

U N I V E R S I D A D D E L B I O - B I O
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Oscar Gutiérrez A.

Profesores Comisión: Álvaro Suazo S.

Verónica Lazcano C.

**“Efecto en la curva de dispersión a través del método
MASW, al realizar variaciones en el peso de la fuente
activa y el tipo placa.”**

**Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el
Título de Ingeniero Civil**

Rodrigo Arturo Rivas Lucero

Concepción, 18 Julio 2016

D e d i c a t o r i a

Dedicado a mi familia, mis padres Silvia Lucero y Arturo Rivas, y a mi pequeño hermano Maximiliano Rivas, quienes siempre me ayudaron a recorrer este camino por la Universidad y además, fueron mi principal incentivo para Llegar a ser lo que hoy soy.

A g r a d e c i m i e n t o s

Agradezco a mi familia por su incondicional apoyo y ayuda en todos estos años, por formarme como persona y entregarme los valores que me servirán para toda la vida.

A mis compañeros, “Civil United”, por los buenos momentos y la valiosa amistad formada que nos llevó a que juntos lográramos la meta de esta carrera.

A mi profesor Oscar Gutiérrez por darme la oportunidad de realizar esta tesis con él, y por darme su completo apoyo durante la realización de esta.

N O M E N C L A T U R A

MASW: Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (Multichannel Analysis of Surface Waves).

REMi: Refracción de ruido ambiental (Refraction Microtremor).

SASW: Análisis Espectral de Ondas Superficiales (Spectral Analysis of Surface Waves).

NSPT: Índice de Penetración Estándar.

Vs: Velocidad de propagación de ondas de corte.

Vs30: Velocidad de onda de corte equivalente de los 30 m superiores del terreno.

DS N° 61: Decreto Supremo N° 61.

INDICE GENERAL

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
NOMENCLATURA.....	iv
INDICE GENERAL.....	v
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.2. Objetivos de la Investigación.....	4
1.2.1. <i>Objetivo General.</i>	4
1.2.2. <i>Objetivos Específicos.</i>	4
1.3. Justificación del Tema.	5
1.4. Metodología de Trabajo.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Ondas Sísmicas.....	8
2.2. Métodos de Medición de Ondas.	8
2.3. Fenómeno de Dispersión.	9
2.4. Curvas de Dispersión.	9
2.5. Procesamiento de Datos.....	10
3. METODOLOGIA DEL ANALISIS DE DATOS.....	11
3.1. Equipo.....	12
3.2. Consideraciones.....	13
3.2.1. <i>Metodología MASW.</i>	13
3.2.2. <i>Espaciamiento entre Geófonos.</i>	13
3.2.3. <i>Evaluación del Peso del Mazo y el Tipo de Placa a Impactar.</i>	14
3.2.4. <i>Evaluación de la energía al impactar la placa producto de la masa utilizada.</i>	14
3.3. Ensayos In-Situ.....	15
3.3.1 <i>Ensayo 1: Sector Cancha de Rugby Universidad del Bio Bio (UBB).</i>	15
3.3.2 <i>Ensayo 2: Sector San Pedro de la Paz.</i>	16
3.3.3 <i>Ensayo 3: Sector Cerro Centinela Talcahuano.</i>	17

3.3.4 Ensayo 4: Sector Manquimavida Chiguayante.....	18
3.4.- Procesamiento de datos	19
4. ANÁLISIS DE RESULTADO.....	20
4.1. Sector Cancha de Rugby UBB.....	20
4.1.1. Curvas Seleccionadas y sus Picking.	20
4.1.2. Superposición de Picking.	21
4.1.3. Perfil de Ondas de Corte y Vs30.	21
4.2. Sector San Pedro de la Paz.	23
4.2.1. Curvas Seleccionadas y sus Picking.	23
4.2.1.a). Dirección N-S placa de teflón (D1).	23
4.2.1.b). Dirección E-O placa teflón (D2).	24
4.2.1.c). Dirección E-O placa acero (D2).	24
4.2.2. Superposición de Picking.	25
4.2.2.a). Dirección N-S teflón (D1).	25
4.2.2.b). Dirección E-O teflón (D2).	26
4.2.2.c). Dirección E-O acero (D2).	26
4.3. Sector Cerro Centinela Talcahuano.	29
4.3.1. Curvas Seleccionadas y sus Picking.	29
4.3.1.a). Placa de teflón.	29
4.3.1.b). Placa de acero.	30
4.3.2. Superposición de Picking.	30
4.3.2.a). Placa de teflón.	31
4.3.2.b). Placa de acero.	31
4.3.3. Perfil de Ondas de Corte y Vs30.	32
4.4. Sector Manquimavida en Chiguayante.	33
4.4.1. Curvas Seleccionadas y sus Picking.	33
4.4.1.a). Placa de teflón.	33
4.4.1.b). Placa de acero.	34
4.4.2. Superposición de Picking.	34
4.4.2.a). Placa de teflón.	35
4.4.2.b). Placa de acero.	35

4.4.3. Perfil de Ondas de Corte y Vs30.....	36
4.5. Tabla Resumen de los Ensayos Realizados.....	37
4.5. Energía de impacto en la placa al variar la masa.....	38
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
5.1. Conclusiones.....	40
5.2. Recomendaciones.....	41
6. REFERENCIAS.....	42

INDICE DE IMÁGENES.

Figura 1. Esquema de Metodología de trabajo.	6
Figura 2. Equipo empleado.....	11
Figura 3. Vista aérea de la cancha de rugby UBB proporcionada por Google Earth.	15
Figura 4. Vista aérea loteo San Pedro de la Paz proporcionada por Google Earth.	16
Figura 5. Vista aérea pasaje nueva 1 población Centinela proporcionada por Google Earth.	17
Figura 6. Vista aérea sector Manquimavida Chiguayante proporcionada por Google Earth.	18
Figura 7. Curvas de dispersión seleccionadas sector UBB y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.	20
Figura 8. Perfil de velocidades sector UBB.	22
Figura 9. Curvas de dispersión seleccionadas sector San Pedro de la Paz (D1) placa de teflón y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.....	23
Figura 10. Curvas de dispersión seleccionadas sector San Pedro de la Paz (D2) placa de teflón y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.....	24
Figura 11. Curvas de dispersión seleccionadas sector San Pedro de la Paz (D2) placa de acero y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.....	24
Figura 12. Perfil de velocidades sector San Pedro de la Paz.....	27
Figura 13. Curvas de dispersión seleccionadas sector cerro Centinela placa de teflón y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.....	29
Figura 14. Curvas de dispersión seleccionadas sector cerro Centinela placa de acero y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.....	30
Figura 15. Curvas de dispersión seleccionadas sector Manquimavida placa de teflón y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.....	33
Figura 16. Curvas de dispersión seleccionadas sector Manquimavida placa de acero y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.....	34
Figura 17. Perfil de velocidades sector Manquimavida.	36

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Parámetros de Medición N-S UBB. 15

Tabla 2. Parámetros de Medición N-S (D1) y E-O (D2) San Pedro de la Paz. 16

Tabla 3. Parámetros de Medición S-N Sector Centinela. 17

Tabla 4. Parámetros de Medición N-S Sector Manquimavida. 18

Tabla 5. Promedio de Velocidades de Ondas de Corte en los primeros 16 m y Clasificación Sísmica del Suelo en la UBB. 22

Tabla 6. Promedio de Velocidades de Ondas de Corte en los primeros 30 m y Clasificación Sísmica del Suelo San Pedro de la Paz. 28

Tabla 7. Promedio de Velocidades de Ondas de Corte en los primeros 30 m y Clasificación Sísmica del Suelo Sector Manquimavida. 37

Tabla 8. Tabla Resumen de los Ensayos Realizados. 37

Tabla 9. Energía al Momento del Impacto Caída Libre. 38

Tabla 10. Velocidades Iniciales Aplicadas y Energías al Momento del Impacto. 39

INDICE DE GRAFICOS.

Grafico 1. Superposición de picking sector UBB para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs. 21

Grafico 2. Superposición de picking sector San Pedro de la Paz (D1) placa de teflón para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs. 25

Grafico 3. Superposición de picking sector San Pedro de la Paz (D2) placa de teflón para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs. 26

Grafico 4. Superposición de picking sector San Pedro de la Paz (D2) placa de acero para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs. 26

Grafico 5. Superposición de picking sector cerro Centinela placa de teflón para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs. 31

Grafico 6. Superposición de picking sector cerro Centinela placa de acero para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs. 31

Grafico 7. Superposición de picking sector Manquimavida placa de teflón para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs. 35

Grafico 8. Superposición de picking sector Manquimavida placa de acero para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs. 35

EFFECTO EN LA CURVA DE DISPERSION A TRAVES DEL METODO MASW, AL REALIZAR VARIACIONES EN EL PESO DE LA FUENTE ACTIVA Y EL TIPO DE PLACA.

Autor: Rodrigo Rivas Lucero

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: rarivas@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Oscar Gutiérrez Astete

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: solving.cl@gmail.cl

RESUMEN

En la actualidad, debido a la gran actividad sísmica de nuestro país, es de vital importancia el estudio del comportamiento de los distintos tipos de suelo donde fundamos nuestras edificaciones. Es por esto, que luego del terremoto del 27 de Febrero del 2010, las normas diseño fueron actualizadas para lograr un mejor desempeño de las estructuras frente a las sollicitaciones sísmicas y evitar posibles daños o colapsos de las construcciones.

Una de estas actualizaciones es la nueva clasificación de suelos publicado en el Decreto Supremo N° 61. Para clasificar los suelos ahora es necesario determinar el V_{s30} , parámetro que corresponde al promedio de las velocidades de ondas de corte en los primeros 30 metros de profundidad. Este se obtendrá mediante ensayos Geofísicos tales como el MASW, ReMi, SASW u otros. Para efecto de esta tesis, se utilizara el método MASW, que posee diversas técnicas y logísticas que lo convierten en uno de los métodos más requeridos para la clasificación sísmica del suelo de acuerdo a la nueva normativa chilena. Para la metodología de la medición, se realizaron mediciones haciendo variar algunos parámetros tales como el tipo de placa y el peso del mazo. Con esto se busca ver el efecto que esto produce en la curva de dispersión, que con una posterior inversión nos permite determinar el perfil de ondas de corte con el que se logra obtener el parámetro V_{s30} utilizado para la clasificación sísmica del suelo.

Palabras claves: MASW, curva de dispersión.

ABSTRACT

Currently, due to the great seismic activity of our country, it is vitally important the study of the behavior of different types of soil where we founded our buildings. This is why, that after the earthquake of February 27, 2010, the rules design were updated to achieve better performance of structures against seismic stress and avoid possible damage or collapse of constructions.

One of these updates is the new soil classification published in Supreme Decree No. 61. To classify them soils now is necessary determine the V_{s30} , parameter that corresponds to the average of the speeds of waves of cut in them first 30 meters of depth. This will be obtained through geophysical testing such as the MASW, ReMi, SASW or others. For the purpose of this thesis, using the MASW method, which has different techniques and logistics that make it one of the most required methods for the seismic classification of soil according to the new Chilean legislation. For the measurement methodology, were measured by change some parameters such as the type of plate and the weight of the harness. This seeks to see the effect of this on the curve of dispersion, which allows us to determine the profile of waves of cut that is achieved to obtain the V_{s30} parameter used for the seismic classification of soil with a further investment.

Keywords: MASW, Curve of dispersion

Número de palabras: $8432 + 250 \cdot 17 + 250 \cdot 10 = 15182$

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del campo de estudio y trabajo de la Ingeniería Civil, el área de la geotecnia está tomando más fuerza, especialmente para realizar caracterizaciones de los suelos, ya que la norma actual exige ensayos Geofísicos para la clasificación sísmica de estos. Por esta razón, los métodos tradicionales exploración del subsuelo irán dando lugar a los más nuevos debido al su carácter no invasivo, poseer menores costos en la ejecución y porque entregan una mayor información y más clara. De esta manera se podrían optimizar los diseños de edificaciones u otros. Este aspecto es de vital relevancia en un país sísmico como lo es Chile.

