



“Estimación del Perfil de Onda de Corte y Periodo Predominante a partir de métodos Geofísicos”

MSTD INGENIERÍA GEOTÉCNICA

B	08-09-2023	EMITIDO PARA REVISION CLIENTE	FCA	BSS	RBH	SERVIU BIOBIO
A	25-08-2023	EMITIDO PARA LA REVISION INTERNA	FCA	RBH	RBH	
REV	FECHA	DESCRIPCION DE LA REVISION	Orig.	Rev.	Aprobó	Cliente

El presente estudio comprende el reporte de la ejecución de mediciones de propagación de Onda superficiales para la obtención del perfil de velocidad de corte V_s , parámetro V_{s30} y mediciones del periodo predominante del sitio de acuerdo con solicitud de cliente **SERVIU DEL BIOBIO** para Proyecto “**TERRENO PEDRO DE VALDIVIA BAJO**”.

1 CONTENIDO

2	Introducción	3
3	Metodología	4
3.1	Mediciones de Arreglo Lineal de Fuente Activa	4
3.2	Mediciones de Arreglo de Fuente Pasiva	4
3.3	Inversión de la Curva de Dispersión	4
3.4	Periodo Predominante	5
3.5	Criterios SESAME	7
4	Equipo de Medición	8
4.1	Sara Doremi	8
4.2	Atom-1C Passive Geometrics	9
4.3	Sara Geobox - SR04	10
5	Trabajo en Terreno	11
5.1	Configuración de Arreglos	11
5.2	Mediciones de Vibraciones Ambientales	12
6	Resultados de Prospecciones	13
6.1	Curvas de Dispersión	13
6.1.1	Combinación Arreglo A1 y A3 (A1A3)	13
6.1.2	Combinación Arreglo A2 y A3 (A2A3)	14
6.2	Inversión de la Curva de Dispersión	15
6.3	Periodo Predominante	18
7	Conclusiones	22
8	Anexos	23
8.1	Registro Fotográfico	23
9	Referencias	26

2 INTRODUCCIÓN

El siguiente informe presenta los resultados de las mediciones geofísicas basadas en ondas superficiales para la determinación del perfil de onda de corte V_s y mediciones de ruido ambiental para estimación del periodo predominante T_0 a solicitud de **SERVIU DEL BIOBIO** para Proyecto **“TERRENO PEDRO DE VALDIVIA BAJO”**, Las mediciones fueron realizadas el 3 de julio de 2023. El sitio de estudio se encuentra en sector Pedro de Valdivia entre Esmeralda y Rancagua, Comuna de Concepción, Región del Biobío.

Durante la visita a terreno se realizaron mediciones donde se registraron ondas superficiales en **2** arreglos lineales, en ellos se registró vibraciones a partir de ensayos activos además de registros de vibraciones ambientales, Adicionalmente se realizó **1** arreglos bidimensionales para el registro de vibraciones ambientales. La técnica utilizada para determinar la curva de dispersión para el ensayo activo corresponde al análisis multicanal de ondas de superficie (MASW). Para la estimación de la curva de dispersión de las mediciones de ruido ambiental se utilizó la técnica MSPAC mediante el registro de vibraciones con sismógrafos con geófonos de frecuencia natural de 4,5 Hz para arreglos lineales y 2,0 Hz para arreglos bidimensionales, la combinación de ambas técnicas permite estimar el perfil de velocidad de onda de corte V_s mediante la inversión de la curva de dispersión combinada. Adicionalmente se registró ruido ambiental en tres ejes ortogonales, Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical para la estimación del periodo predominante T_0 mediante el método de Nakamura o de Razón Espectral HV en **2** puntos del sitio.

Este documento entrega la ubicación de cada registro realizado en terreno con fotografías, configuración de arreglos utilizados en terreno. Posteriormente se entrega como resultados la curva de dispersión de la velocidad de fase de las ondas superficiales Rayleigh para cada técnica, la curva de dispersión combinada. Finalmente se entrega la inversión de la curva de dispersión seleccionada para la obtención del perfil de velocidad de onda de corte V_s que mejor se ajusta a los datos medidos. Para el periodo predominante del terreno T_0 se muestran los parámetros del procesamiento, Verificación de los Criterios SESAME de cada punto.

A partir del procesamiento de las señales medidas en terreno, se han obtenido los siguientes resultados. De los ensayos MASW-MSPAC se obtuvieron las curvas de dispersión del sitio de estudio, las curvas de dispersión seleccionadas para la inversión tienen longitud de onda superior a 110m, lo que permite asegurar la exploración en profundidad de 36m. La curva de dispersión al ser invertidas se obtiene un perfil de velocidad de propagación de onda de corte monótonamente creciente. El parámetro vs30 muestra que la que la velocidad de onda de corte en los primeros 30 metros del subsuelo para el sitio de estudio varía entre los 196 y 198 m/s. Las mediciones realizadas para determinar el periodo predominante arrojan curvas espectrales que presentan un peak muy marcado, estas cumplen con los criterios SESAME por lo que se puede asegurar la confiabilidad del peak, se obtienes un valor de periodo predominante entre los 0,89 y 1,25s.

3 METODOLOGÍA

3.1 MEDICIONES DE ARREGLO LINEAL DE FUENTE ACTIVA

El método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) (popularizado por Park et al, 1999) permite reconstruir la curva de dispersión en altas frecuencias por lo que aporta importante información superficial del sitio en estudio mediante una transformación Frecuencia – Número de Onda (FK). Esta técnica se basa en la grabación a lo largo de un perfil lineal 1D de señales sísmicas (ondas superficiales) producidas por una fuente controlada. La fuente es localizada en la misma línea del perfil y ubicada a diferentes distancias del primer y/o último geófono, para cada fuente se realizan al menos 5 registros. Posteriormente se analizan las propiedades de dispersión de las ondas superficial después de aplicar la transformación FK (Frecuencia-Numero de Onda) a la sección sísmica registrada, para este análisis el supuesto fundamental es que el arreglo de geófonos es atravesado por un frente de ondas plano. Las señales son procesadas con el software “Doremi” y “Geopsy”.

3.2 MEDICIONES DE ARREGLO DE FUENTE PASIVA

El método de Autocorrelación utiliza mediciones de ruido ambiental y permite calcular coeficientes de autocorrelación espacial promedio para cualquier configuración de matriz arbitraria. El método utilizado para la obtención de la curva de dispersión es con la técnica MSPAC (Modified Spatial Autocorrelation (MSPAC), Betting et al ,2001) una modificación de la técnica SPAC (Spatial Autocorrelation, Aki, 1957). Las señales son procesadas con el software Geopsy y las curvas de autocorrelación se obtienen del Módulo “Spac2Disp”.

3.3 INVERSIÓN DE LA CURVA DE DISPERSIÓN

A partir de las curvas de dispersión obtenidas por el método F-K y las curvas de autocorrelación obtenidas en el método MSPAC es posible obtener el perfil de velocidad de onda de corte a través de la inversión de la curva de dispersión mediante el algoritmo del Vecindario (Sambridge, 1999). La inversión se realiza mediante el módulo “Dinver” del Software Geopsy.

Obtenido el perfil de velocidad de onda de corte, se estima el parámetro V_{s30} , de acuerdo al **“Artículo 5°.-**

Exploración geotécnica asociada a la clasificación sísmica de suelos” del Decreto Supremo 61, “La clasificación sísmica de suelos se ha optado por centrarla en el parámetro que se estima más relevante en una primera aproximación, este es el parámetro de rigidez a bajas deformaciones de los estratos superiores, correspondientes a la velocidad de onda de corte promedio de los 30 metros superiores del terreno V_{s30} . Este parámetro se determina de acuerdo a la siguiente expresión.”

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

Donde:

V_{s-i} : Velocidad de ondas de corte del estrato i , en m/s

h_i : Espesor del estrato i , en m

n : Número de estratos en los 30 metros superiores del terreno.

