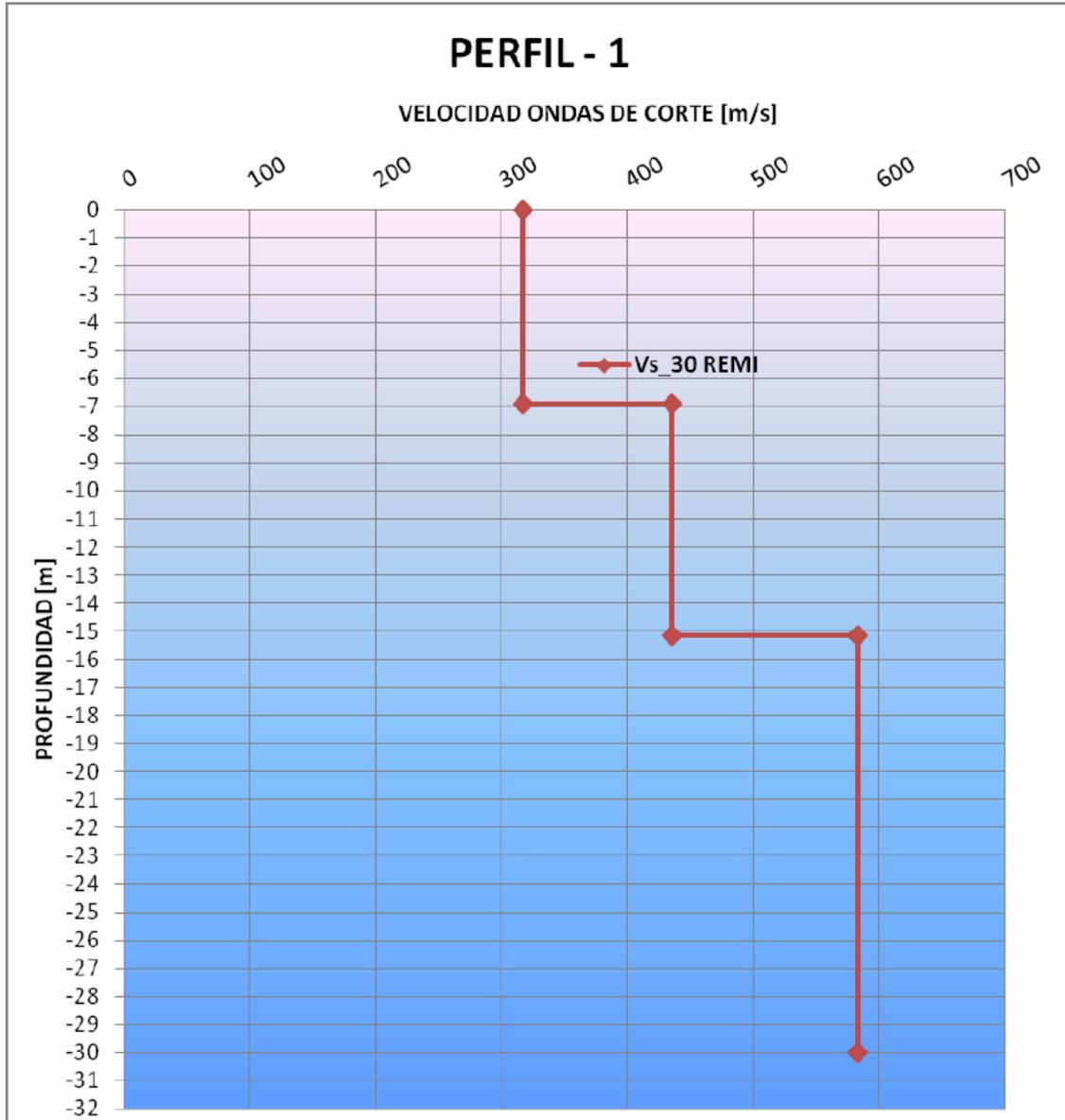


Gráfico 13: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 1, E.C. Santo Domingo

4.5.3 Análisis Perfil 2: Longitud 54 metros.

PERFIL - 2		
TRAMO [m]		Vs [m/s]
0,00	6,90	298,42
6,90	15,15	435,09
15,15	30,00	565,27