Estos métodos consisten principalmente en el análisis de las ondas de corte producidas en el subsuelo en los primeros 30 m de profundidad. Con aquel análisis se puede obtener un parámetro denominado V_{s30} que, junto a otros parámetros que exige la normativa chilena, permite caracterizar el suelo de una zona en particular.

En el presente Proyecto de Título se busca comprender estos nuevos métodos, entender la teoría de fondo para interpretar los resultados y aplicarla a la realidad local, con el fin de relacionar los resultados con la Normativa actual Chilena y hasta con las internacionales.

El método a estudiar es el MASW, el cual usando un equipo de exploración geofísica junto con la ayuda de un software especializado, se analizarán los efectos que se producen en la curva de dispersión al alterar las variables de ensayo como el tipo de placa y el peso del mazo, y de esta manera lograr dar recomendaciones y observaciones ante los efectos que se presentarán.

1.2. Objetivos de la Investigación.

1.2.1. Objetivo General.

- Analizar el efecto en la curva de dispersión mediante la aplicación del método MASW, al alterar las variables tales como el peso de la fuente activa y el tipo de placa.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Analizar la energía inducida a la placa con el impacto del mazo.
- Analizar el efecto de la placa utilizada al momento del impacto.
- Visualizar como la curva de dispersión se va alterando al combinar las variables de ensayo.
- Dar a entender el por qué se utiliza habitualmente el mazo de 20 lb por sobre el resto, tomando como referencia las curvas experimentalmente obtenidas.

1.3. Justificación del Tema.

Para la mayoría de las estructuras que se desean construir, se necesita una clasificación sísmica del suelo. Debido al terremoto del 27 de Febrero del 2010 que afectó a nuestro país desde la región de Valparaíso hasta la región de la Araucanía (donde las mayores intensidades se percibieron en la región del Maule y la del Bío-Bío con una magnitud de 8.8 Mw), se promulgó el Decreto Supremo N° 61, que modificaría la actual Norma Chilena Nch 433, Diseño sísmico de edificios, en el cual se propone una nueva clasificación de suelos basada en la velocidad de ondas de corte a los primeros 30 metros de profundidad (V_{s30}).

Esta clasificación se realiza mediante ensayos Geofísicos tales como el SASW, MASW y REMI, de los cuales se puede estimar un perfil de velocidades de ondas de corte, permiten posteriormente obtener el V_{s30} . Para efecto de esta tesis, se utilizará el método MASW, que posee diversas técnicas y logísticas que lo convierten en uno de los métodos más requeridos para la clasificación sísmica del suelo de acuerdo a la nueva normativa chilena (DS61).

1.4. Metodología de Trabajo.

Los objetivos de la presente Memoria de Título se cumplirán siguiendo las siguientes etapas mostradas en la Figura 1:

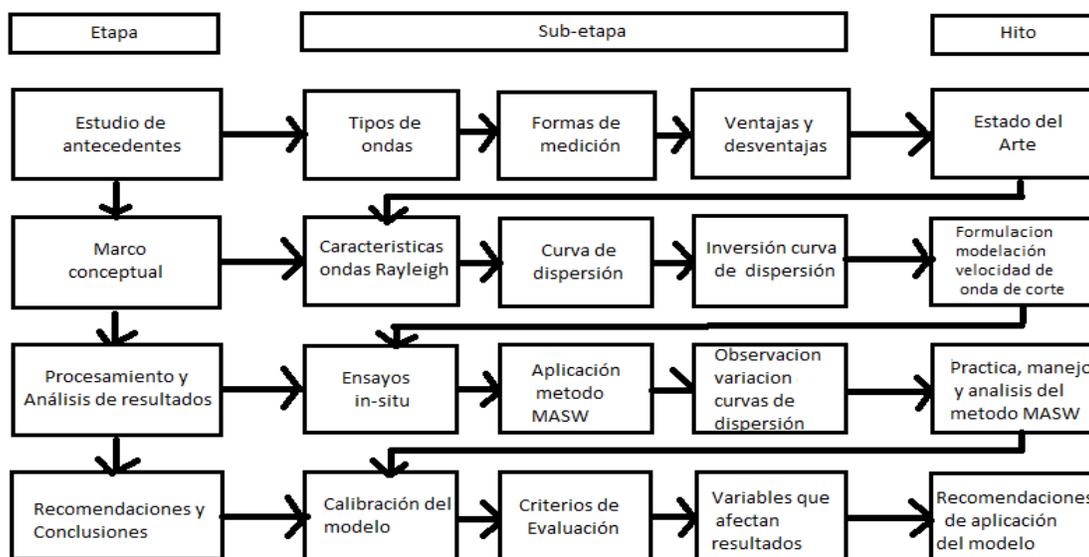


Figura 1. Esquema de Metodología de trabajo.

Etapa 1.- Estudio de antecedentes: Se realiza una investigación técnica sobre los parámetros que intervienen en la medición de ondas de corte, además de una revisión bibliográfica de la Norma Nch 433 of.96 mod. 09, y de las posteriores modificaciones mediante el Decreto Supremo N° 117 y N° 61.

Etapa 2.- Marco Conceptual: Se estudia el tipo de onda medible con los métodos ya mencionados, además de investigar y analizar los procesos para la obtención de las curvas de dispersión y la posterior inversión de la misma para determinar el perfil de ondas característico del suelo en estudio.

Etapa 3.- Procesamiento y análisis de resultados: Luego de la toma de datos en terreno en los sitios elegidos, estos se analizan este mediante software aplicando los criterios determinados en la etapa anterior.

Etapa 4.- Recomendaciones y conclusiones: posteriormente al análisis de resultados, se procede a sintetizar el trabajo, determinar los criterios más efectivos para la medición, dar a conocer los resultados más relevantes de tal manera de poder realizar futuras mediciones de la manera más óptima y clara posible.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Ondas Sísmicas.

Durante un movimiento sísmico, parte de la energía liberada es transmitida en forma de ondas que viajan en el suelo, estas generan movimiento al perturbar el medio donde viajan. Estas ondas se clasifican principalmente por la profundidad donde actúan, por lo que existen 2 tipos: las ondas sísmicas internas o corporales y las superficiales, las que se explican en detalle en el Anexo A.

Ondas Rayleigh: Es un tipo de onda sísmica superficial también llamada ground roll, en este caso, las partículas se desplazan mediante una trayectoria elíptica retrograda en el plano vertical del medio de propagación (ver Figura A3), teniendo así bajas velocidades, bajas frecuencias y gran amplitud. Está demostrado que 2/3 de la energía liberada durante un sismo corresponden a estas ondas, por lo tanto son las principales ondas que son percibidas durante un terremoto y además son las más peligrosas para las fundaciones que pueden producir daños considerables a las estructuras, incluso pudiendo entrar en resonancia con algunas edificaciones, por lo tanto son las analizadas en las mediciones superficiales. Para mayor detalle revisar anexo A1.

2.2. Métodos de Medición de Ondas.

Los métodos de medición de ondas superficiales se clasifican, dependiendo del tipo de fuente que utilicen, en 3 tipos: activos, pasivos e híbridos. Ver Anexo A2. El método MASW (análisis multicanal de ondas superficiales) trabaja con el registro de las ondas Rayleigh generadas por el golpe de un martillo contra una placa ubicada en suelo, a través de la señal captada por geófonos situados en un arreglo lineal, equidistantes entre sí. Luego de ello, el registro permite visualizar el espectro de velocidad de onda de corte vs frecuencia, donde se puede determinar la ubicación del modo fundamental del suelo y proceder a la selección de la curva de dispersión. Tras el proceso de inversión de la curva se obtiene el perfil de velocidades del suelo y se puede proceder al cálculo del parámetro V_{s30} . Para obtener mediciones confiables se deben utilizar al menos 12 geófonos (Roma, 2006), con distancias cortas (1-2 [m]) o largas (50-100 [m]) (Linares, 2005).

2.3. Fenómeno de Dispersión.

Las ondas Rayleigh posee una naturaleza dispersiva, es decir, por cada frecuencia que posea el tren de ondas, ésta viajará a una distinta velocidad de fase, lo que implicará que cada frecuencia penetre a una profundidad específica (Khareshi et al, 2010).

Ya que los suelos en su mayoría son heterogéneos en profundidad, las ondas Rayleigh penetrarán en grandes profundidades cuando presenten mayores longitudes de onda y generalmente presentarán mayores velocidades de fase (Louie, 2005).

Por lo tanto, esta cualidad dispersiva de las ondas Rayleigh permite que su análisis sea más favorable al elaborar un espectro de velocidad de fase vs frecuencia, lo que permite identificar curvas características del suelo que entreguen información de la distribución de velocidades de ondas de corte con respecto a la profundidad de penetración.

2.4. Curvas de Dispersión.

Park et al (1998) plantea que si las propiedades del material cercano a la superficie cambian, la onda Rayleigh se vuelve dispersiva, por lo que su velocidad de propagación (fase) cambia con su frecuencia. Además, la penetración de la onda se ve relacionada a su longitud de onda, donde mayores valores penetran más profundo. Park et al (1999) plantea, además, que el suelo es un material atenuante, por lo que la amplitud de las ondas generadas disminuye a medida que se alejan de la fuente generadora. Debido a lo anterior, el análisis de las curvas de dispersión de las mediciones realizadas permite la determinación de la velocidad de onda de corte presente en un estrato de suelo. Como el suelo tiende a aumentar su rigidez conforme aumenta su profundidad, las ondas de menor frecuencia reflejarán estratos de mayor profundidad, mientras que las altas frecuencias corresponderán a estratos superficiales. Así, la relación entre frecuencia y profundidad estará dada por la Ecuación 1.

$$z = 0.5 * \frac{f}{vf} \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

- z : profundidad de penetración [m]

- f : frecuencia [Hz]

- vf : velocidad de fase [m/s]

Gracias al espectro de velocidad de fase vs frecuencia, es posible encontrar la profundidad de penetración de cada par ordenado presente en la curva de dispersión seleccionada con el criterio del periodo fundamental. Dado que el método MASW trabaja con el golpe de un martillo como fuente impulsora, las ondas generadas serán de alta frecuencia, por lo que no pueden penetrar grandes profundidades. Sin embargo, en la gran mayoría de los casos, la profundidad alcanzada puede ser de 30 [m], permitiendo obtener valores de Vs30 confiables. En algunas mediciones puede que el método sea insuficiente al alcanzar valores de profundidad menores a los 30 [m], como se puede presentar en suelos de mala calidad, por lo que es útil, para tales casos, combinarlo con un método pasivo como ReMi.

2.5. Procesamiento de Datos.

Luego de la toma de datos in-situ, el equipo (sismógrafo) es capaz de guardar un registro de los datos de cada ensayo, el cual, luego de 3 etapas:

- obtención de la curva de dispersión experimental
- cálculo la curva de dispersión aparente
- inversión de la curva de dispersión aparente

3. METODOLOGIA DEL ANALISIS DE DATOS

Las mediciones en terreno se realizan mediante arreglos lineales, es decir, la disposición de los geófonos es en línea recta separados entre sí a una cierta distancia. La fuente impulsiva será el golpe de un martillo a una placa metálica o de plástico alineada con el arreglo, como se muestra en la Figura 2a. De acuerdo al espacio físico del sitio de exploración, la separación entre los arreglos variará entre los 2 y los 4 m. Debido a esto, se realizarán mediciones de un mismo suelo con diferente peso de mazo para determinar la sensibilidad del método ante esta variable.

En la figura 2, se muestra el equipo utilizado, los mazos, la placa tanto de acero como de teflón, los geófonos y finalmente el equipo receptor de las señales.