3.4 PERIODO PREDOMINANTE

La técnica del cociente espectral horizontal/vertical (H/V), desarrollado por Nakamura en 1989, para la determinación del periodo fundamental de vibración del suelo a partir de mediciones de vibración ambiental.

Nakamura expuso el movimiento horizontal (H_f) y vertical (V_f) del suelo en la superficie libre como la suma del movimiento debido a las ondas de cuerpo que viajan desde el basamento más la contribución de las ondas superficiales. Esta superposición conviene hacerla en el dominio de la frecuencia ω . Por lo tanto $H_f(\omega)$ y $V_f(\omega)$ son respectivamente la transformada de Fourier del movimiento horizontal y transformada de Fourier del movimiento vertical en la superficie considerando, para ambos, la contribución de los tipos de onda (cuerpo y superficiales). Los espectros $H_f(\omega)$ y $V_f(\omega)$ no son útiles para identificar las frecuencias naturales del depósito porque también contienen las frecuencias dominantes de las fuentes que generaron las ondas. Si se dispusiera de los espectros en el basamento rocoso, es decir $H_b(\omega)$ y $V_b(\omega)$, podríamos realizar cocientes,

$$T_h(\omega) = H_f(\omega)/H_b(\omega) \text{ y } T_v(\omega) = V_f(\omega)/V_b(\omega)$$

Obteniendo así las funciones de transferencia entre el movimiento en la superficie y en la roca basal, tanto para la componente horizontal como para la vertical, logrando eliminar el llamado "efecto fuente" y así obtener las frecuencias naturales del depósito, el problema es que usualmente no se dispone de ello. Nakamura (2000) considera que $H_b(\omega)$ y $V_b(\omega)$ son iguales a los espectros en un afloramiento rocoso, a los que llama $H_r(\omega)$ y $V_r(\omega)$ (ver Figura X). Esto podría considerarse como una aproximación, pero rigurosamente no es cierto, los picos de los espectros sí coinciden, pero las magnitudes de $H_r(\omega)$ y $V_r(\omega)$ son menores que las de $H_b(\omega)$ y $V_b(\omega)$.

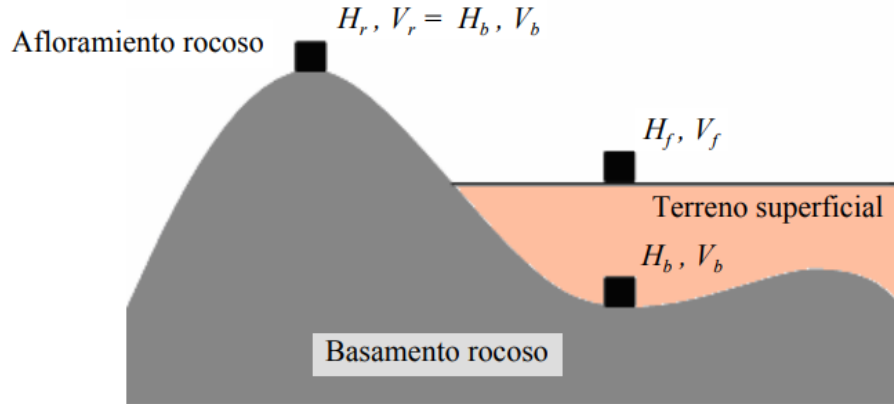


Figura 1: Estructura geológica típica

Debido a la dificultad para obtener los espectros en el basamento rocoso, Nakamura propone entonces usar una función de la frecuencia $T_h^*(\omega)$ que se define como el cociente entre las funciones de transferencia $T_h(\omega)$ y $T_v(\omega)$:

$$T_h^*(\omega) = \frac{T_h(\omega)}{T_v(\omega)} = \frac{H_f(\omega)/H_b(\omega)}{V_f(\omega)/V_b(\omega)} = \frac{H_f(\omega)}{V_f(\omega)} \frac{1}{H_b(\omega)/V_b(\omega)}$$

Usando resultados de sus propias mediciones experimentales, Nakamura determinó que el cociente $H_b(\omega)/V_b(\omega)$ es aproximadamente igual a 1, al menos dentro del rango de frecuencias donde se encuentra la frecuencia fundamental del depósito ω_0 . Aplicando esta consideración finalmente resulta:

$$T_h^*(\omega) = \frac{H_f(\omega)}{V_f(\omega)}$$

Al cociente $H_f(\omega)/V_f(\omega)$, Nakamura lo llama QTS por las siglas en inglés de Quasi Transfer Spectrum (cuasi-espectro de transferencia).

3.5 CRITERIOS SESAME

Entrega procedimientos prácticos para la toma de datos en terreno, procesamiento e interpretación de resultados obtenidos al medir vibraciones ambientales.

Para la comprobación de resultados de frecuencia y período fundamental, entrega nueve criterios que se enfocan en obtener una gráfica con una curva confiable y un peak claro o definido. A continuación, se presentan los criterios recomendados por (SESAME, 2004).

Criterios para una curva H/V confiable					
i)	$f_0 > \frac{10}{l_w}$	l_w = Longitud de la ventana [s]			
ii)	$n_c(f_0) > 200; n_c = l_w n_w f_0$	n_w = número de ventanas usadas para la curva H/V media			
iii)	$\sigma_A(f) < 2; 0.5f_0 < f < 2f_0$ si $f_0 > 0.5\text{hz}$	n_c = Número de ciclos significativos			
o	$\sigma_A(f) < 3; 0.5f_0 < f < 2f_0$ si $f_0 < 0.5\text{hz}$	f =frecuencia actual			
		f_0 =Frecuencia de Peak HV			
		σ_f =desviación estándar de la frecuencia peak de H/V			
		$\varepsilon(f_0)$ =valor de umbral para la condición de estabilidad			
		A_0 =Peak de amplitud de la curva H/V a la frecuencia f_0			
		A_{HV} = Peak de amplitud de la curva H/V a la frecuencia f			
		f^- = frecuencia entre $\frac{f_0}{4}$ y f_0 para que $A_{HV}(f^-) < A_0/2$			
		f^+ = frecuencia entre f_0 y $4f_0$ para que $A_{HV}(f^+) < A_0/2$			
		$\sigma_A(f)$ =desviación estándar de $A_{HV}(f)$, es el factor por que la curva media $A_{HV}(f)$ se debe multiplicar o dividir			
		$\sigma_{\log HV}(f)$ =desviación estándar de la curva $\text{Log} A_{HV}(f)$, es un valor absoluto que debe sumarse o restarse de la curva media $\text{Log} A_{HV}(f)$			
		$\theta(f_0)$ = valor umbral para la condición de estabilidad $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$			
Criterios para un peak claro H/V (Al menos 5 de 6 criterios cumplidos)					
i)	$\exists f^- \in [\frac{f_0}{4}, f_0] A_{HV}(f^-) < A_0/2$				
ii)	$\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] A_{HV}(f^+) < A_0/2$				
iii)	$A_0 > 2$				
iv)	$f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$				
v)	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
vi)	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$				
Valores de umbral para σ_f y $\sigma_A(f_0)$					
Rango de Frecuencia	< 0.2	0.2-0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	>2.0
$\varepsilon(f_0)$	$0.25f_0$	$0.20f_0$	$0.15f_0$	$0.10f_0$	$0.05f_0$
$\theta(f_0)$ para $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\text{Log } \theta(f_0)$ para $\sigma_{\log HV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Tabla 1: Criterios Sesame para la Curva y Peak para la confiabilidad de la Curva.