Tabla 27: Velocidad de ondas de corte en profundidad, E.C. Santo Domingo

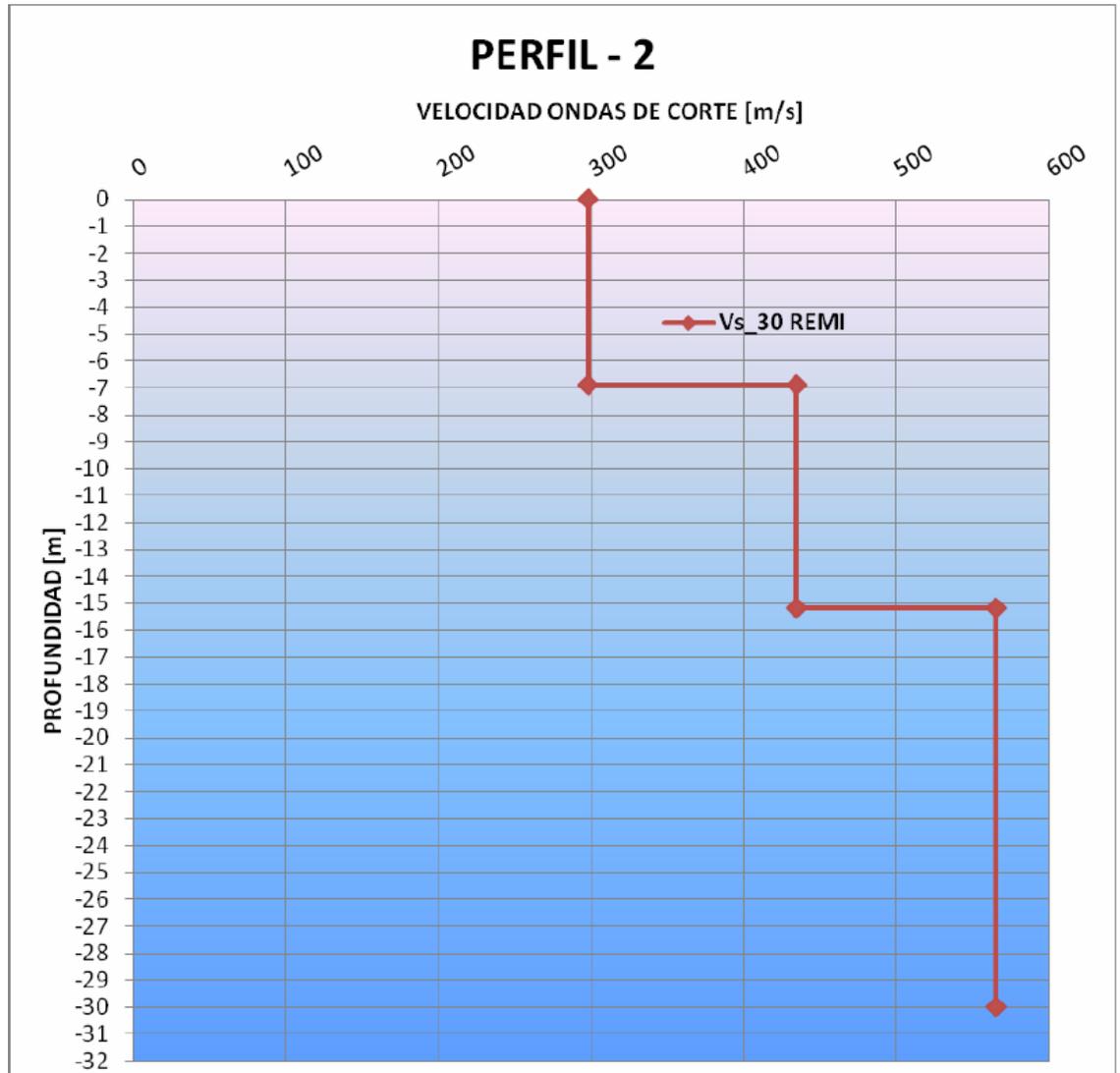


Gráfico 14: Variación de la velocidad de propagación en profundidad Perfil 2, E.C Santo Domingo

4.5.4 Determinación V_{s30} .

Perfil 1.

En la siguiente tabla se determina el valor de V_{s30} para el perfil N°1, utilizando la ecuación descrita anteriormente:

Determinación V_{s30}		
hi	V_{s_i}	hi/ V_{s_i}
6,90	316,59	0,02
8,25	435,10	0,019
14,85	583,20	0,025
V_{s30} [m/s] =		453,04

Tabla 28: Determinación V_{s30} Perfil 1, E.C. Santo Domingo

Perfil 2.

En la siguiente tabla se determina el valor de V_{s30} para el perfil N°2, utilizando la ecuación descrita anteriormente:

Determinación V_{s30}		
hi	V_{s_i}	hi/ V_{s_i}
6,90	298,42	0,023
8,25	435,09	0,019
14,85	565,27	0,026
V_{s30} [m/s] =		438,89