Figura 2. Equipo empleado.

3.1. Equipo.

- Sismógrafo DoReMi de SARA Electronic Instruments. Ver Figura 2b.

Memoria: 64 kBytes

Rango de Frecuencias: 200 a 20000 Hz. (5 a 0.05 ms)

Resolución: 24 Bytes

Sistema Dinámico: Hasta 155 dB.

- Geófonos de 4.5 Hz.
- Cables de transmisión de datos.
- Martillo de 20 lbs, 16 lbs, 8 lbs y 6 lbs.
- Placa teflón.
- Placa metálica.
- Soportes PVC para Geofonos.
- Software DoReMi para digitalización del registro.
- Software GEOPSY para análisis del registro.

El método MASW trabaja con la siguiente configuración:

- Número de canales (geófonos) : 18
- Espaciamiento geófonos : 2-4 m.
- Intervalo de muestreo : 1 ms
- Tiempo Adquisición : 2 s
- Frecuencia : 1000 Hz

De acuerdo a la literatura técnica, el número de geófonos idealmente deberían ser 24, sin embargo con los 18 disponibles la adquisición de información igualmente es apropiada. (Rojas, 2008)

3.2. Consideraciones.

3.2.1. Metodología MASW.

Las mediciones se realizan por medio de un arreglo lineal de geófonos, espaciados de manera equidistante entre sí. La fuente impulsiva corresponde al golpe del martillo a la placa de teflón. Para todas las mediciones base se consideró un máximo de 18 geófonos. Si bien la literatura sugiere el empleo de 24 geófonos, con 12 geófonos se puede obtener una medición confiable (Roma, 2008).

3.2.2. Espaciamiento entre Geófonos.

El espaciamiento entre geófonos puede afectar los resultados de las mediciones ya que está relacionado a la longitud de onda, la que permite definir la máxima profundidad de investigación, que equivale a, aproximadamente, la mitad del largo del arreglo (Park et al, 2002). Es por ello que la cantidad de geófonos y su espaciamiento es de importante consideración dentro de las mediciones.

Si bien las distancias entre geófonos para el método MASW pueden variar de 1 a 4 [m] (Cuadra, 2007, Sandoval, 2013), Sandoval (2013) plantea que las mediciones in-situ pueden converger a un valor de V_s cuando los espaciamientos entre geófonos son de 2, 3 y 4 [m] al emplear 16 o más geófonos. Continúa mencionando que para los casos de 16 geófonos a 2 [m], dado que el largo del arreglo alcanza 32 [m], no se puede llegar a una profundidad deseada para obtener V_{s30} , por lo que las mediciones debiesen complementarse con la aplicación de un método pasivo como ReMi.

Por lo tanto, gracias a lo mencionado anteriormente, el empleo de 18 geófonos con distancias de 1 a 3 [m] permitirá obtener resultados que converjan a valores coherentes de velocidad de onda de corte.

Cabe destacar que, en suelos muy dispersivos, es decir, que posean estratos con distintas rigideces por más largo que sea el arreglo será muy difícil obtener información de los estratos más profundos por lo que se recomienda complementarlo con métodos pasivos.

3.2.3. Evaluación del Peso del Mazo y el Tipo de Placa a Impactar.

Dentro de las variables que pueden afectar los resultados de las mediciones se pueden considerar el peso del mazo y el tipo de placa a impactar, estas pueden incidir directamente en la curva de dispersión a obtener, como por ejemplo en la calidad de la curva, mientras mayor es el peso del mazo, mayor es la resolución de la curva y viceversa. También al utilizar la placa de teflón se puede obtener curvas de mejor calidad en comparación con la de acero.

3.2.4. Evaluación de la energía al impactar la placa producto de la masa utilizada.

La energía inducida a la placa al momento de ser impactada es de gran importancia para el análisis de las curvas de dispersión, esto se debe a que mientras mayor es la energía aplicada al ensayo mayor es el rango que de frecuencia donde se entrega información clara, y mientras menor es la energía aplicada al ensayo menor es el rango de frecuencia con información clara.

Existen fuentes de baja energía como de alta energía. Las fuentes de baja energía permiten explorar solo capas superficiales del suelo. Dentro de las más usadas en esta categoría están los mazos. Por otra parte las fuentes de alta energía garantizan una exploración satisfactoria de los primeros 30 m o más. Dentro de las más usadas en esta categoría se encuentra la caída libre.

Las fuentes de alta energía permiten en muchas ocasiones, realizar análisis de manera más exacta ya que entregan curvas de dispersión más claras debido a que estas logran superar el ruido ambiental dentro del rango de frecuencias de interés y por lo tanto la información que entrega es más fácil de leer, producto de que, muchas veces la presencia de ruido ambiental lleva a un análisis más complejo y a una interpretación de los datos más confusa.

Se dará a conocer un análisis simple en la sección 4.6.

3.3. Ensayos In-Situ

3.3.1 Ensayo 1: Sector Cancha de Rugby Universidad del Bio Bio (UBB).

Esta medición consistió en un arreglo lineal a lo largo de la cancha de rugby en dirección N-S. Se realizaron 12 ensayos, utilizando 4 mazos distintos y efectuando 3 mediciones por mazo. Además se utilizó una placa de teflón. Cabe destacar que para efecto del análisis se consideró solo un ensayo por mazo, los que entregaron mayor información, el resto se pueden ver en el Anexo C1. En la tabla 1 se muestran los parámetros empleados para esta medición.



Figura 3. Vista aérea de la cancha de rugby UBB proporcionada por Google Earth.

Tabla 1. Parámetros de Medición N-S UBB.

Ensayo	N° Geófonos	dx (m)	dx placa (m)	Longitud (m)	Mazo (Lb)
1	18	2	2	36	20
2	18	2	2	36	16
3	18	2	2	36	8
4	18	2	2	36	6

3.3.2 Ensayo 2: Sector San Pedro de la Paz.

Esta medición consistió en 2 arreglos lineales a lo largo y ancho de un loteo ubicado en San Pedro de la Paz, uno en dirección N-S (D1) y el otro en dirección E-O (D2).

En D1 se realizaron 9 ensayos, 3 con el mazo de 20 lbs, 2 con el mazo de 16 lbs, 2 con el mazo de 8 lbs y 2 con el mazo de 6 lbs. La placa utilizada fue la de teflón.

En D2 se realizaron 16 ensayos, 8 con la placa de teflón y 8 con la placa de acero. Para cada peso de mazo se realizaron 2 ensayos.

Cabe destacar que para efecto del análisis se consideró solo un ensayo por mazo, y un total de 4 por placa, considerando los que entregaron mayor información, el resto se pueden ver en el Anexo C2. En la tabla 2 se muestran los parámetros empleados para esta medición.



Figura 4. Vista aérea loteo San Pedro de la Paz proporcionada por Google Earth.

Tabla 2. Parámetros de Medición N-S (D1) y E-O (D2) San Pedro de la Paz.

Ensayo	N° Geófonos	dx (m)	dx placa (m)	Longitud (m)	Mazo (Lb)
1	18	3	3	54	20
2	18	3	3	54	16
3	18	3	3	54	8
4	18	3	3	54	6

3.3.3 Ensayo 3: Sector Cerro Centinela Talcahuano.

Esta medición consistió en 1 arreglo lineal a lo largo de un pasaje ubicado a las afueras de un jardín infantil en el cerro Centinela en la comuna de Talcahuano en dirección S-N.

Se realizaron 16 ensayos, 8 con la placa de teflón y 8 con la placa de acero. Para cada peso de mazo se realizaron 2 ensayos.

Cabe destacar que para efecto del análisis se consideró solo un ensayo por mazo, y un total de 4 por placa, considerando los que entregaron mayor información, el resto se pueden ver en el Anexo C3. En la tabla 3 se muestran los parámetros empleados para esta medición.



Figura 5. Vista aérea pasaje nueva 1 población Centinela proporcionada por Google Earth.

Tabla 3. Parámetros de Medición S-N Sector Centinela.

Ensayo	N° Geófonos	dx (m)	dx placa (m)	Longitud (m)	Mazo (Lb)
1	18	2,5	3,75	46,25	20
2	18	2,5	3,75	46,25	16
3	18	2,5	3,75	46,25	8
4	18	2,5	3,75	46,25	6

3.3.4 Ensayo 4: Sector Manquimavida Chiguayante.

Esta medición consistió en 1 arreglo lineal a lo largo de un pasaje ubicado en la población Manquimavida en la comuna de Chiguayante.

Se realizaron 16 ensayos, 8 con la placa de teflón y 8 con la placa de acero. Para cada peso de mazo se realizaron 2 ensayos.

Cabe destacar que para efecto del análisis se consideró solo un ensayo por mazo, y un total de 4 por placa, considerando los que entregaron mayor información, el resto se pueden ver en el Anexo C4. En la tabla 4 se muestran los parámetros empleados para esta medición.



Figura 6. Vista aérea sector Manquimavida Chiguayante proporcionada por Google Earth.

Tabla 4. Parámetros de Medición N-S Sector Manquimavida.

Ensayo	N° Geófonos	dx (m)	dx placa (m)	Longitud (m)	Mazo (Lb)
1	18	3	1,5	52,5	20
2	18	3	1,5	52,5	16
3	18	3	1,5	52,5	8
4	18	3	1,5	52,5	6

3.4.- Procesamiento de datos

Con los registros de los ensayos en terreno es posible proceder con el procesamiento de los datos por medios de los software Geopsy (ver ANEXO B1) y Dinver (ver ANEXO B2).

En una primera instancia se emplea Geopsy para la obtención de la curva de dispersión por medio del gráfico de velocidad de fase vs frecuencia. Los colores de alta frecuencia representan la concentración de energía del modo fundamental, información con la que es posible realizar el picking y elegir la curva de dispersión aparente.

El software Dinver, extensión del Geopsy, permite realizar el proceso de inversión de la curva de dispersión y tras una serie de iteraciones permite obtener la estratigrafía del suelo. Luego de elegir el perfil que más se adapte a la curva analizada se puede proceder con el cálculo de V_{s30} (ver ANEXO A3.3).

4. ANÁLISIS DE RESULTADO.

A partir de la información obtenida en las pruebas en terreno, corresponde analizar e interpretar la información entregada, enfocándose principalmente a la forma y resolución de las curvas de dispersión, variabilidad del resultado final del Vs30, influencia del ruido ambiental (cuando corresponda), etc. Por lo tanto se tiene lo siguiente:

4.1. Sector Cancha de Rugby UBB.

Ya mencionada la cantidad de ensayos y la disposición de los arreglos realizados, además del criterio de selección de las curvas de dispersión (CD) en el capítulo 3.3.1, se procede el dar a conocer las curvas seleccionadas y sus respectivos picking en la sección 4.1.1.