4 EQUIPO DE MEDICIÓN

4.1 SARA DOREMI

Para la recolección de datos de los ensayos lineales activo y pasivo se utilizó un sismógrafo DoReMi de SARA Electronic Instruments que posee las siguientes características:

- Memoria: 64 kBytes
- Frecuencia de muestreo: 200 a 20000 Hz. (5 a 0.05 ms)
- Resolución: 24 Bytes
- Sistema Dinámico: Hasta 155 dB.
- Geófonos de 4.5 Hz de frecuencia natural.**
- Cables de transmisión de datos.
- Software DoReMi para digitalización del registro.



Figura 2: Equipo Doremi

4.2 ATOM-1C PASSIVE GEOMETRICS

Para la recolección de datos del ensayo pasivo con arreglos bidimensionales se utilizaron 4 sismógrafo inalámbricos Atom-1C Passive Seismic System de Geometrics que poseen las siguientes características:

- Frecuencia de muestreo: 200 a 20000 Hz. (5 a 0.05 ms)
- Resolución: 32 Bytes
- Sistema Dinámico: Hasta 128 dB.
- **Geófonos de Frecuencia Natural de 2.0 Hz.**
- Software Geometrics Atom Downloader y SPACPlus para digitalización del registro.



Figura 3: Equipo Atom 1C

4.3 SARA GEOBOX - SR04

Las mediciones para estimación del periodo predominante se utilizó un sismógrafo triaxial SR04 - Geobox de SARA Electronic Instruments que posee las siguientes características:

Fuente de alimentación: 10-16Vcc o batería interna <1W

Número de canales: 3 a 24 bit

Rango dinámico: 124dB (144dB, 24 bits efectivo, entre 0.1 y 15Hz)

Muestreo: simultáneo en los tres canales

Frecuencia de muestreo: 10-600 Hz

-Software Sismowin para digitalización del registro.



Figura 4: Sismógrafo triaxial SR04 – Geobox

5 TRABAJO EN TERRENO

En terreno se han dispuesto mediciones lineales y bidimensionales, en cada medición lineal se realizaron mediciones con fuente activa y se registraron vibraciones ambientales. La medición bidimensional consiste en 3 triángulos con un centro en común en los que se han registrado vibraciones ambientales. Paralelamente se registró ruido ambiental en tres ejes ortogonales, Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical para la estimación del periodo predominante. La siguiente figura muestra la ubicación del sitio de estudio.

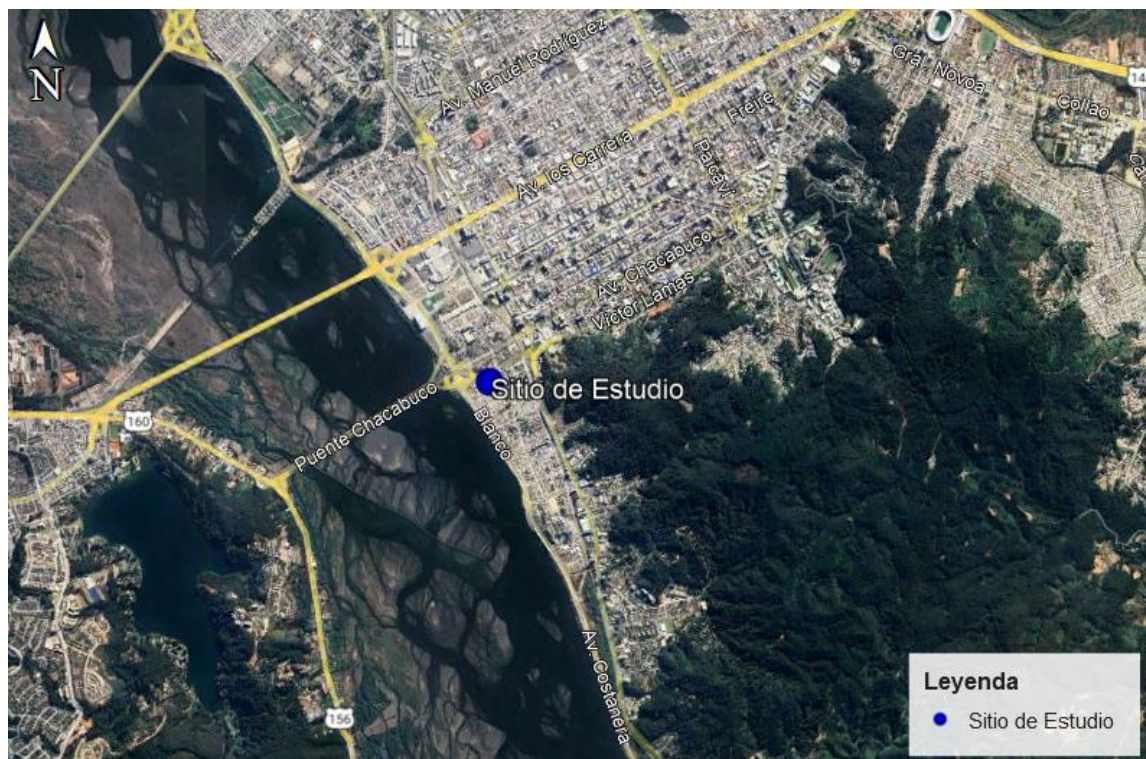


Figura 5: Imagen del Sitio de Estudio.

5.1 CONFIGURACIÓN DE ARREGLOS

Los arreglos de geófonos son lineales mantienen la configuración que se ve en la siguiente figura.

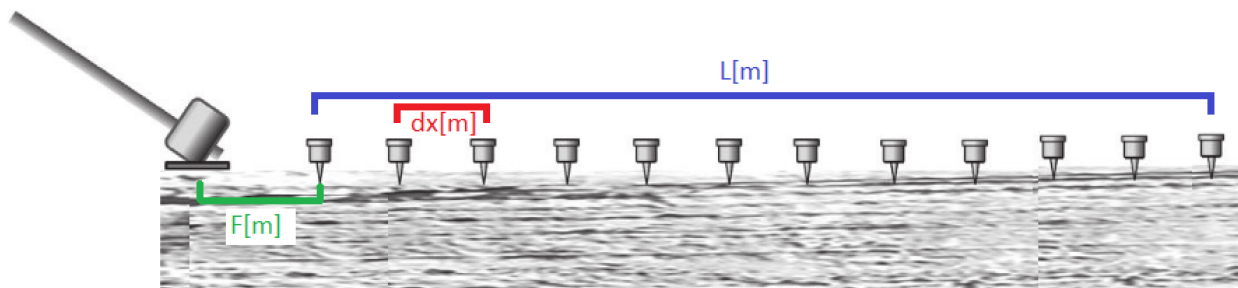


Figura 6: Esquema de emplazamiento de arreglo lineales.

Donde; dx, corresponde al espaciamiento entre geófonos, L corresponde al largo total del arreglo y F es la ubicación de la fuente desde donde se genera la propagación de la señal. La configuración de los registros de fuente activa y registros de vibraciones ambientales (pasiva) en los arreglos es la siguiente.

- **Arreglo 1 (A1):** Arreglo lineal de 60m de largo con 16 geófonos equidistantes a una distancia geofónica de 4m. Las fuentes para el ensayo activo fueron ubicadas a 5 y 7m del primer geófono. Adicionalmente se han realizado mediciones pasivas.
- **Arreglo 2 (A2):** Arreglo lineal de 60m de largo con 16 geófonos equidistantes a una distancia geofónica de 4m. Las fuentes para el ensayo activo fueron ubicadas a 5 y 7m del primer geófono. Adicionalmente se han realizado mediciones pasivas.
- **Arreglo 3 Bidimensional (A3):** Arreglos Bidimensionales de 4 geófonos con distancias al geófono central de 10m, 20m y 30m en los que se registraron vibraciones ambientales.

5.2 MEDICIONES DE VIBRACIONES AMBIENTALES

Las mediciones de ruido ambiental en tres ejes ortogonales se han realizado en 2 punto del sitio, el tiempo de registro es de al menos 30 minutos siguiendo las recomendaciones SESAME.