Tabla 29: Determinación V_{s30} Perfil 2, E.C. Santo Domingo

4.5.5 Sondaje Exploratorio 30 metros.

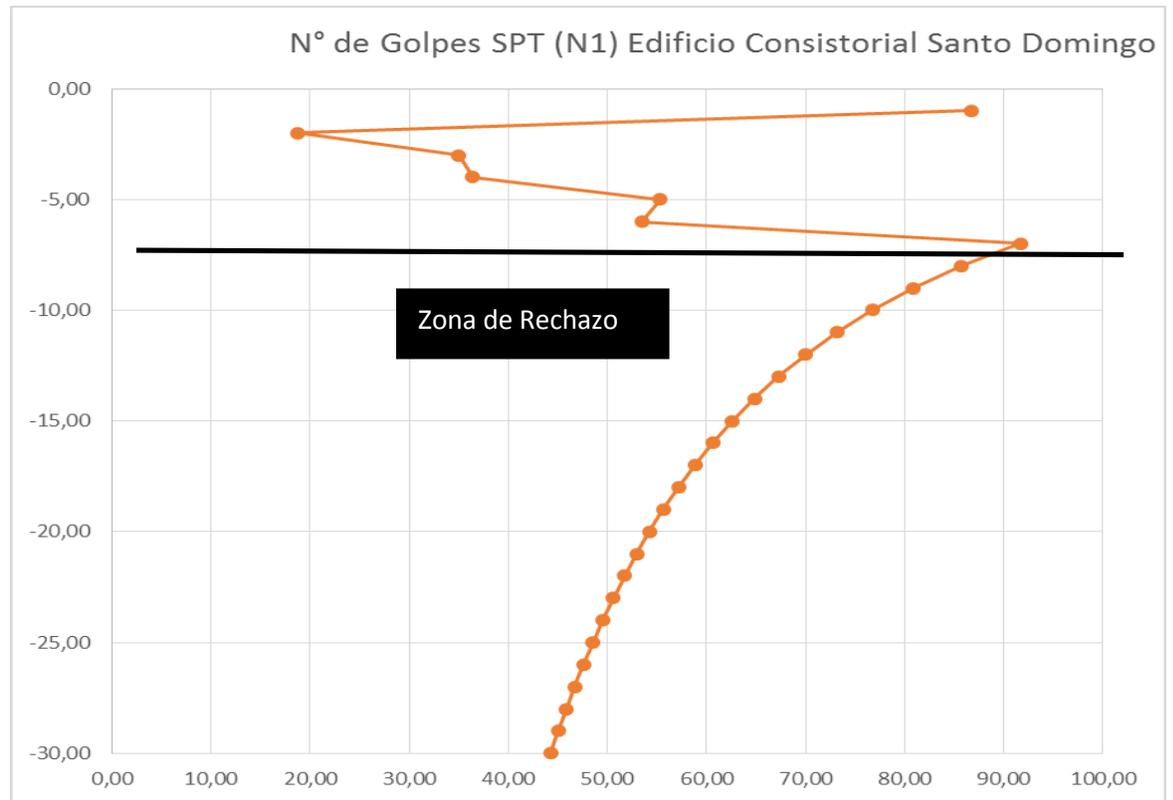


Gráfico 15: N° de golpes SPT (N1) en profundidad E. C. Santo Domingo

5 Análisis de resultados y discusión

- CESFAM Loma Colorada: La relevancia de la ejecución del sondaje en este proyecto es un punto a considerar, ya que con los valores obtenidos solamente con los valores de V_{s30} , el DS61 faculta a clasificar el tipo de suelo como E ($V_{s30} \geq 180$ m/s y V_s creciente). Pero añadiendo los resultados del sondaje exploratorio y su respectivo ensayo in situ SPT se obtuvieron los valores de $N1 \geq 30$ con una tolerancia de máximo 5 metros con valores de N1 en el rango de 20-29 golpes/pie. Este valor nos da la facultad de clasificar automáticamente el suelo como suelo tipo D.

- Edificio Dos Esteros: Dado que en ambos perfiles la velocidad de ondas de corte en los primeros 30 metros (V_{s30}), son mayores a 350 [m/s], el suelo puede clasificarse automáticamente como suelo tipo D, sin necesidad de otras mediciones. El sondaje exploratorio de 30.0m de profundidad, en el cual se determina el índice de penetración estándar entregó $N_{1<30}$ en más de un tramo mayor a 5 metros. A partir de lo anterior, y de acuerdo a lo estipulado por el D.S.61, la clasificación de suelo pertinente es suelo tipo D.
- Edificio DRAM: Dado que en ambos perfiles la velocidad de ondas de corte en los primeros 30 metros (V_{s30}), son mayores a 180 [m/s], el suelo puede clasificarse automáticamente como suelo tipo E, sin necesidad de otras mediciones. El sondaje exploratorio de 30.0m de profundidad, donde se midió el índice de penetración estándar entregó $N_{1<30}$ en solo un tramo y menor a 5 metros. A partir de lo anterior, y de acuerdo a lo estipulado por el D.S.61, la clasificación de suelo pertinente es suelo tipo D.
- Parque Industrial ENEA: Dado que en ambos perfiles unidimensionales que relacionan la profundidad con la velocidad de ondas de corte se obtiene $V_{s30} > 350$ [m/s], este resultado permite clasificar el suelo como Suelo Tipo D. Al ejecutar el sondaje exploratorio de 30.0 metros de profundidad en el cual se midió el valor de SPT se obtuvieron valores para N_1 mayores a 40 golpes/pies a lo largo de toda la exploración en profundidad. Al recurrir a los análisis anteriores y considerando la tabla 1 del presente estudio, la clasificación sísmica con ambos parámetros, es Suelo Tipo C.

- Edificio Consistorial Santo Domingo: Dado que en ambos perfiles la velocidad de ondas de corte en los primeros 30 metros (V_{s30}), son mayores a 350 [m/s], el suelo puede clasificarse automáticamente como suelo tipo D, sin necesidad de otras mediciones. Al ejecutar el sondaje exploratorio de 30.0 metros de profundidad se obtuvieron valores para N1 mayores a 40 golpes/pie en el tramo de los 5-30 metros de profundidad con respecto al nivel de terreno natural, por lo tanto en el tramo desde 0 a 5 metros existen valores de N1 menores a 40 golpes/pie. A partir de lo anterior, y de acuerdo a lo estipulado por el DS61 la clasificación de suelo pertinente es tipo D. Para poder haber clasificado como suelo tipo C, los N1 deberían haber sido mayores a 40 en todos los tramos. Es importante recalcar en este caso particular que se obtuvo un $N1 < 40$ en solo un tramo, y menor a 5 metros. Aun considerando que es el primer tramo, en el DS61 no aparece ningún criterio que considerar. Se piensa que se debería considerar el nivel de sello de fundación del proyecto (que a priori no se conoce), ya que bajo este los N1 son todos mayores a 40 golpes/pie, por lo tanto si fuera por estos antecedentes no habría ninguna dificultad en clasificar como C.

N°	Ubicación		Nombre Proyecto	Zona Sísmica	Clasificación Vs(30)	Clasificación Vs(30)+N1
	Región	Dirección				
I	VIII	San Pedro de la Paz	CESFAM Loma Colorada	3	E	D
II	X	Puerto Montt	Edificio Dos Esteros	2	D	D
III	RM	Pudahuel	Edificio DRAM	3	E	D
IV	RM	Pudahuel	Parque Industrial ENEA	2	D	C
V	V	Santo Domingo	E. Consistorial Sto. Domingo	2	D	D

Tabla 30: Resumen Clasificaciones Sísmicas

5.1 Influencia de la clasificación sísmica en el diseño estructural

A lo largo de la memoria se ha indicado que uno de los efectos que puede traer consigo una clasificación del suelo en una categoría inferior a máxima posible (como consecuencia de prescindir de la ejecución del sondaje exploratorio) es un mayor costo final de la estructura, debido al uso de un espectro de diseño más severo asociado a un tipo de suelo de menor competencia geotécnica.

Para ayudar al lector a dimensionar la influencia que tiene la clasificación sísmica del suelo en el diseño estructural de los elementos soportantes de una edificación, se presenta los resultados del análisis efectuado por Pellet (2015), que consta de la modelación del caso de una columna empotrada con una masa sísmica concentrada, donde se aplica el método de carga estática equivalente a objeto de obtener los esfuerzos sísmicos inducidos. Este análisis se realizó para las distintas categorías de suelo establecidas en el DS61.