4.1.1. Curvas Seleccionadas y sus Picking.

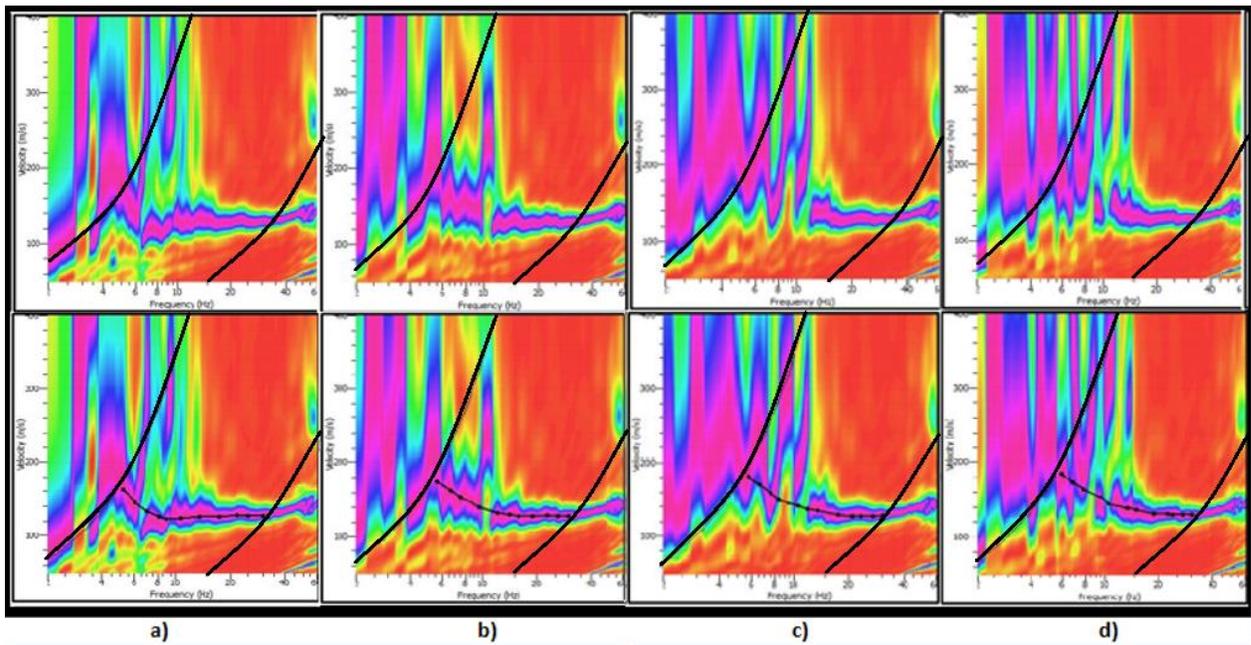


Figura 7. Curvas de dispersión seleccionadas sector UBB y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.

4.1.2. Superposición de Picking.

De las imágenes mostradas en la sección 4.1.1, se realizó una superposición de los picking trazados en el software GEOPSY, obteniendo lo que se presenta el grafico 1, donde se muestra la tendencia que siguieron las CD, y de esta manera, se puedan mostrar las diferencias al utilizar mazos de distinto peso.

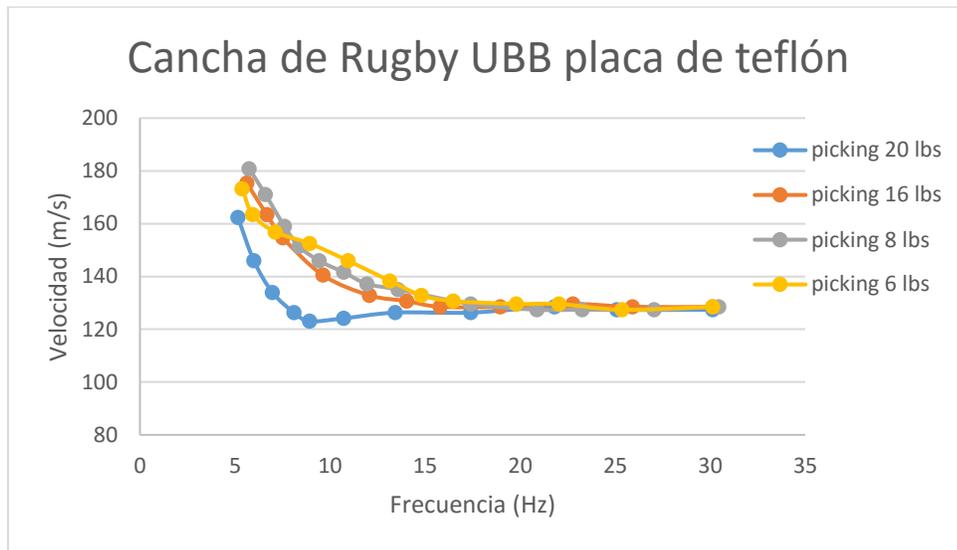


Grafico 1. Superposición de picking sector UBB para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs.

4.1.3. Perfil de Ondas de Corte y Vs30.

Posteriormente se realizó el último paso del proceso, la inversión de la curva de dispersión. Dado un modelo inicial que supone el software, determinado por el espesor, densidad, módulo de poisson, velocidad de onda de corte y velocidad de onda P, se simula una curva de dispersión, la cual modificando los parámetros, de forma iterativa, se busca lograr la mayor coincidencia con la curva de dispersión obtenida. Finalmente, en la Figura 8, se muestra el perfil determinado, luego de revisar las 6 iteraciones que se realizaron y seleccionando el que más se asemejaba al modelo establecido.

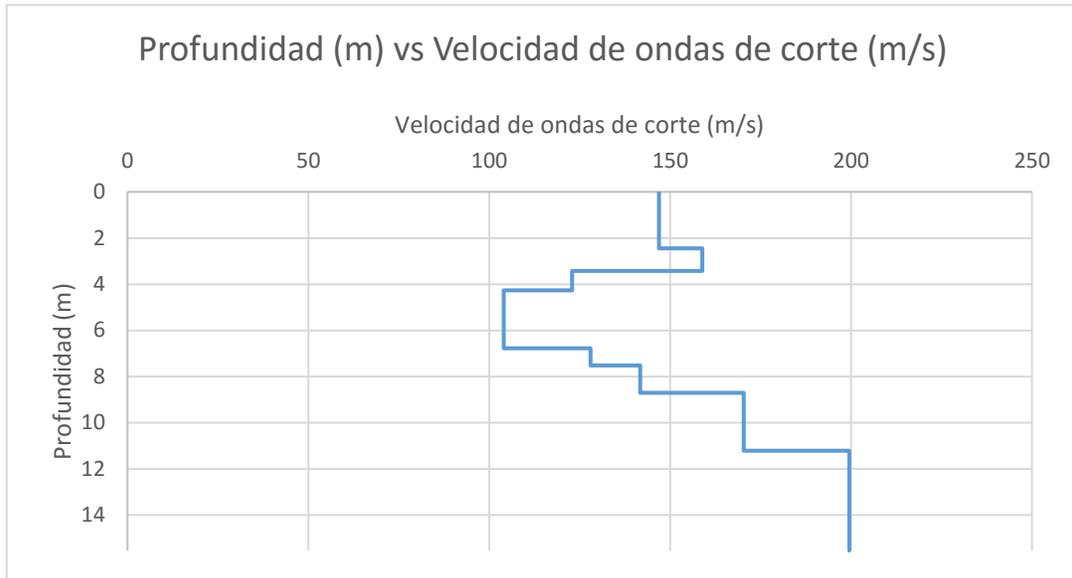


Figura 8. Perfil de velocidades sector UBB.

Para la UBB no fue posible determinar un Vs30 ya que la información que entregaba la curva de dispersión llegaba alrededor de los 16 m de profundidad. De todas formas se calculó un equivalente al promedio de las velocidades de ondas de corte a los 16m (Vs16), y asignándole una clasificación de acuerdo a lo establecido en el DS61. Esta información se da a conocer en la tabla 5.

Tabla 5. Promedio de Velocidades de Ondas de Corte en los primeros 16 m y Clasificación Sísmica del Suelo en la UBB.

Vs16 (m/s)	149
Tipo de suelo	E

4.2. Sector San Pedro de la Paz.

Ya mencionada la cantidad de ensayos y la disposición de los arreglos realizados, además del criterio de selección de las curvas de dispersión (CD) en el capítulo 3.3.2, se procede el dar a conocer las curvas seleccionadas y sus respectivos picking en la sección 4.2.1.

4.2.1. Curvas Seleccionadas y sus Picking.

4.2.1.a). Dirección N-S placa de teflón (D1).

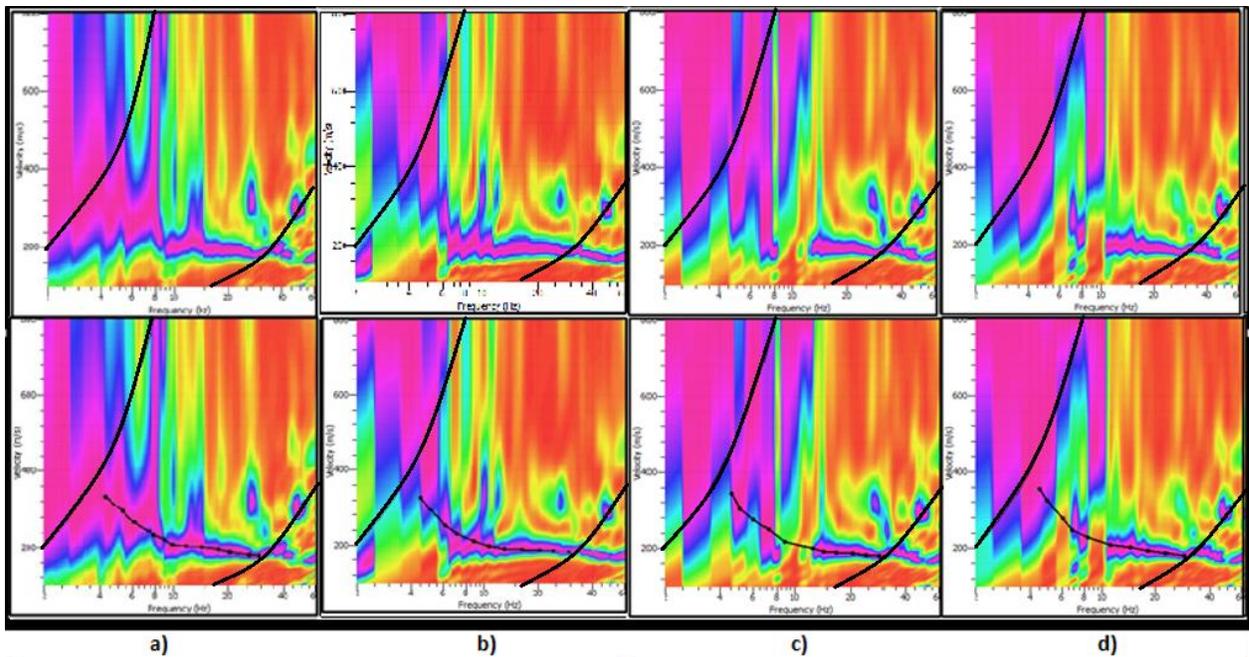


Figura 9. Curvas de dispersión seleccionadas sector San Pedro de la Paz (D1) placa de teflón y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.

4.2.1.b). Dirección E-O placa teflón (D2).

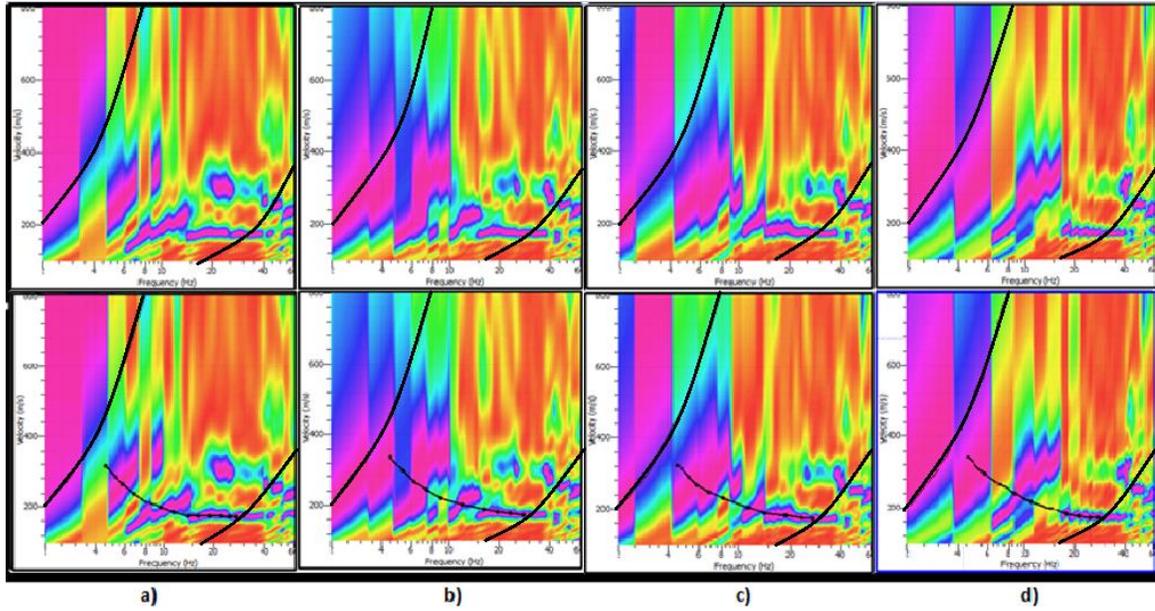


Figura 10. Curvas de dispersión seleccionadas sector San Pedro de la Paz (D2) placa de teflón y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.