La siguiente figura muestra la ubicación de los sectores donde se han realizado las mediciones en el sitio de estudio. Con los registros (HV) y el emplazamiento de los arreglos.



Figura 7: Esquema de mediciones emplazados en terreno, para mediciones de fuente activa, pasiva y medición de vibraciones ambientales en 3 ejes HV en Sitio de Estudio.

La Tabla 2 se entrega las coordenadas de los puntos de medición.

Medición	Coordenada Este	Coordenada Norte
HV1	673128.00 m E	5921427.00 m S
HV2	672985.00 m E	5921450.00 m S

Tabla 2: Sistema de coordenadas: WGS 84 UTM Zona 18H.

6 RESULTADOS DE PROSPECCIONES

Procesada la información de terreno se obtienen los diagramas de dispersión asociadas a las mediciones de fuente activa y vibraciones ambientales. El gráfico de dispersión del ensayo activo se ha seleccionado luego de revisar los gráficos de dispersión obtenidos en el stacking de las mediciones de cada fuente. Las gráficas de dispersión de los ensayos pasivos han sido combinados con la información que se ha obtenidos del ensayo pasivo con arreglo lineal registradas con geófono de 4.5Hz y la información obtenida del ensayo pasivo con arreglos bidimensionales registradas con geófono de 2.0Hz. Posteriormente se combinan las gráficas de dispersión del ensayo activo y pasivo para la selección de la curva de dispersión a partir del procesamiento de los datos medidos con las Técnicas MASW y MSPAC.

6.1 CURVAS DE DISPERSIÓN

6.1.1 Combinación Arreglo A1 y A3 (A1A3)

Las siguientes figuras muestran el diagrama de dispersión y la curva de dispersión seleccionada al procesar las señales activas del arreglo A1 junto a la medición pasiva del arreglo A1 y A3 Finalmente se muestra un gráfico con la combinación de los diagramas de dispersión y la curva seleccionada para la inversión.

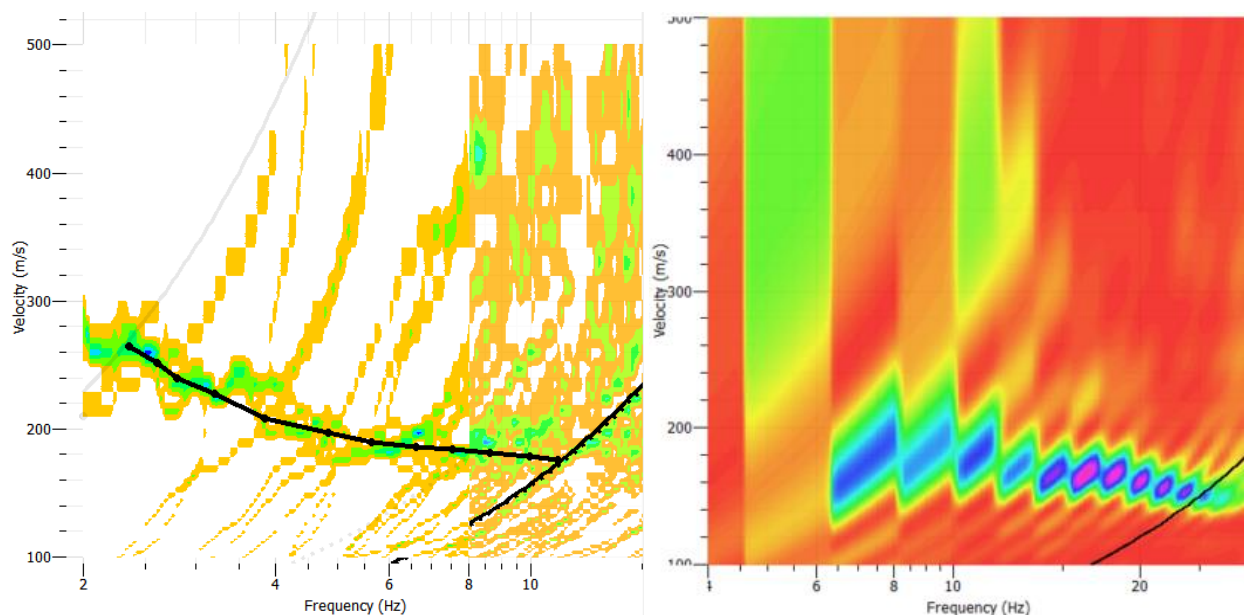


Figura 8 Izquierda: Grafico velocidad de fase vs frecuencia obtenido de mediciones pasivas (A3) y (A1) por método MSPAC. Derecha: Curvas de dispersión obtenidas de mediciones activas por método MASW para arreglo (A1).

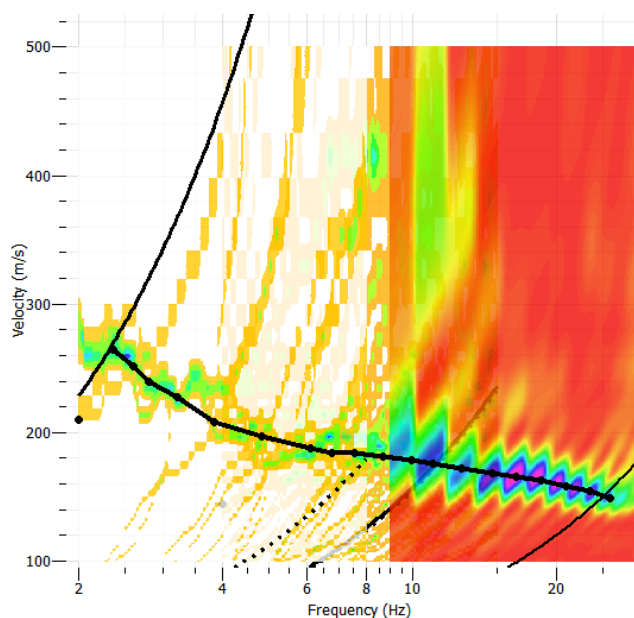


Figura 9 Combinación de las curvas de dispersión obtenidas de mediciones pasivas bidimensionales (A3) y lineal (A1) y activas (A1).

6.1.2 Combinación Arreglo A2 y A3 (A2A3)

Las siguientes figuras muestran el diagrama de dispersión y la curva de dispersión seleccionada al procesar las señales activas del arreglo A2 junto a la medición pasiva del arreglo A2 y A3. Finalmente se muestra un gráfico con la combinación de los diagramas de dispersión y la curva seleccionada para la inversión.