Supuestos y parámetros del modelo según NCh433 (Pellet, 2015)

- Categoría Edificio	:	III
- Coeficiente Importancia (I)	:	1.20
- Zona Sísmica	:	2
- Aceleración Efectiva (A_0)	:	0.30g
- Material	:	Hormigón Armado
- Factor Modificación Respuesta (R)	:	7
- Sección Columna	:	30 x 30 cm
- Altura Columna	:	3.00 m
- Peso Sísmico	:	20 ton

La Tabla 31 presenta las solicitaciones máximas obtenidas para cada uno de los tipos de suelo y las correspondientes cuantías de acero requeridas para resistir tales cargas.

Suelo Tipo	S	C máx.	Q_0 (Kg)	M_u (Ton-m)	As (cm ²)
A	0,9	0,095	2041	6124	9,738
B	1	0,105	2520	7560	13,43
C	1,05	0,11	2778	8335	15,398
D	1,2	0,126	3628	10886	22,289
E	1,3	0,137	4259	12776	27,211

Tabla 31: Cuantía de acero según tipo de suelo. (Pellet, 2015)

Con la finalidad de ver el incremento o ahorro en el elemento estructural modelado, se genera la Tabla 32, con la variación porcentual de la cuantía de acero requerida. En esta tabla, se indica cuánta armadura (de menos o en exceso) debe disponerse para el elemento estructural considerado si el tipo de suelo real y el considerado para efectos de clasificación sísmica difieren. Los porcentajes positivos indican incremento de la cuantía de armadura, mientras que los negativos ahorro de armadura.

Suelo Tipo	A	B	C	D	E
A	0%	38%	58%	129%	179%
B	-27%	0%	15%	66%	103%
C	-37%	-13%	0%	45%	77%
D	-56%	-40%	-31%	0%	22%
E	-64%	-51%	-43%	-18%	0%

Tabla 32: Variación porcentual de la armadura de refuerzo según tipo de suelo real y considerado

Se puede concluir, por ejemplo, que de situar una estructura en suelo tipo B y que este haya sido clasificado como suelo tipo C, se estaría usando un 15% más de acero de refuerzo que el requerido, generando una estructura sobredimensionada. Del mismo modo, si se ha considerado para el diseño un suelo tipo B y se tratase realmente de un suelo tipo C, la armadura dispuesta sería un 13% menor que la requerida. En este caso, la estructura no sería capaz de soportar los esfuerzos sísmicos y sería susceptible al colapso.

En base a lo anterior, y pese a haber considerado un caso extremadamente sencillo, queda demostrado que una correcta clasificación del suelo hace posible no solo asegurar la estabilidad estructural de la edificación, sino que también permite realizar un diseño mucho más económico y eficiente.

Si se considera que el elemento columna analizado puede replicarse cientos de veces en una estructura completa, el ahorro en la cuantía de acero podría compensar perfectamente el gasto de un adecuado estudio de mecánica de suelos y geofísica del terreno. Esto dependerá, fundamentalmente, del tamaño del proyecto estructural a ejecutar.

6 Conclusiones y Recomendaciones

En esta memoria se estudió, para 3 proyectos reales del ámbito público y dos del ámbito privado, cómo afecta a la clasificación sísmica de suelos establecida en el DS61 considerar la ejecución de sondajes exploratorios como complemento a las mediciones geofísicas de ondas superficiales. En particular, se analizó el caso de proyectos a ejecutarse en suelos arenosos. De este modo, a partir de los ensayos SPT disponibles y las mediciones geofísicas de ondas superficiales mediante el método ReMi, se pudo realizar esta comparativa.

Con los resultados obtenidos se buscaba abordar aspectos como (i) determinar la importancia de realizar ambos estudios, o clasificar el suelo solamente con la información del estudio geofísico, y (ii) dar recomendaciones a profesionales del área encargados de tomar decisiones respecto de si es necesario o no el contar con los parámetros otorgados por el ensayo SPT. Es frecuente que al evaluar un proyecto solo se tenga en consideración la inversión inicial, sin tener la claridad de que esta decisión puede implicar incurrir en importantes gastos en etapas posteriores del mismo.

A partir de este trabajo se pueden elaborar las siguientes conclusiones:

- En dos de los casos estudiados (Edificio Dos Esteros-Pto. Montt, y Edificio Consistorial-Sto. Domingo) los resultados del sondaje no ayudaron a mejorar la clasificación sísmica del terreno, confirmando la clasificación sísmica obtenida a través de V_{s30} . Por tanto, en estos casos la clasificación inicial no fue conservadora; sino que la clasificación real según lo estipulado en el DS61.

- Para los tres casos restantes, los valores obtenidos a través del sondaje exploratorio sí fueron relevantes; ya que permitieron aumentar en una categoría la clasificación sísmica del terreno. Este resultado permite obtener una clasificación más adecuada, es decir, una que caracteriza de mejor manera al sector en estudio.
- Cabe recalcar que al clasificar según el DS61 solo con el parámetro V_{s30} se obtiene un tipo de suelo, pero ante un sismo dado, el terreno se comportará de acuerdo a sus propiedades reales. Este es un punto sumamente relevante, ya que lo que se debe priorizar es buscar capturar el comportamiento del suelo, más que sólo diseñar la estructura con una fuerza mayor derivada del uso de un espectro más severo. Por esto se debe analizar el terreno caso a caso, teniendo en consideración todos los antecedentes recopilados en la etapa inicial del proyecto, ya que esto nos permitirá de mejor manera decidir entre considerar o no la ejecución del sondaje exploratorio.
- Otro punto importante para dimensionar la influencia que tiene la clasificación sísmica del suelo en el diseño estructural de los elementos soportantes en una edificación, es considerar el análisis simplificado llevado a cabo por Pellet (2015). Por ejemplo al situar una estructura simple en suelo tipo E, pero que en realidad clasifica como tipo D, se estaría usando un 22% más de armadura de refuerzo que la requerida. En base a lo anterior queda demostrado que una correcta clasificación de suelos, hace posible entonces no solo asegurar la estabilidad del edificio sino que también permite realizar un diseño mucho más económico y eficiente.