4.2.1.c). Dirección E-O placa acero (D2).

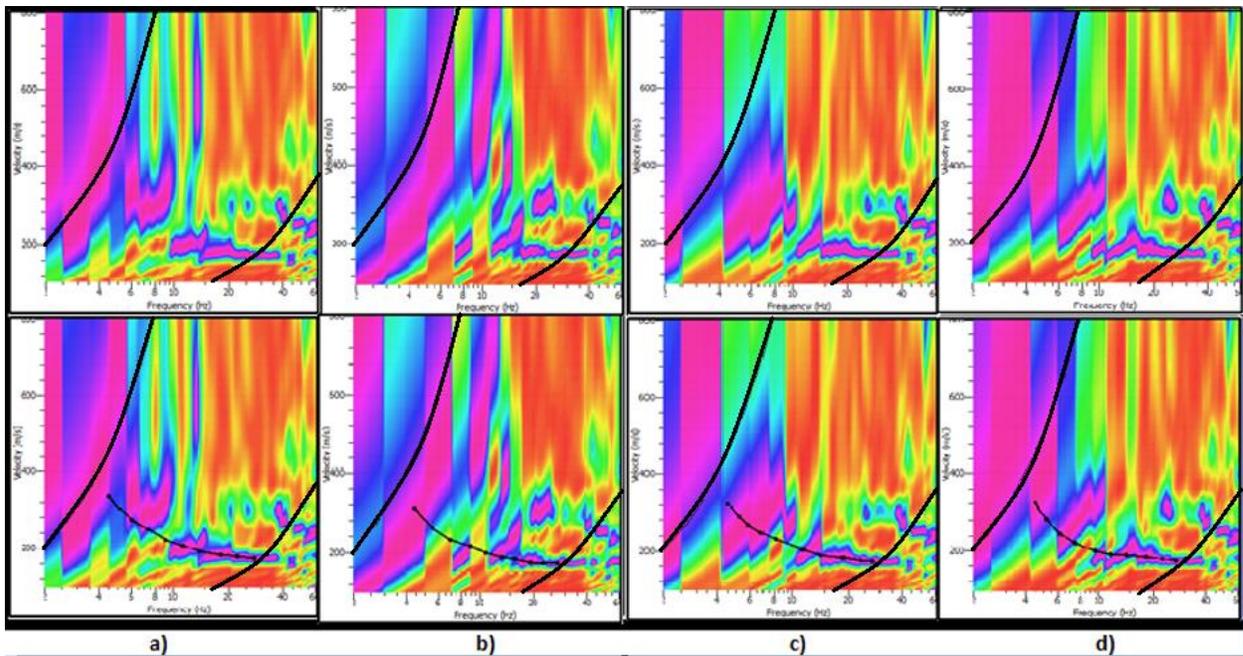


Figura 11. Curvas de dispersión seleccionadas sector San Pedro de la Paz (D2) placa de acero y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.

4.2.2. Superposición de Picking.

De las imágenes mostradas en la sección 4.2.1, se realizó una superposición de los picking trazados en el software GEOPSY, obteniendo lo que se presenta el grafico 2, 3 y 4 donde se muestra la tendencia que siguieron las CD, y de esta manera, se puedan mostrar las diferencias al utilizar mazos de distinto peso.

4.2.2.a). Dirección N-S teflón (D1).

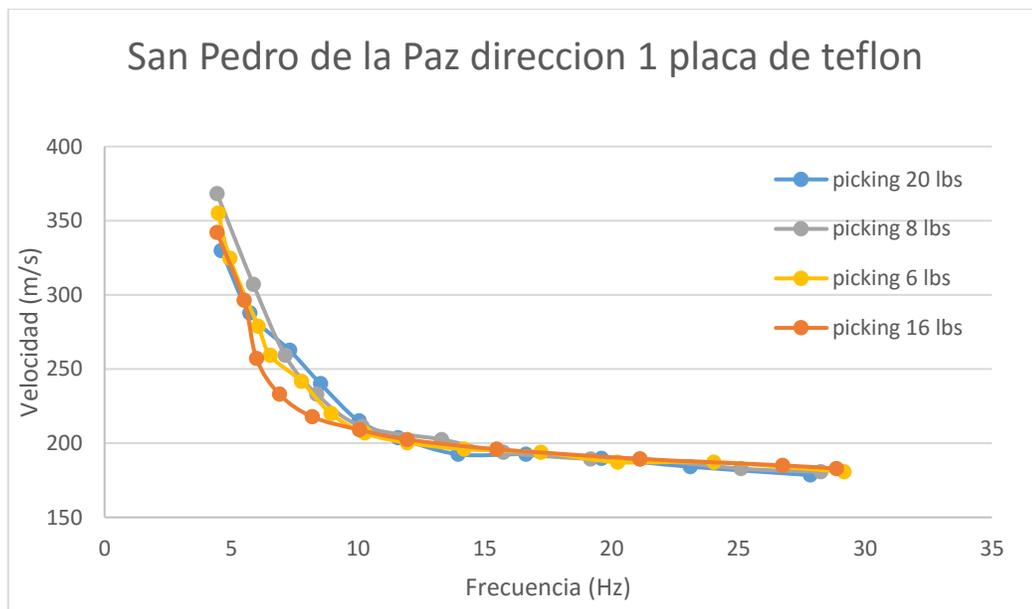


Grafico 2. Superposición de picking sector San Pedro de la Paz (D1) placa de teflón para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs.

4.2.2.b). Dirección E-O teflón (D2).

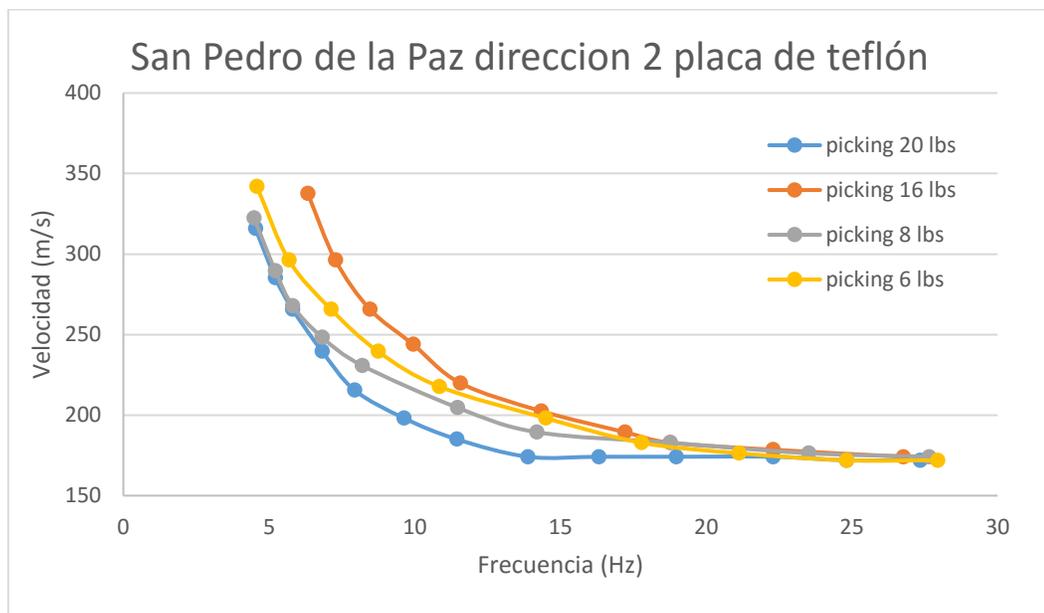


Grafico 3. Superposición de picking sector San Pedro de la Paz (D2) placa de teflón para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs.

4.2.2.c). Dirección E-O acero (D2).

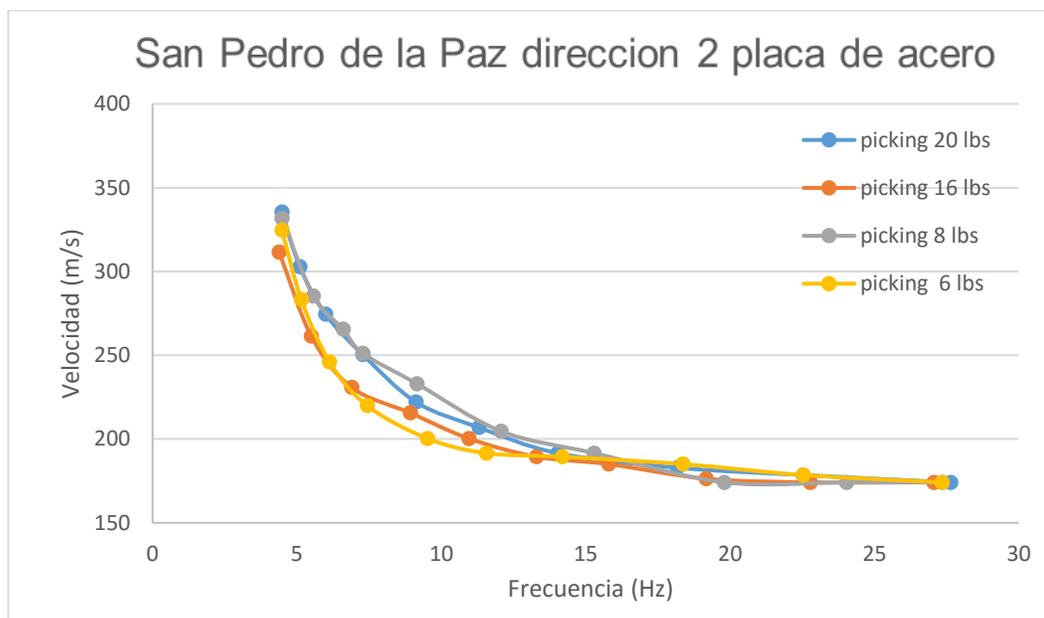


Grafico 4. Superposición de picking sector San Pedro de la Paz (D2) placa de acero para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs.

4.2.3. Perfil de Ondas de Corte y V_s30 .

Posteriormente se realizó el último paso del proceso, la inversión de la curva de dispersión. Dado un modelo inicial que supone el software, determinado por el espesor, densidad, módulo de poisson, velocidad de onda de corte y velocidad de onda P, se simula una curva de dispersión, la cual modificando los parámetros, de forma iterativa, se busca lograr la mayor coincidencia con la curva de dispersión obtenida. Finalmente, en la Figura 12, se muestra el perfil determinado, luego de revisar las 6 iteraciones que se realizaron y seleccionando el que más se asemejaba al modelo establecido.