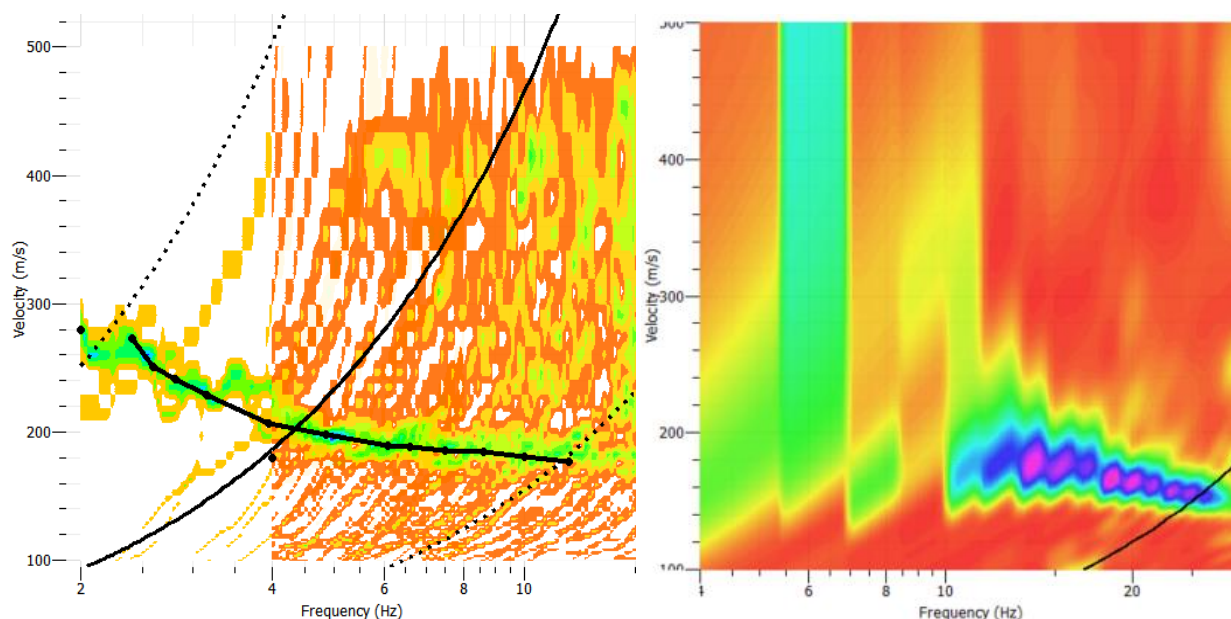


Figura 10 Izquierda: Grafico velocidad de fase vs frecuencia obtenido de mediciones pasivas (A2) - (A3) por método MSPAC. Derecha: Curvas de dispersión obtenidas de mediciones activas por método MASW para arreglo (A2).

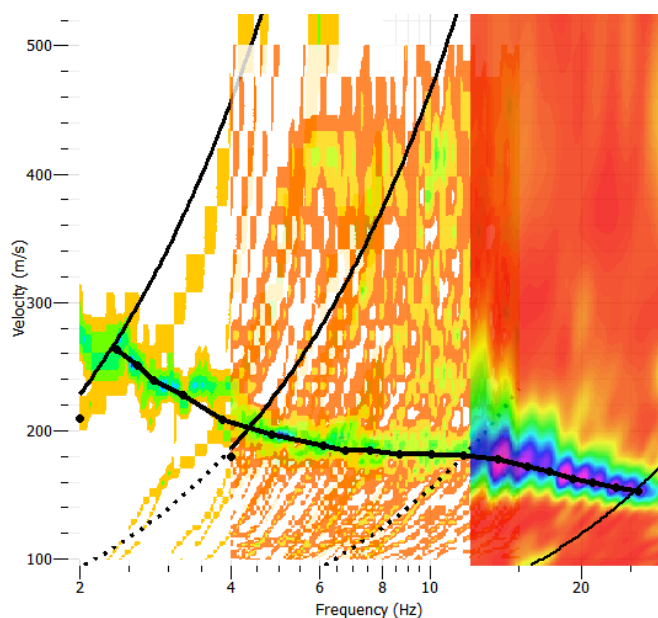


Figura 11 Combinación de las curvas de dispersión obtenidas de mediciones pasivas bidimensionales (A3) y lineal (A2) y activas (A2).

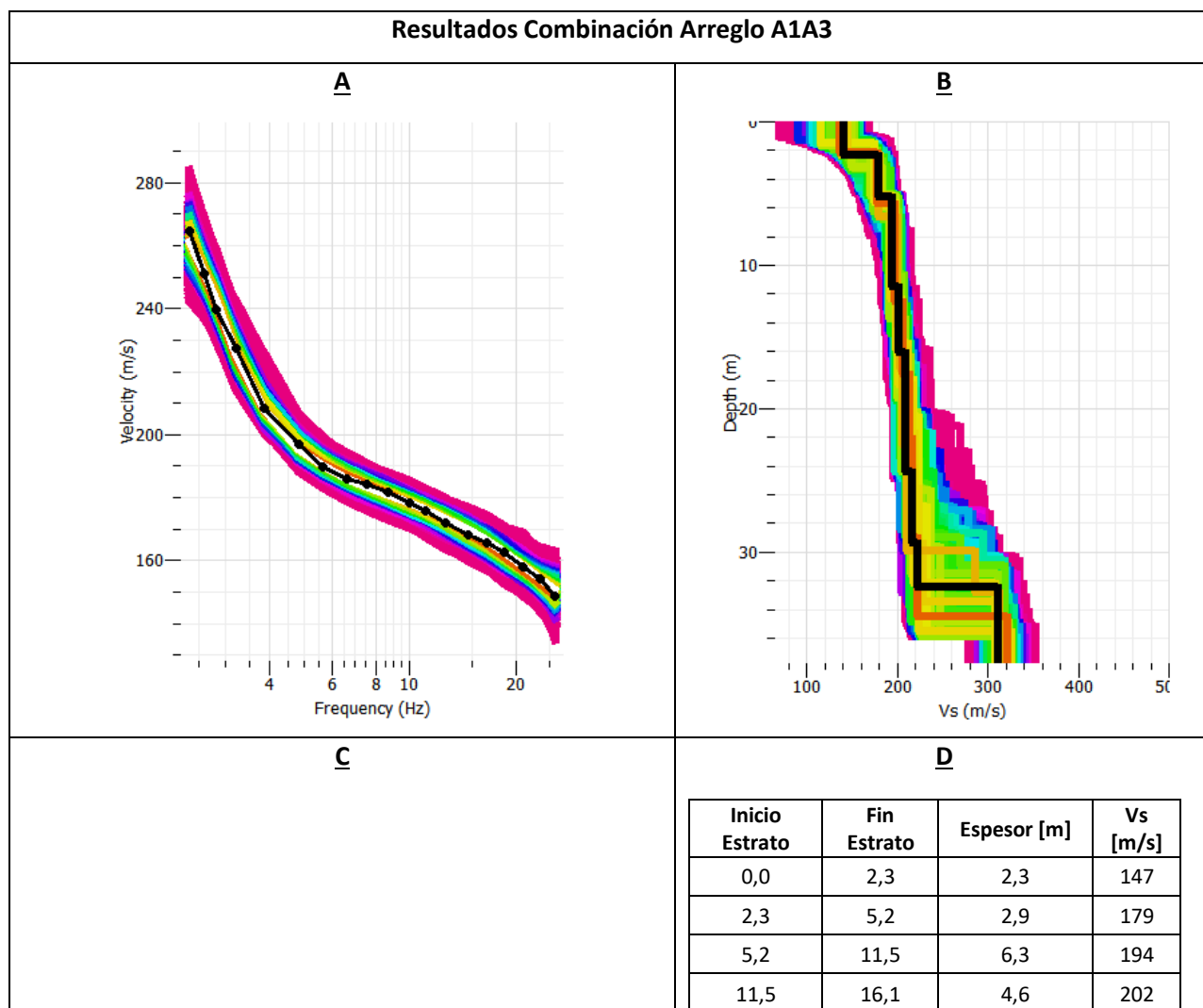
6.2 INVERSIÓN DE LA CURVA DE DISPERSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos posterior a la inversión de la curva de dispersión seleccionada en el capítulo anterior para la obtención del perfil de velocidad de onda de corte. Para ello como parámetros de entrada, fueron ingresadas las curvas de dispersión obtenidas a partir del procesamiento del

ensayo activo a partir de la técnica FK del procesamiento mediante la técnica MSPAC de las vibraciones ambientales.

Las curvas de dispersión seleccionadas para la inversión tienen como menor longitud de onda de 110m, lo que permite asegurar la exploración en profundidad de 36m.

Se presenta la curva de dispersión obtenida a partir de la inversión que mejor se ajusta a los datos empíricos y el perfil de velocidad de onda de corte asociada. Se presenta la superposición de la curva de dispersión modelada con la combinación de las gráficas de dispersión del ensayo pasivo y activo. Se entregan los estratos resultantes según velocidad de onda de corte. Finalmente se entrega el misfit que es un RMS normalizado por desviaciones estándar para la estimación de error del ajuste. Por ejemplo, un valor de 0,05 significa que la curva de dispersión se ajusta con un error aproximado del 5% a la curva de dispersión empírica.