- Durante el proceso de estudio se pudieron identificar las ventajas y desventajas de la utilización de ambos métodos (SPT y ReMi) en paralelo. Con respecto a las ventajas del Método ReMi, se tiene que es una técnica no destructiva que posee un respaldo teórico sólido; es económico y rápido en comparación con otras técnicas geofísicas ya que con un día en terreno más otro día de análisis de datos se obtienen los resultados finales; y presenta buena resolución de datos para las profundidades que interesan al DS61. Por el contrario, se debe considerar que su mayor limitación es la interpretación que le dan a los resultados obtenidos los profesionales encargados del procesamiento de datos. En ese sentido, se requiere de personal capacitado y con experiencia en este tipo de ensayos. Con respecto al sondaje exploratorio se puede comentar que entrega información de un punto en específico de la zona de estudio y que conlleva una intervención en el terreno. Ahora bien, considerando en conjunto los dos ensayos, las desventajas quedan en un segundo plano, ya que se complementan a tal punto que sirven para verificar resultados entre sí; es decir se validan el uno al otro. Por lo tanto, un informe de mecánica de suelos que tenga como información aportante ambos estudios otorga tranquilidad respecto de los resultados obtenidos.
- Es importante subrayar que la caracterización sísmica obtenida en los 5 proyectos presentados es congruente con la información obtenida en los sondajes de penetración estándar, así como con el contexto geológico de las zonas estudiadas.
- Como recomendación final, y por todo lo expuesto anteriormente, de ser posible se sugiere realizar ambos estudios (geofísicos y de sondajes exploratorios) para clasificar sísmicamente el suelo, ya que con los antecedentes adquiridos en estos ensayos se obtendrá una clasificación

sísmica más acertada, consistente con la respuesta de sitio esperada cuando ocurra un terremoto y, en general, con menores costos asociados al diseño estructural.

- Dado que los proyectos seleccionados corresponden todos a arenas en distintas zonas del país, las conclusiones y recomendaciones entregadas en este documento deben entenderse como válidas en el contexto señalado.
- Queda como propuesta de trabajo futuro, por ejemplo, evaluar cómo afecta a la clasificación de suelos considerar parámetros adicionales a la velocidad de ondas de corte en otros tipos de terreno.

7 Referencias

Aki, K. 1957. Space and time spectra of stationary stochastic waves with special reference to microtremors. Bulletin of the Earthquake Research Institute, 35, p. 415-456.

Capon, J. 1969. High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis. Proceedings of the IEEE, 57(8), 1408-1418.

Granda, T., Granda A. y Madrid, A. 2005, El método de la sísmica pasiva: una herramienta fiable para la caracterización geotécnica del terreno en zonas urbanas. International Geophysical Technology, S.L. Madrid, España.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, INN (2010), NCh 433 Of. 1996, Mod.2009. Diseño Sísmico de Edificios, Santiago, Chile.

Liao, S. y Whitman, R. 1986. Overburden correction factors for SPT in sand. Journal of Geotechnical Engineering, 112(3), 373-377.

Louie, J. N. 2001. Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays. Bulletin of the Seismological Society of America, 91(2), 347-364.

MINVU 2011. Decreto 61. Diseño sísmico de edificios. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Santiago.

Nakamura, Y. 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports, 30(1).

Nazarian, S. 1984. In situ determination of elastic moduli of soil deposits and pavement systems by spectral-analysis-of-surface-waves method. University of Texas at Austin.

Nazarian, S., Stokoe II., K. 1984. Nondestructive testing of pavements using surface waves (No. 993).

Padrón Lugo. M, 2013. Caracterización geofísica del suelo somero mediante ReMi en el área Metropolitana norte de Anzoátegui. Universidad Simón Bolívar, Para optar al título de Ingeniero Geofísico. Venezuela, Sartenejas [s.n]

Park, C. B., Miller, R. D., & Miura, H. 2002. Optimum field parameters of an MASW survey. Proceedings of the Society of Exploration Geophysicists (SEG) Japan Tokyo, 22-23.

Pellet, M. 2015, Clasificación sísmica de suelos en zonas de potencial desarrollo industrial y residencial de la región metropolitana, por medio de la medición in situ de la velocidad de propagación de ondas de corte Vs según DS61, Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles, Universidad Central de Chile p.21-22.

Saez, E. 2015. Apuntes curso Dinámica de Suelos. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Stein, S., & Wysession, M. 2009. An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure. John Wiley & Sons.

Stokoe, K. H., Rix, G. J., & Nazarian, S. 1989. In situ seismic testing with surface waves. In International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 12th, 1989, Rio de Janeiro, Brazil (Vol. 1).

Yauri Condo, S 2005, Microtremores, Escuela Profesional de ingeniera geofísica, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Compendio de

Trabajos de investigación CNDG-Biblioteca Instituto Geofísico del Perú V.7
(2006)p.43-56.

8 Anexos

8.1 Perfiles Estratigráficos Sondajes Exploratorios.

- Perfil Estratigráfico Sondaje Loma Colorada

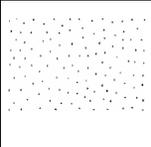
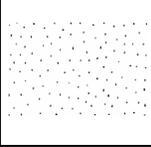
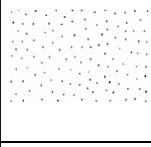
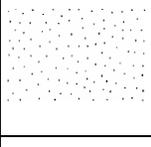
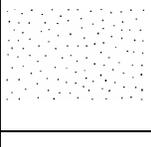
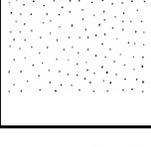
Profundidad (m)	Espesor (m)	Perfil Grafico	Clasificación USCS	Descripción del suelo
7,00	7,00		SP	Arena, color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida.
12,05	5,05		SP	Arena, color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida.
18,00	5,95		SP	Arena, color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida.
23,08	5,08		SP	Arena, color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida.
29,00	5,92		SP	Arena, color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida.
30,08	1,08		SP	Arena, color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida.