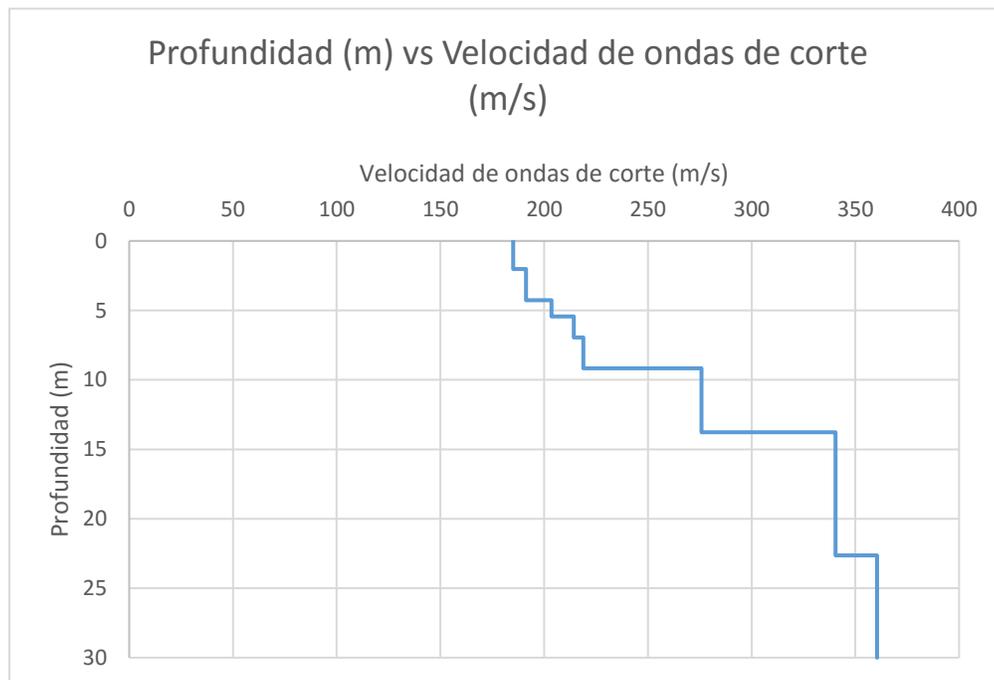


Figura 12. Perfil de velocidades sector San Pedro de la Paz.

Para San Pedro de la Paz fue posible determinar un V_{s30} ya que la información que entregaba la curva de dispersión llegaba alrededor de los 36 m de profundidad. Se ocupó la D1 por sobre la D2, ya que esta presentaba una tendencia similar en los datos que entregaba la curva de dispersión para cada mazo viéndose esto reflejado en el Grafico 2, lo que da mayor seguridad al momento de calcular el V_{s30} y su posterior clasificación sísmica de acuerdo a lo establecido en el DS61. Esta información se da a conocer en la tabla 6.

Tabla 6. Promedio de Velocidades de Ondas de Corte en los primeros 30 m y Clasificación Sísmica del Suelo San Pedro de la Paz.

Vs30 (m/s)	276
Tipo de suelo	D

4.3. Sector Cerro Centinela Talcahuano.

Ya mencionada la cantidad de ensayos y la disposición de los arreglos realizados, además del criterio de selección de las curvas de dispersión (CD) en el capítulo 3.3.3, se procede el dar a conocer las curvas seleccionadas y sus respectivos picking en la sección 4.3.1.

4.3.1. Curvas Seleccionadas y sus Picking.

4.3.1.a). Placa de teflón.

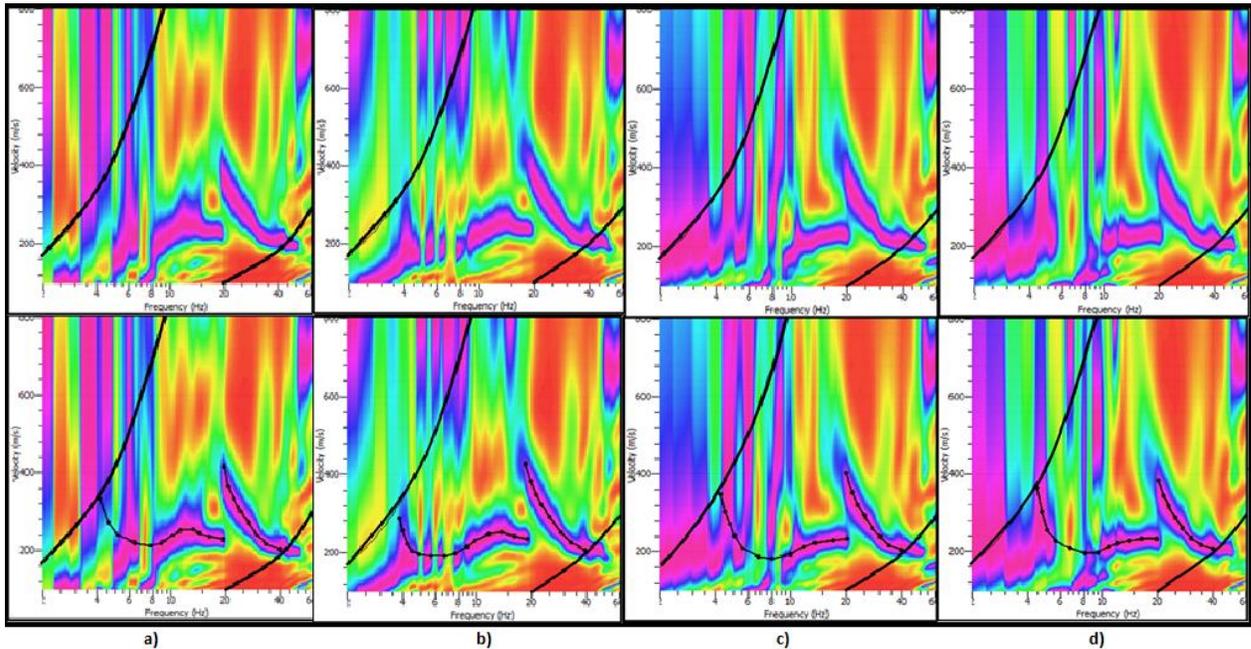


Figura 13. Curvas de dispersión seleccionadas sector cerro Centinela placa de teflón y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.

4.3.1.b). Placa de acero.

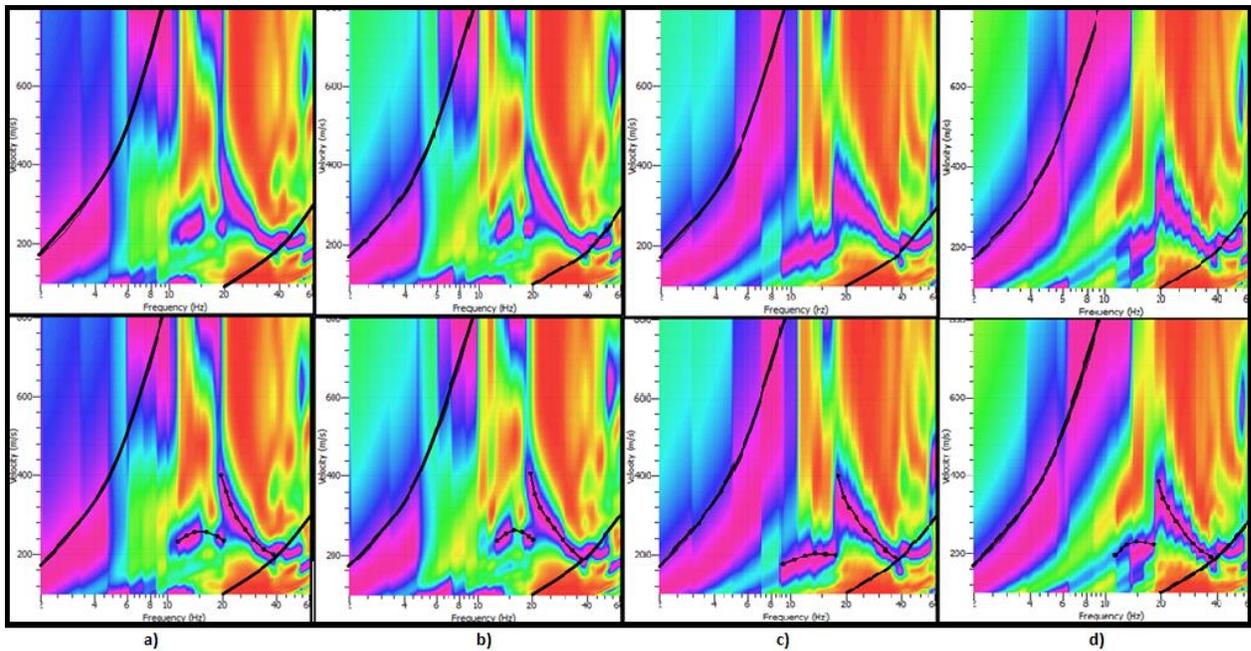


Figura 14. Curvas de dispersión seleccionadas sector cerro Centinela placa de acero y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.

4.3.2. Superposición de Picking.

De las imágenes mostradas en la sección 4.3.1, se realizó una superposición de los picking trazados en el software GEOPSY, obteniendo lo que se presenta el grafico 5 y 6 donde se muestra la tendencia que siguieron las CD, y de esta manera, se puedan mostrar las diferencias al utilizar mazos de distinto peso.

4.3.2.a). Placa de teflón.

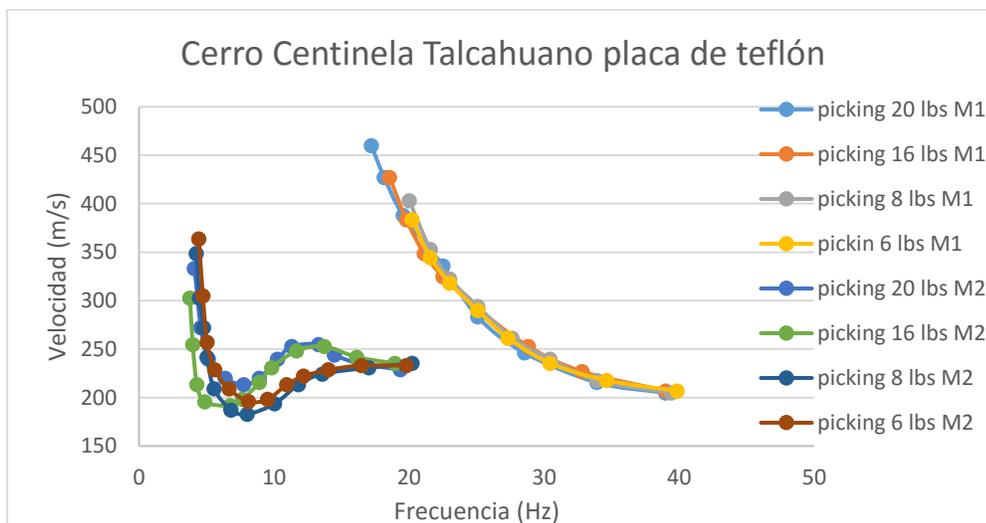


Grafico 5. Superposición de picking sector cerro Centinela placa de teflón para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs.

4.3.2.b). Placa de acero.

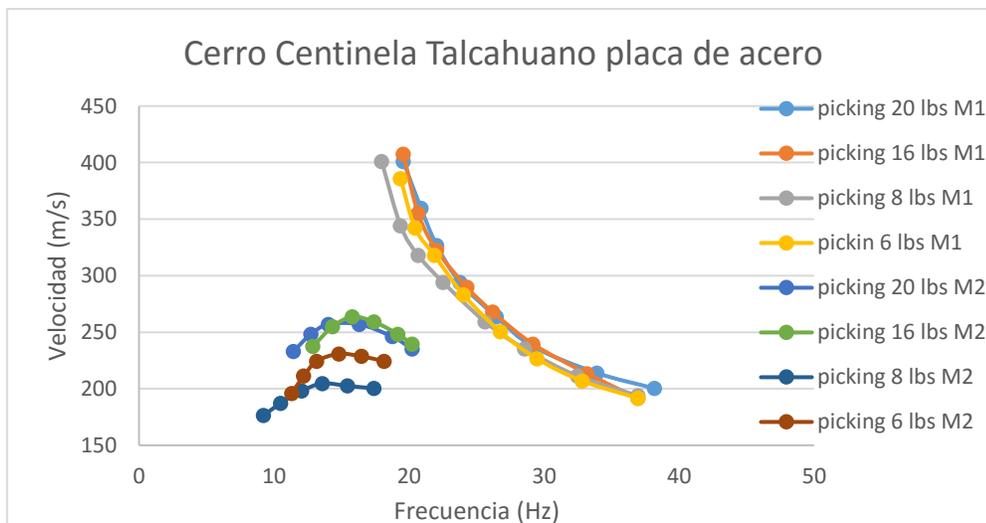


Grafico 6. Superposición de picking sector cerro Centinela placa de acero para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs.