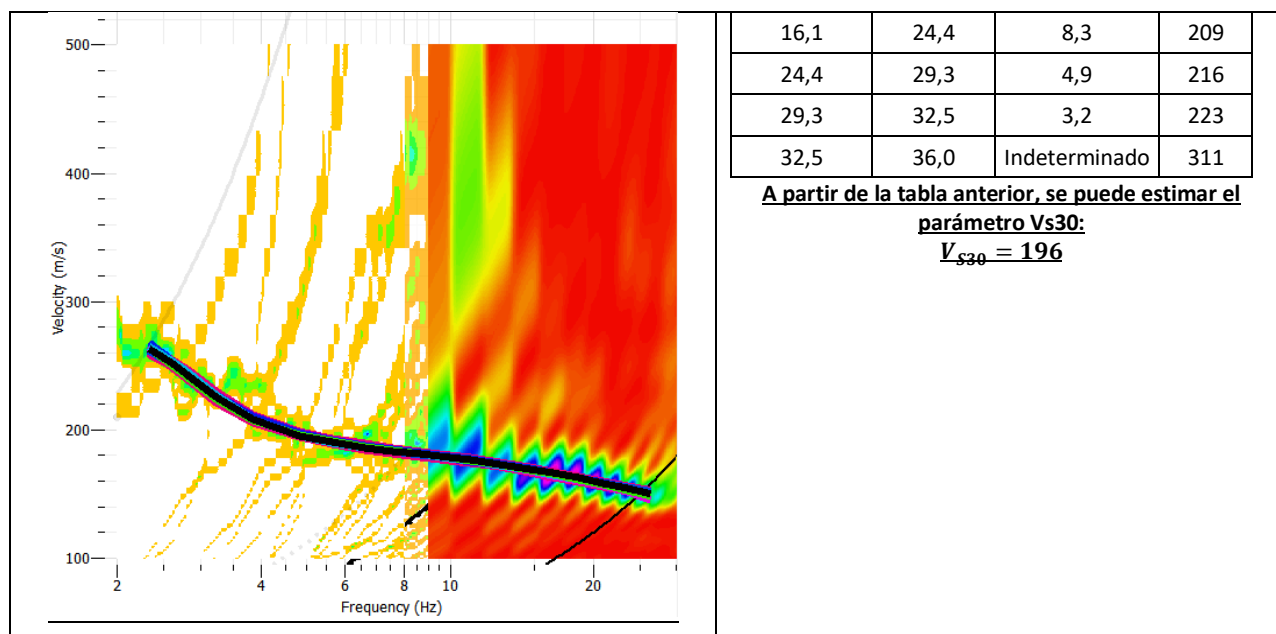
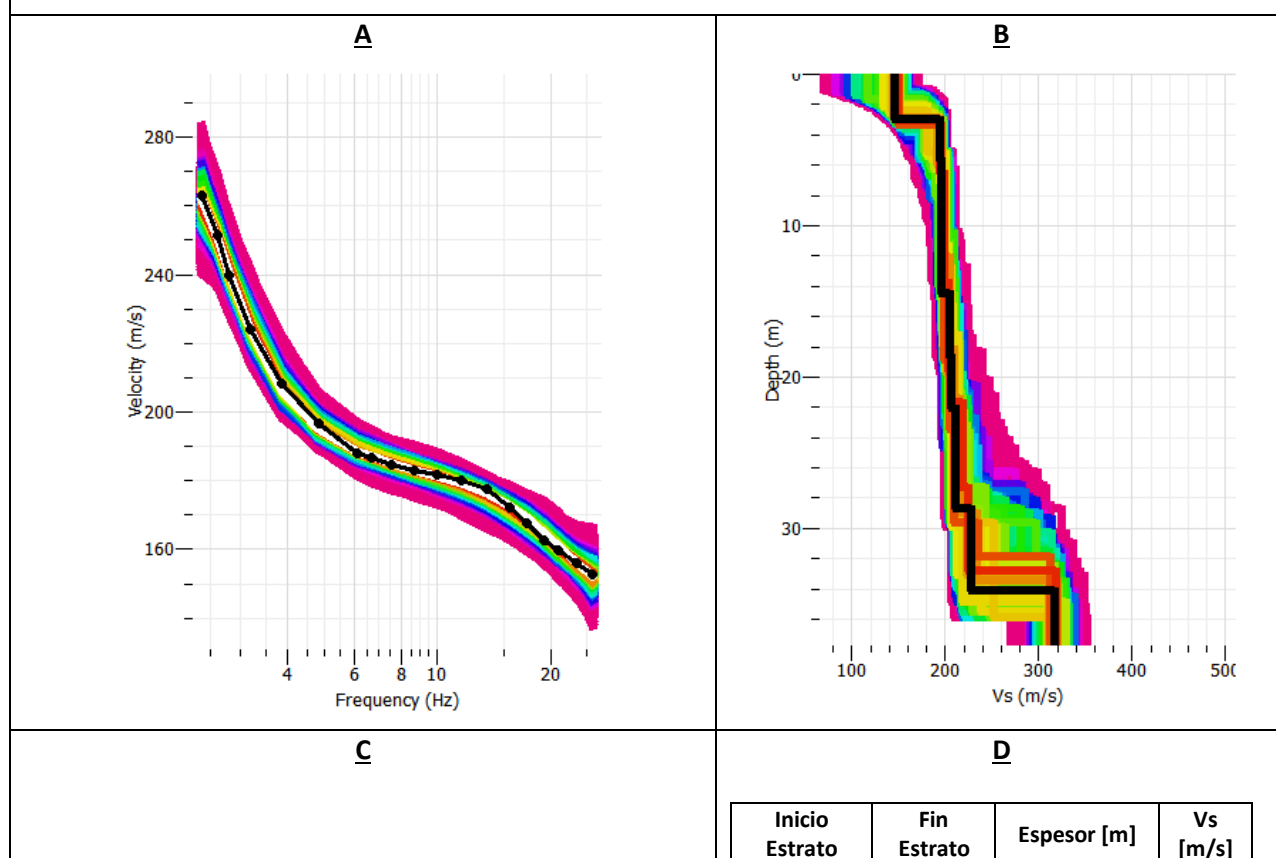
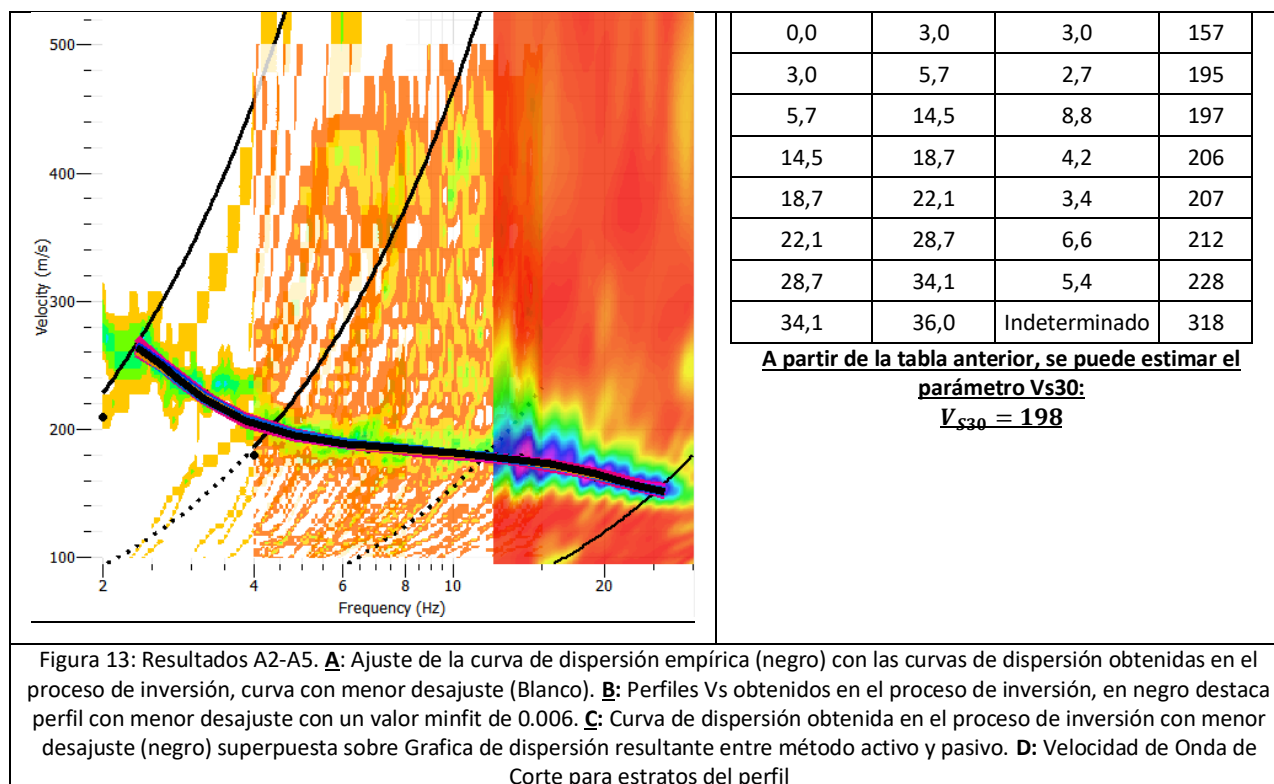