Tabla 33: Perfil Estratigráfico Sondaje Loma Colorada

- Perfil Estratigráfico Sondaje Edificio Dos Esteros

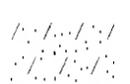
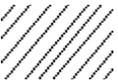
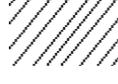
Profundidad (m)	Espesor (m)	Perfil Grafico	Clasificación USCS	Descripción del suelo
2,90	2,9		ML	Limo, color café, plasticidad baja, dilatancia rápida, humedad media, estructura homogénea, consistencia blanda.
7,45	4,55		SM	Arena Limosa, color gris, plasticidad media, humedad baja, compacidad baja, estructura homogénea, dilatancia rápida.
12,45	5,00		SM	Arena Limosa, color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad media, estructura homogénea, dilatancia rápida.
17,45	5,00		SM	Arena Limosa, color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad media, estructura homogénea, dilatancia rápida.
22,00	4,55		SM	Arena Limosa, color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida.
27,45	5,45		SM	Arena Limosa, color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida.
30,00	2,55		SM	Arena Limosa, color gris, plasticidad baja, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida.

Tabla 34: Perfil Estratigráfico Sondaje Edificio Dos Esteros

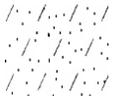
- Perfil Estratigráfico Sondaje Edificio DRAM

Profundidad (m)	Espesor (m)	Perfil Grafico	Clasificación USCS	Descripción del suelo
1,45	1,45		CL	Arcilla, color café, plasticidad alta, consistencia media. Estructura Homogénea, sin indicios de materia orgánica
4,00	2,55		ML	Limo Arenoso, color café, plasticidad baja, consistencia firme.
5,30	1,30		SP-ML	Arena -Limo, color café, sin plasticidad, compacidad densa, presenta cementación media.
6,00	0,70		CL	Arcilla, color café, plasticidad media-alta, consistencia firme a muy firme, sin indicios de materia orgánica, cementación Leve.
7,00	1,00		SP-ML	Arena -Limo, color café, sin plasticidad, compacidad muy densa, presenta cementación media. Presenta lente de limo entre los 6,00 y 6,20 metros con respecto al NTN.
7,45	0,45		CL	Arcilla, color café, plasticidad media-alta, consistencia media, sin indicios de materia orgánica. Presenta estratificaciones de arena.
10,00	2,55		SP-ML	Arena Limosa, color café, grano fino, sin plasticidad, compacidad muy densa, presenta cementación baja a media.

15,45	5,45		SP	Arena Tipo Pumacita
19,45	4,00		SP	Arena Tipo Pumacita
25,50	6,05		SP	Arena, color café, se observan gravas de tamaño máximo 1".
30,10	4,60		SP	Arena Tipo Pumacita, se observan gravas de tamaño máximo 3".

Tabla 35: Perfil Estratigráfico Sondaje Edificio DRAM

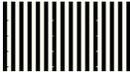
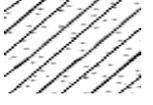
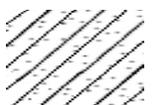
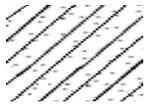
- Perfil Estratigráfico Sondaje Edificio Parque ENEA

Profundidad (m)	Espesor (m)	Perfil Grafico	Clasificación USCS	Descripción del suelo
5,00	5,00		SM	Arena Limosa, color café claro, plasticidad media, humedad media, compacidad media a alta, estructura homogénea, dilatancia rápida. Presenta gravas aisladas de tamaño máximo 2".
10,00	5,00		SM	Arena Limosa, color café claro, plasticidad media, humedad media, compacidad media a alta, estructura homogénea, dilatancia rápida. Presenta gravas aisladas de tamaño máximo 2".
15,00	5,00		SM	Arena Limosa, color café claro, plasticidad media, humedad media, compacidad media a alta, estructura homogénea, dilatancia rápida. Presenta gravas aisladas de tamaño máximo 2".
20,00	5,00		SM	Arena Limosa, color café claro, plasticidad media, humedad media, compacidad media a alta, estructura homogénea, dilatancia rápida. Presenta gravas aisladas de tamaño máximo 2".
25,00	5,00		SM	Arena Limosa, color café claro, plasticidad media, humedad media, compacidad media a alta, estructura homogénea, dilatancia rápida. Presenta gravas aisladas de tamaño máximo 2".

30,00	5,00		SM	Arena Limosa, color café claro, plasticidad media, humedad media, compacidad media a alta, estructura homogénea, dilatancia rápida. Presenta gravas aisladas de tamaño máximo 2".
-------	------	---	----	---

Tabla 36: Perfil Estratigráfico Sondaje Parque ENEA

- Perfil Estratigráfico Sondaje Edificio Consistorial Santo Domingo

Profundidad (m)	Espesor (m)	Perfil Grafico	Clasificación USCS	Descripción del suelo
0,50	0,50		-	Material de Relleno, compuesto por arena arcillosa, con presencia de gravas aisladas de tamaño máximo 1"
5,50	5,00		SC	Arena Arcillosa, color café, plasticidad media, humedad baja, compacidad media a lata, estructura homogénea, dilatancia rápida.
10,50	5,00		SC	Arena Arcillosa, color café, plasticidad media, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida.
15,50	5,00		SC	Arena Arcillosa, color café, plasticidad media, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida.
20,50	5,00		SC	Arena Arcillosa, color café, plasticidad media, humedad alta,

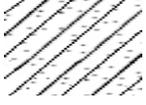
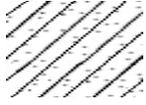
				compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida.
25,50	5,00		SC	Arena Arcillosa, color café, plasticidad media, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida.
30,00	4,50		SC	Arena Arcillosa, color café, plasticidad media, humedad alta, compacidad alta, estructura homogénea, dilatancia rápida.