4.3.3. Perfil de Ondas de Corte y Vs30.

Para El sector del cerro Centinela en Talcahuano no fue posible determinar un Vs30, ya que la curva de dispersión obtenida en la sección 4.3.1 presenta claramente 2 modos de vibrar, esto se puede asociar a que, al costado del lugar donde se realizaron los ensayos, hay una calle pavimentada, con lo que se infiere que bajo ella hay un relleno compactado con cierta profundidad y luego aparece el suelo natural, provocando como se muestra en la figura 13 y 14 una inversión de velocidades.

En Geopsy es complejo el análisis para este caso en particular, y considerando además que solo se realizaron ensayos activos, sería recomendable complementarlo con métodos pasivos para obtener información de la CD que el método MASW no entrega, o también utilizar otro software que permita trabajar con 2 modos de vibrar presentes en la curva de dispersión.

4.4. Sector Manquimavida en Chiguayante.

Ya mencionada la cantidad de ensayos y la disposición de los arreglos realizados, además del criterio de selección de las curvas de dispersión (CD) en el capítulo 3.3.4, se procede el dar a conocer las curvas seleccionadas y sus respectivos picking en la sección 4.4.1.

4.4.1. Curvas Seleccionadas y sus Picking.

4.4.1.a). Placa de teflón.

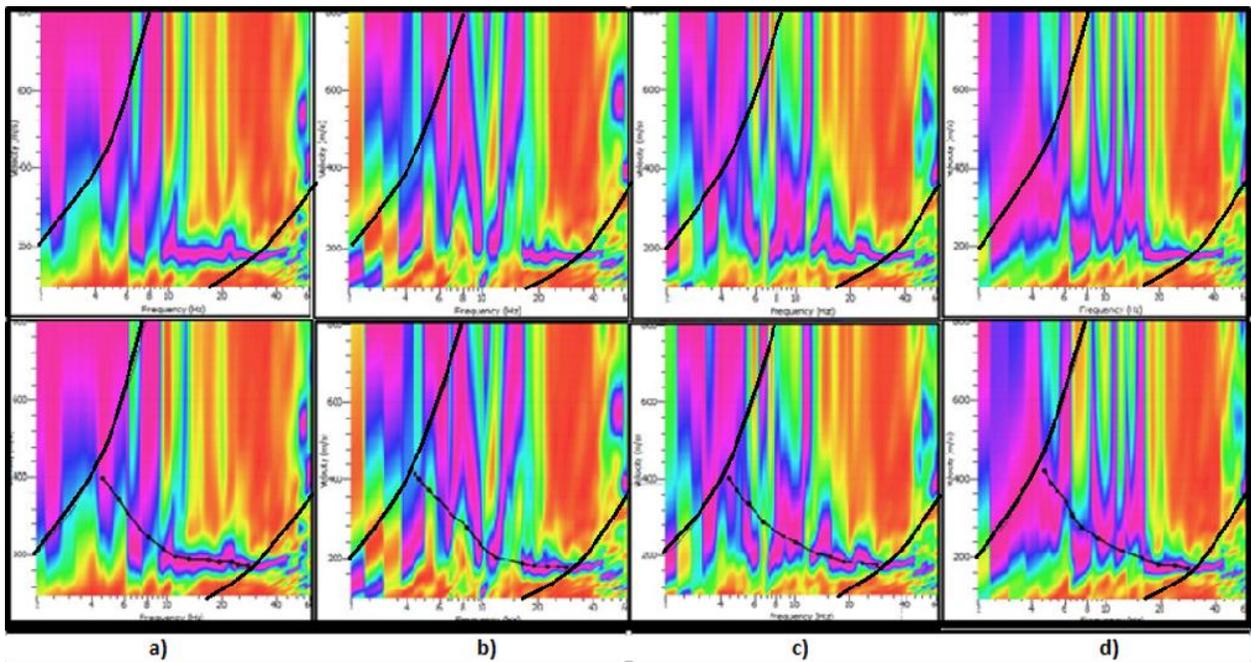


Figura 15. Curvas de dispersión seleccionadas sector Manquimavida placa de teflón y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.

4.4.1.b). Placa de acero.

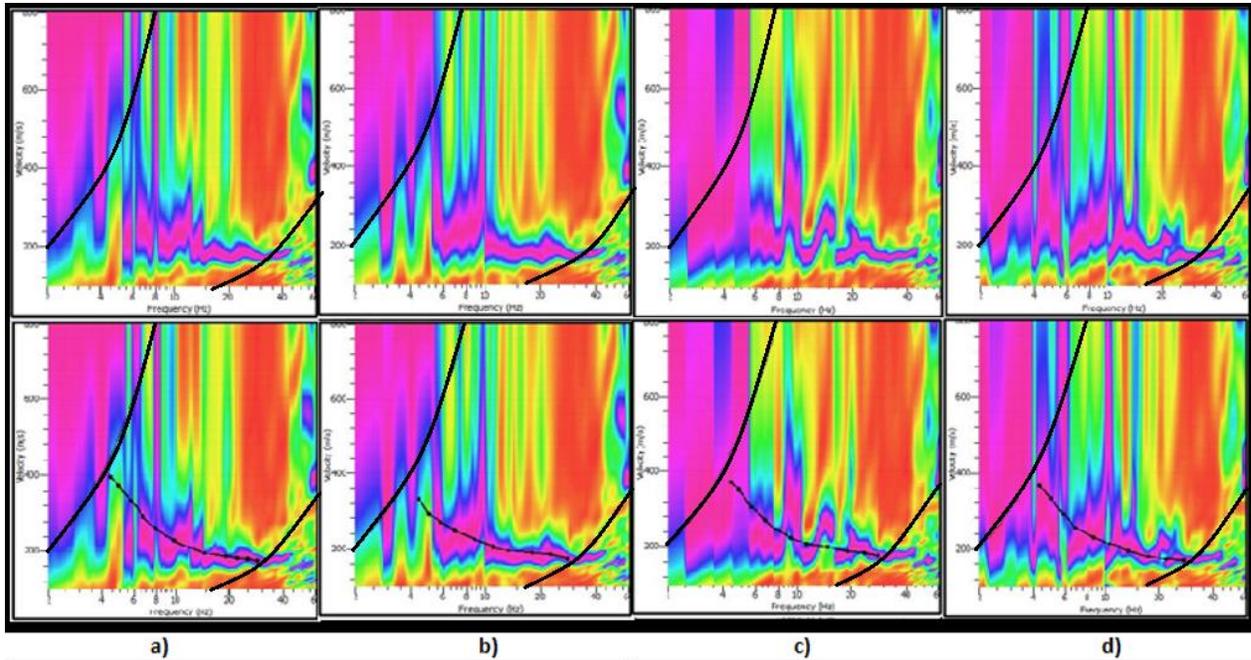


Figura 16. Curvas de dispersión seleccionadas sector Manquimavida placa de acero y sus picking para a) 20 lbs , b) 16 lbs, c) 8 lbs y d) 6 lbs.

4.4.2. Superposición de Picking.

De las imágenes mostradas en la sección 4.4.1, se realizó una superposición de los picking trazados en el software GEOPSY, obteniendo lo que se presenta el grafico 7 y 8 donde se muestra la tendencia que siguieron las CD, y de esta manera, se puedan mostrar las diferencias al utilizar mazos de distinto peso.

4.4.2.a). Placa de teflón.

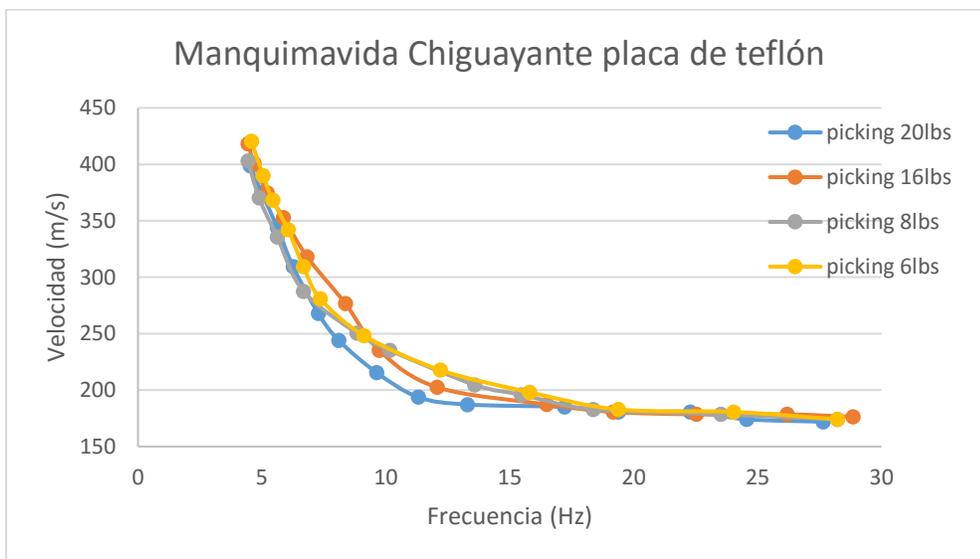


Grafico 7. Superposición de picking sector Manquimavida placa de teflón para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs.

4.4.2.b). Placa de acero.

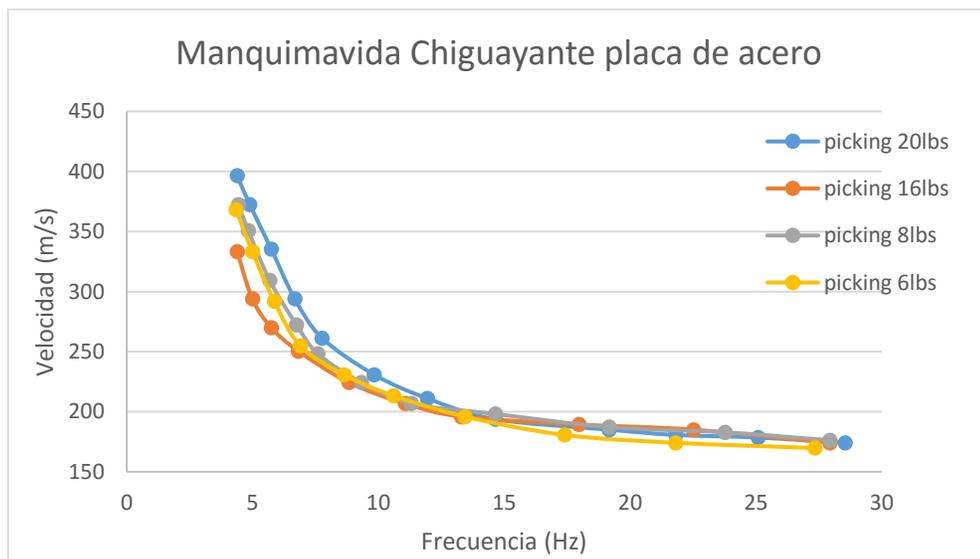


Grafico 8. Superposición de picking sector Manquimavida placa de acero para mazo de 20, 16, 8 y 6 lbs.