Figura 12: Resultados A1A3. **A:** Ajuste de la curva de dispersión empírica (negro) con las curvas de dispersión obtenidas en el proceso de inversión, curva con menor desajuste (Blanco). **B:** Perfiles V_s obtenidos en el proceso de inversión, en negro destaca perfil con menor desajuste con un valor minfit de 0.006. **C:** Curva de dispersión obtenida en el proceso de inversión con menor desajuste (negro) superpuesta sobre Grafica de dispersión resultante entre método activo y pasivo. **D:** Velocidad de Onda de Corte para estratos del perfil

Resultados Combinación Arreglo A2A3





6.3 PERIODO PREDOMINANTE

El método Nakamura o de Razón Espectral HV se ha aplicado a los datos obtenidos en la zona de Estudio. Procesada la información de las mediciones realizadas se tienen las siguientes consideraciones. Cada medición tuvo un tiempo de registro de 30 minutos. Para el cálculo de las Razones espectrales HV se utilizaron ventanas de tiempos de 30 segundos.

Se presentan las ventanas de tiempo usadas y la duración de cada una.

Medición	Ventanas de tiempo	Tiempo de Ventana
HV1	11	30 seg.
HV2	28	30 seg.

Tabla 3: Resumen de ventanas seleccionadas por punto HV.

Los registros y ventanas seleccionadas de cada registro se presentan a continuación.

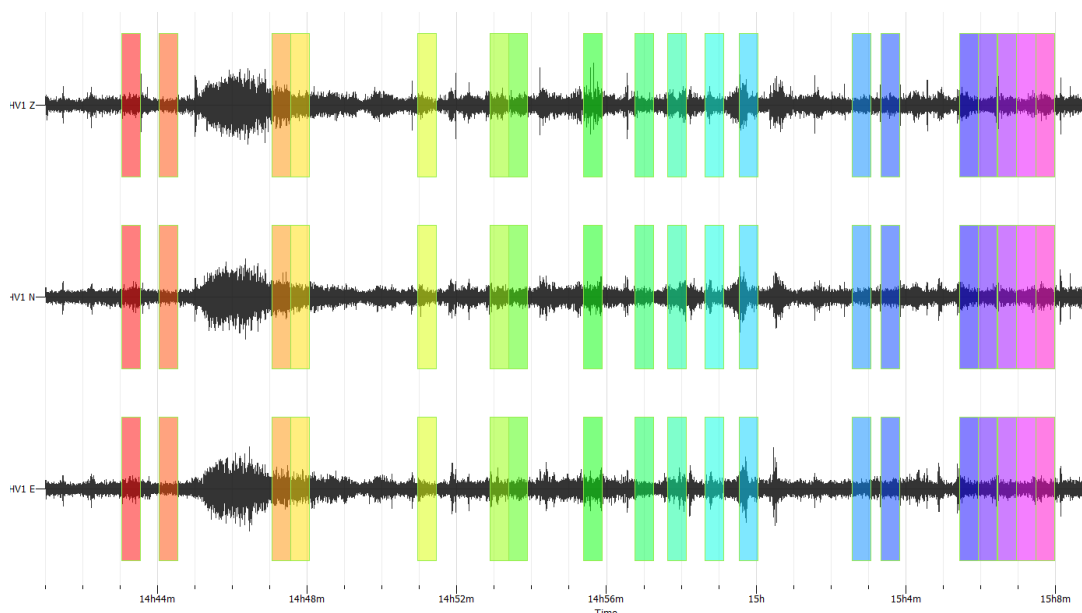


Figura 14 Izquierda: Registro de ruido ambiental y selección de ventanas de tiempo para el cálculo de las razones espectrales en HV1.

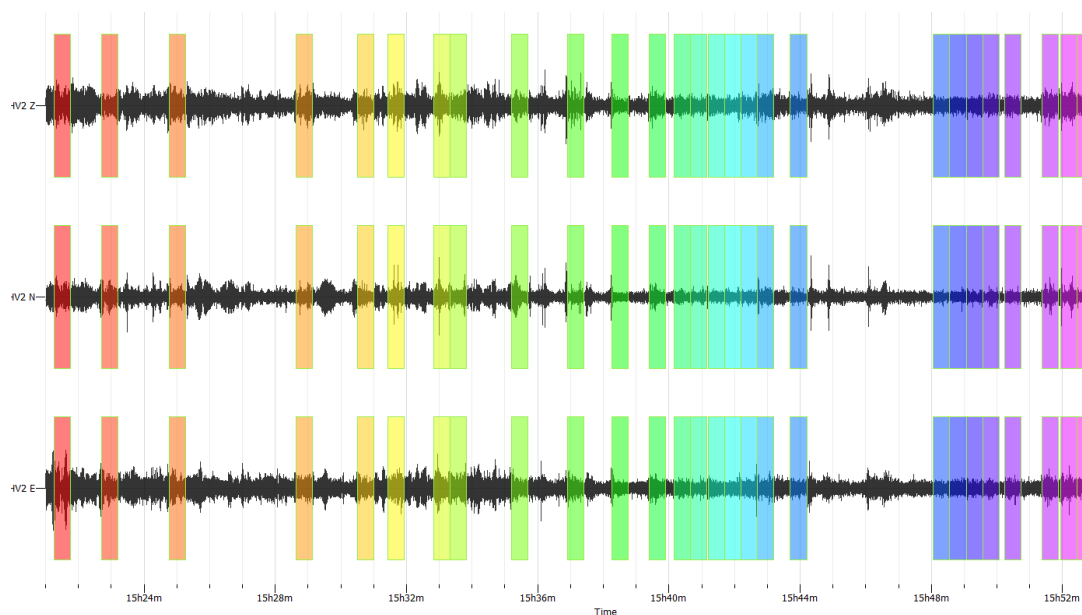


Figura 15 Izquierda: Registro de ruido ambiental y selección de ventanas de tiempo para el cálculo de las razones espectrales en HV2.

A continuación, se presenta la gráfica de la curva de relación espectral HV vs frecuencia para cada registro, esta se obtuvo mediante el cálculo de la razón espectral de cada ventana seleccionada, siendo la resultante el promedio de las relaciones obtenidas.