Tabla 37: Perfil Estratigráfico Sondaje Edificio Consistorial Santo Domingo

8.2 Registros Fotográficos.

- Registro Fotográfico Sondaje y Estudio Sísmico CESFAM Loma Colorada

Las imágenes presentadas a continuación corresponden a las cajas que contienen los testigos recuperados en el transcurso de la perforación, una vista general de la maquinaria empleada y los perfiles sísmicos correspondientes.



Ilustración 1: Emplazamiento sondaje Loma Colorada



Ilustración 2: Muestras extraídas entre los 0.0m y los 8.0m de profundidad. Loma Colorada

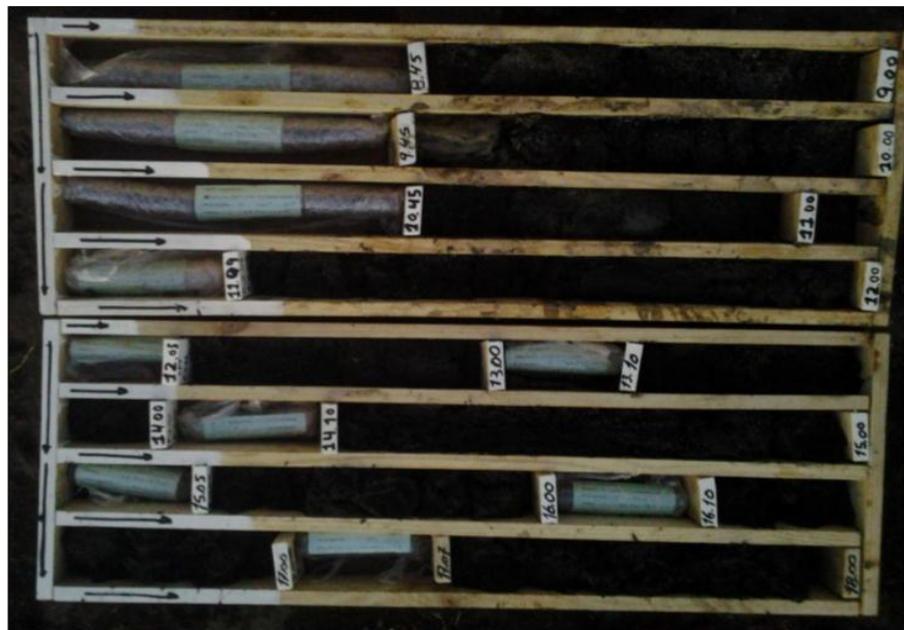


Ilustración 3: Muestras extraídas entre los 8.0m y los 18.0m de profundidad. Loma Colorada



Ilustración 4: Muestras extraídas entre los 18.0m y los 30.0m de profundidad. Loma Colorada

Perfil 1: Longitud 51 metros.



Ilustración 5: Perfil Sísmico 1 Loma Colorada

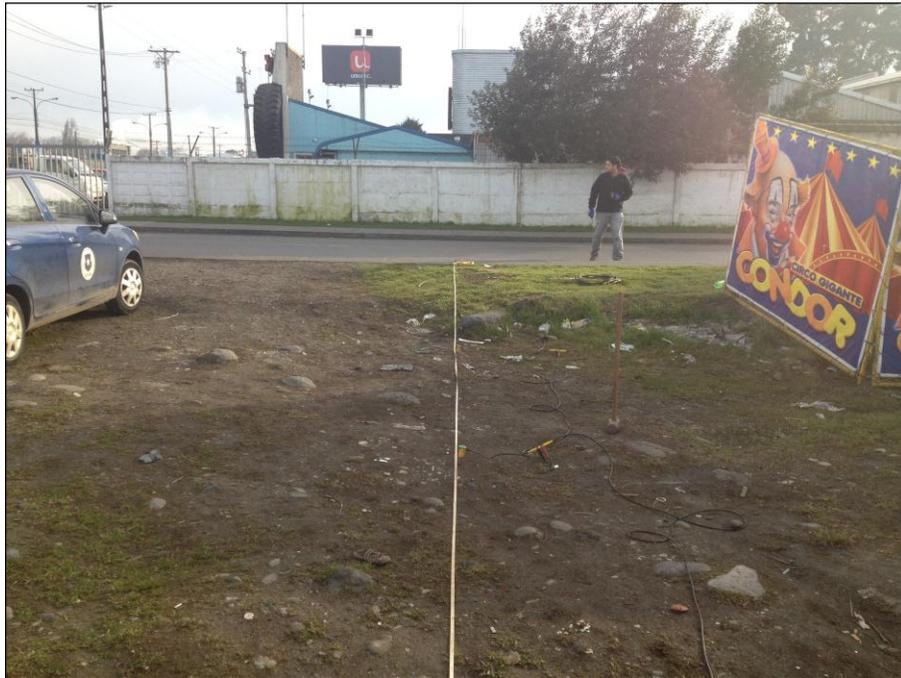


Ilustración 6: Perfil Sísmico 1 Loma Colorada

Perfil 2: Longitud 72 metros.