4.4.3. Perfil de Ondas de Corte y Vs30.

Posteriormente se realizó el último paso del proceso, la inversión de la curva de dispersión. Dado un modelo inicial que supone el software, determinado por el espesor, densidad, módulo de poisson, velocidad de onda de corte y velocidad de onda P, se simula una curva de dispersión, la cual modificando los parámetros, de forma iterativa, se busca lograr la mayor coincidencia con la curva de dispersión obtenida. Finalmente, en la Figura 18, se muestra el perfil determinado, luego de revisar las 6 iteraciones que se realizaron y seleccionando el que más se asemejaba al modelo establecido.

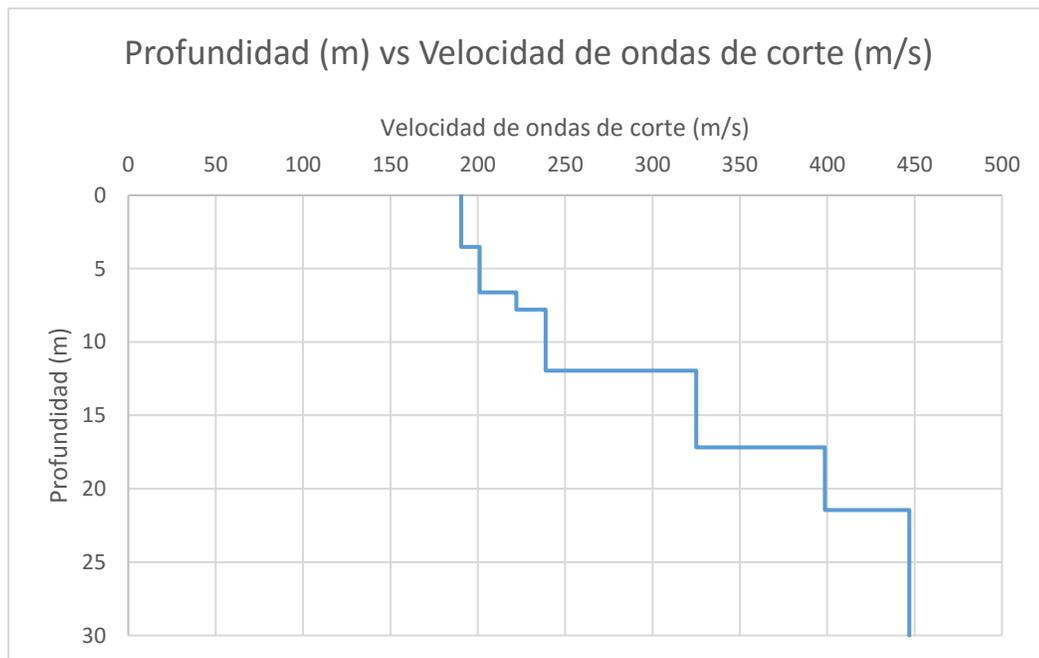


Figura 17. Perfil de velocidades sector Manquimavida.

Para El sector Manquimavida en Chiguayante fue posible determinar un Vs30, ya que la información que entregaba la curva de dispersión llegaba alrededor de los 44m de profundidad. Se ocuparon los datos obtenidos de los ensayos realizados con la placa de teflón para calcular el Vs30 y su posterior clasificación sísmica de acuerdo a lo establecido en el DS61. Esta información se da a conocer en la tabla 7.

Tabla 7. Promedio de Velocidades de Ondas de Corte en los primeros 30 m y Clasificación Sísmica del Suelo Sector Manquimavida.

Vs16 (m/s)	293
Tipo de suelo	D

4.5. Tabla Resumen de los Ensayos Realizados.

En la tabla 8 se muestra un resumen de los resultados obtenidos de los ensayos realizados en terreno, donde se presenta tanto el Vs30 y la clasificación sísmica correspondiente según lo establecido en el DS61 para cada sector estudiado.

Tabla 8. Tabla Resumen de los Ensayos Realizados.

Sector	Vs30 (m/s)	Tipo de suelo
UBB	149	E
San Pedro	276	D
Centinela	-	-
Chiguayante	293	D

4.5. Energía de impacto en la placa al variar la masa.

Complementando lo mencionado en la sección 3.2.4, al analizar la influencia de la masa utilizada para el cálculo de la energía al impactar la placa, se puede ir al fenómeno de la caída libre, el que consiste en soltar un objeto de masa m , desde una altura h desde el reposo, es decir, velocidad inicial 0. (Ver anexo C5).

Los datos utilizados fueron las masas de los martillos mencionados en la sección 3.1, la altura de caída que se consideró fue de 2,55 m, equivalente a la altura del individuo que realiza el ensayo, más el largo del mango del martillo. Los resultados de la energía en caída libre al momento del impacto se muestran en la tabla 9. Para ver el desarrollo completo revisar anexo C5.

Tabla 9. Energía al Momento del Impacto en Caída Libre.

masa (lb)	v(m/s)	EC (J)	EM(J)	F (N)
20	7,1	225	225	88
16	7,1	180	180	71
8	7,1	90	90	35
6	7,1	67	67	26

En la tabla 9 se puede apreciar que a medida aumenta la masa, la energía cinética también lo hace, esto se complementa con lo mencionado en la sección 3.2.4, donde se dice que, al inducirle mayor energía al ensayo, mayor es el rango de frecuencias con las que se podría trabajar, permitiendo así analizar curvas de mejor calidad.

Posterior a esto, se analizó un caso en que a la masa se le aplicaba una velocidad inicial (Ver anexo C5) con el objetivo de conocer que velocidad se le debe aplicar a las masas de 16, 8 y 6 lbs tal que al momento del impacto induzcan la misma energía al ensayo que el mazo de 20 lbs. Los resultados de las velocidades obtenidas se muestran en la tabla 10. Para ver el desarrollo completo revisar anexo C5.

Tabla 10. Velocidades Iniciales Aplicadas y Energías al Momento del Impacto.

masa (lb)	vi (m/s)	vf (m/s)	EC (J)	EM (J)	F (N)
20	0,0	7,1	225	225	88
16	4	7,9	225	225	88
8	8,7	11,2	225	225	88
6	10,8	12,9	225	225	88

En la tabla 10 se muestra que a medida que las masas disminuyen, se les debe aplicar una velocidad inicial (v_i) mayor para obtener los 225 J que corresponden la energía inducida con el mazo de 20 lbs en caída libre. Llevando esto a la práctica, y considerando que el ensayo lo realiza una persona, es casi imposible aplicar esa velocidad inicial a los mazos de 8 y 6 lbs, por otro lado con el mazo de 16 lbs si se podría aplicar esa velocidad, pero en sí, es mucho más practico utilizar solamente el de 20 lbs.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Se realizó un análisis sobre las curvas de dispersión obtenidas en terreno, y además la posterior comparación entre ellas al cambiar tanto el peso de la fuente activa y el tipo de placa aplicando el método MASW. Para ello se realizaron múltiples mediciones con distintos arreglos geofónicos, distintos tamaños de mazos, material de las placas, y sobre suelos de distintas cualidades para evaluar diferentes parámetros que se ven comprometidos para el método MASW y que son apreciables a través de las curvas de dispersión. Gracias a lo anterior, es posible concluir que:

- En la mayoría de los casos realizados, se logró apreciar que a medida que el peso del mazo iba disminuyendo, la resolución de la curva de dispersión obtenida también disminuía, haciendo más difícil encontrar el modo fundamental de esta.
- En suelos dispersivos donde no se logra obtener información de los estratos más profundos es necesario aumentar el tamaño del arreglo agregando más geófonos, complementarlo con ensayos pasivos o utilizar una fuente activa de alta energía con el fin de lograr una exploración satisfactoria de los primeros 30 m de profundidad.
- En suelos de buena calidad o más rígidos, las curvas de dispersión siguen una tendencia similar independiente del peso del mazo o el tipo de placa, lo que da a entender que en estos suelos no es obligatorio ocupar el mazo de 20 lbs o la placa de teflón como se hace habitualmente, sino que se podrían utilizar tanto mazos de menor peso como también la placa de acero, obteniendo una tendencia similar en la curva de dispersión y teniendo como única salvedad una menor resolución en esta debido a la menor cantidad de energía inducida al ensayo.

- En relación a las placas utilizadas para los ensayos in-situ, se logra apreciar de manera clara que el impacto sobre la placa de teflón muestra una curva con mayor información en comparación con la placa de acero, esto se pudo ser provocado debido a que la placa de acero estaba levemente curva, lo que implica que al ser impactada disipó parte de la energía inducida.
- Cuando no se posea la certeza de la calidad del suelo a estudiar, es recomendable utilizar el mazo de 20 lbs y la placa de teflón, ya que si se toma en consideración la energía inducida al impactar la placa, a mayor masa, mayor será dicha energía con lo que se obtendrán curvas de dispersión con información clara dentro del intervalo de confianza.

5.2. Recomendaciones.

- En sectores donde haya demasiado ruido ambiental es recomendable realizar alrededor de 2 a 3 ensayos por mazo, ya que los resultados se verán afectados por el ruido y entregarán curvas de la mala calidad y muy contaminadas, lo que puede llevar a un análisis incorrecto y resultados erróneos.
- Para complementar lo que se mencionó en el párrafo anterior, en sectores donde el ruido ambiental es considerable, se recomienda utilizar la técnica del stacking, la cual consiste en combinar ensayos con distancias distintas entre la fuente (placa) y el receptor (geófono).
- Independiente de que el método MASW con una fuente activa de baja energía obtenga información de los primeros 30 m de profundidad, es muy importante complementar la información con ensayos pasivos, para obtener información más certera de los estratos más profundos y así obtener resultados más ajustados a la realidad.

6. REFERENCIAS.

1. Aguirre, J., Flores Estrella, H., Mijares Arellano, H., Vásquez Rosas, R. (2011). Microtremor studies using the SPAC method: Experiences and applications to four sites in Mexico.
2. Cuadra, P. (2007). Aplicación de técnicas de vibraciones ambientales: Análisis de microtremores y vibraciones naturales, para la caracterización de sitio. Universidad Simón Bolívar. Venezuela.
3. Humire, F., Leyton, F., Sáez, E. (2015). Manual de Aplicación de Técnicas Geofísicas basadas en ondas de Superficie para la determinación del Parámetro Vs30.
4. Khaheshi, K., Motazedian, D. (2010). On the Efficiency of Multi-Channel Analysis of Surface Wave Method for Shallow and Semideep Loose Soil Layers.
5. Linares, G. M. (2005). Introducción y aplicación del método de sismica de microtremores en áreas urbanas. Universidad Simón Bolívar. Venezuela.
6. Louie, J. N., Pei, D., Pullammanappallil, S. K. (2005). Inversion of phase velocities of high-frequency fundamental-mode Rayleigh waves using simulated annealing approach.
7. Park, C., Miller, R. D., Xia, J. (1998a). Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record.
8. Park, C., Miller, R. D., Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves.
9. Park, C., Miller, R.D., Xia, J. (2001). Offset and resolution of dispersion curve in multichannel analysis of surface waves (MASW).
10. Park, C., Miller, R. D., Miura, H. (2002). Optimum Field Parameters of an MASW Survey.

11. Roma, V. (2006). Caratterizzazione sismica dei suoli con il método MASW (Mulltichannel Analysis of Surface Waves).
12. Sandoval, L. (2013). Estudio del método MASW para su aplicación según el Decreto Supremo N° 61. Universidad del Bio Bio. Chile.
13. Soussé Villa, R. (2015). Cerdanya basin characterization using H/V and F-K seismic noise methods.
14. Correia, N. (2015). Obtencion del perfil de velocidad de onda de corte mediante método MASW y comparación con ensayo tipo DOWNHOLE en estaciones sismológicas de zona central.