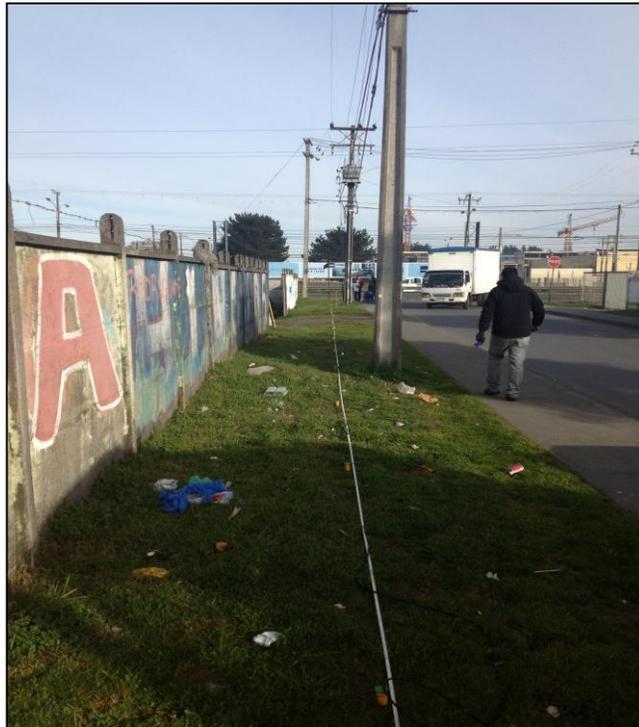


Ilustración 7: Perfil Sísmico 2 Loma Colorada



Ilustración 8: Perfil Sísmico 2 Loma Colorada

- Registro Fotográfico Sondaje y Estudio Sísmico Edificio Dos Esteros.

Las imágenes presentadas a continuación corresponden a las cajas que contienen los testigos recuperados en el transcurso de la perforación, una vista general de la maquinaria empleada y los perfiles sísmicos correspondientes.



Ilustración 9: Emplazamiento sondaje Edificio Dos Esteros



Ilustración 10: Muestras extraídas entre los 0.0m y los 7.0m de profundidad. Edificio Dos Esteros



Ilustración 11: Muestras extraídas entre los 7.0m y los 13.0m de profundidad. Edificio Dos Esteros



Ilustración 12: Muestras extraídas entre los 13.0m y los 20.0m de profundidad. Edificio Dos Esteros



Ilustración 13: Muestras extraídas entre los 20.0m y los 30.0m de profundidad. Edificio Dos Esteros

Perfil 1: Longitud 72 metros.



Ilustración 14: Perfil Sísmico 1 Edificio Dos Esteros



Ilustración 15: Perfil Sísmico 1 Edificio Dos Esteros

Perfil 2: Longitud 57 metros.



Ilustración 16: Perfil Sísmico 2 Edificio Dos Esteros



Ilustración 17: Perfil Sísmico 2 Edificio Dos Esteros

- Registro Fotográfico Sondaje y Estudio Sísmico Edificio DRAM.

Las imágenes presentadas a continuación corresponden a las cajas que contienen los testigos recuperados en el transcurso de la perforación, una vista general de la maquinaria empleada y los perfiles sísmicos correspondientes.



Ilustración 18: Emplazamiento sondaje Edificio DRAM



Ilustración 19: Muestras extraídas entre los 0.0m y los 6.0m de profundidad. Edificio DRAM



Ilustración 20: Muestras extraídas entre los 6.0m y los 13.3m de profundidad. Edificio DRAM



Ilustración 21: Muestras extraídas entre los 13.3m y los 20.4m de profundidad. Edificio DRAM



Ilustración 22: Muestras extraídas entre los 20.4m y los 27.0m de profundidad. Edificio DRAM



Ilustración 23: Muestras extraídas entre los 27.0m y los 30.0m de profundidad. Edificio DRAM

Perfil 1: Longitud 63 metros.



Ilustración 24: Perfil Sísmico 1 Edificio DRAM



Ilustración 25: Perfil Sísmico 1 Edificio DRAM

Perfil 2: Longitud 63 metros.



Ilustración 26: Perfil Sísmico 2 Edificio DRAM



Ilustración 27: Perfil Sísmico 2 Edificio DRAM

- Registro Fotográfico Sondaje y Estudio Sísmico Parque ENEA.

Las imágenes presentadas a continuación corresponden a las cajas que contienen los testigos recuperados en el transcurso de la perforación, una vista general de la maquinaria empleada y los perfiles sísmicos correspondientes.



Ilustración 28: Emplazamiento sondaje Parque ENEA



Ilustración 29: Muestras extraídas entre los 0.0m y los 12.0m de profundidad. Parque ENEA



Ilustración 30: Muestras extraídas entre los 12.0m y los 30.0m de profundidad. Parque ENEA

Perfil 1: Longitud 72 metros.



Ilustración 31: Perfil Sísmico 1 Parque ENEA



Ilustración 32: Perfil Sísmico 1 Parque ENEA

Perfil 2: Longitud 72 metros.



Ilustración 33: Perfil Sísmico 2 Parque ENEA



Ilustración 34: Perfil Sísmico 2 Parque ENEA

- Registro Fotográfico Sondaje y Estudio Sísmico Edificio Consistorial Santo Domingo.

Las imágenes presentadas a continuación corresponden a las cajas que contienen los testigos recuperados en el transcurso de la perforación, una vista general de la maquinaria empleada y los perfiles sísmicos correspondientes.



Ilustración 35: Emplazamiento Sondaje Edificio Consistorial Sto. Domingo



Ilustración 36: Muestras extraídas entre los 30.0m y los 15.0m de profundidad. Ed. Cons. Sto. Domingo.



Ilustración 37: Muestras extraídas entre los 0.0m y los 15.0m de profundidad. Ed. Cons. Sto. Domingo

Perfil 1: Longitud 72 metros.



Ilustración 38: Perfil Sísmico 1 Edificio Consistorial Sto. Domingo



Ilustración 39: Perfil Sísmico 1 Edificio Consistorial Sto. Domingo

Perfil 2: Longitud 72 metros.



Ilustración 40: Perfil Sísmico 2 Edificio Consistorial Sto. Domingo