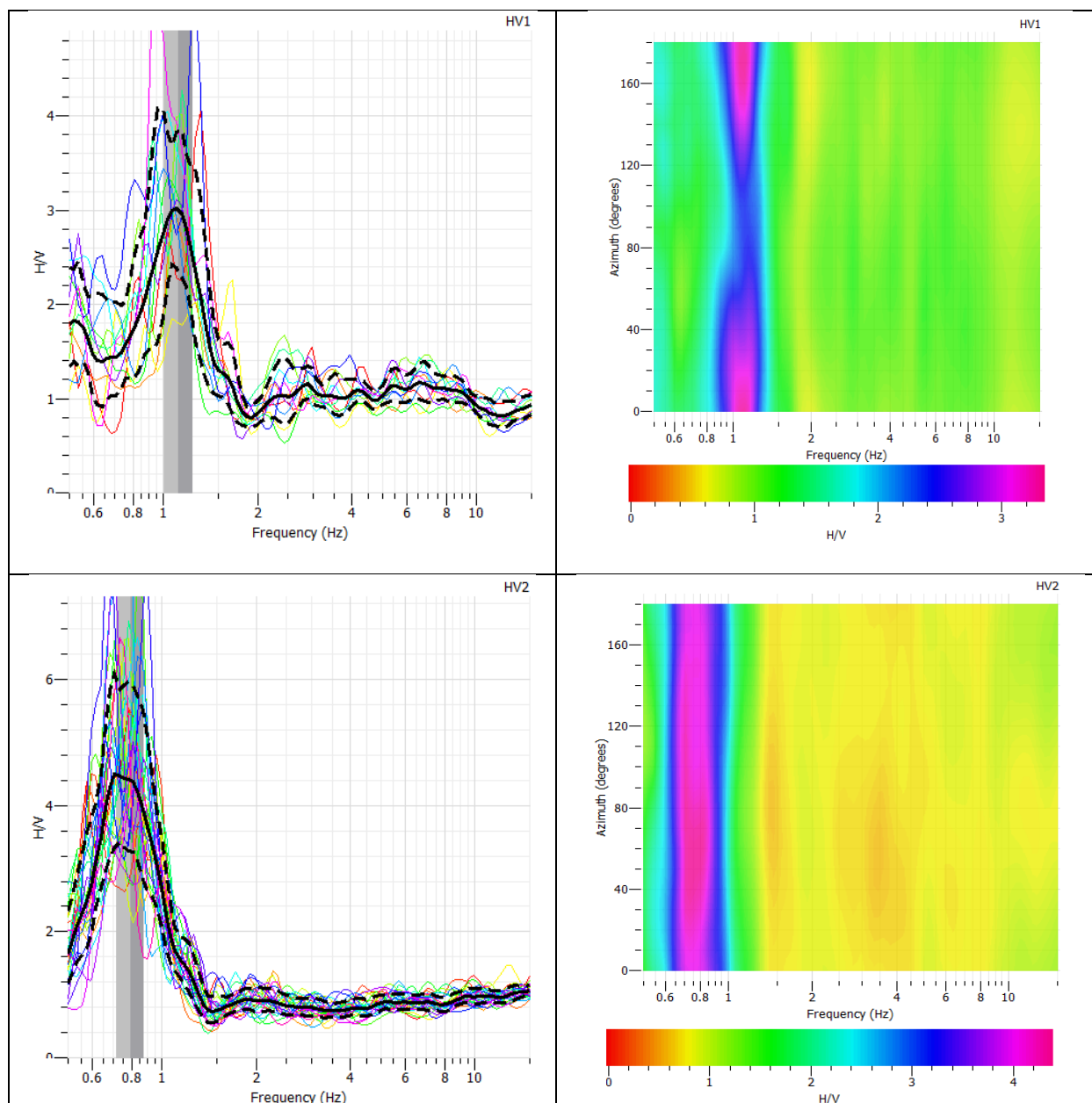


Figura 16 Izquierda: Relación HV por el método Nakamura para la obtención del periodo predominante, línea segmentada color negro indica la curva espectral resultante, las líneas segmentadas indican la desviación estándar y las líneas de color representan la curva espectral para cada ventana de tiempo seleccionada. Derecha: Relación HV en función del acimut.

La Tabla 4 presenta el resumen de los resultados obtenidos de las mediciones de ruido ambiental para la obtención del periodo predominante.

Medición	Frecuencia [Hz]	Periodo [s]	Peak [A0]
HV1	1.12	0.89	3.0
HV2	0.80	1.25	4.4

Tabla 4: Resumen de los Resultados Obtenidos por el método Nakamura

La Tabla 5 presenta el cumplimiento de los criterios SESAME aplicados a las curvas espectrales obtenidas para la verificación de la confiabilidad de cada curva y peak.

Criterios		HV1	HV2
Curva HV	i	SI	SI
	ii	SI	SI
	iii	SI	SI
Peak HV	i	SI	SI
	ii	SI	SI
	iii	SI	SI
	iv	NO	SI
	v	SI	SI
	vi	SI	SI

Tabla 5: Cumplimiento de Criterios Sesame para la Curva y Peak para la confiabilidad de la Curva.

Las 2 mediciones de ruido ambiental al ser procesadas y obtenidas sus curvas de razón espectral cumplen con los 3 criterios de curva HV y se puede garantizar su validez. Al aplicar los criterios SESAME del PEAK HV se tiene que las mediciones cumplen al menos 5 de 6 criterios por lo que se puede asegurar la confiabilidad del peak. Los peak obtenidos son mayores a 2 siendo clasificados como muy marcados y el periodo predominante se encuentra entre los 0,51 y 0,52s.

7 CONCLUSIONES

A partir del procesamiento de las señales medidas en terreno, se han obtenido los siguientes resultados.

De los ensayos MASW-MSPAC se obtuvieron las curvas de dispersión del sitio de estudio, las curvas de dispersión seleccionadas para la inversión tienen longitud de onda superior a 110m, lo que permite asegurar la exploración en profundidad de 36m.

La curva de dispersión al ser invertidas se obtiene un perfil de velocidad de propagación de onda de corte monótonamente creciente.

El parámetro v_{s30} muestra que la que la velocidad de onda de corte en los primeros 30 metros del subsuelo para el sitio de estudio varía entre los 196 y 198 m/s.

Las mediciones realizadas para determinar el periodo predominante arrojan curvas espectrales que presentan un peak muy marcado, estas cumplen con los criterios SESAME por lo que se puede asegurar la confiabilidad del peak. Se obtiene un valor de periodo predominante entre los 0,89 y 1,25s.



RICARDO BRIONES HUERTA
Ingeniero Civil
RUT: 10.930.693-2.

8 ANEXOS

8.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO



Figura 17: Fotografías de Arreglo Lineal A1 y A2



Figura 18: Fotografías de Arreglo Bidimensionales A3



Figura 19: Fotografías de Mediciones Nakamura.

9 REFERENCIAS

Aki, K., (1957). Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves, with Special Reference to Microtremors, Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo, 35, 415-457.

Bettig B., P.-Y. Bard, F. Scherbaum, J. Riepl, F. Cotton, C. Cornou, D. Hatzfeld, (2001). Analysis of dense array measurements using the modified spatial auto-correlation method (SPAC). Application to Grenoble area., Boletín de Geofísica Teoría e Aplicada, 42, 3-4, 281-304.

Foti, S., Hollender, F., Garofalo, F., Albarello, D., Asten, M., Bard, P. Y., ... & Forbriger, T. (2018). Guidelines for the good practice of surface wave analysis: a product of the InterPACIFIC project. Bulletin of Earthquake Engineering, 16(6), 2367-2420.

Humire Guarachi, F., Saez Robert, E., & Leyton Florez, F. (2015). Manual de aplicación de técnicas geofísicas basadas en ondas de superficie para la determinación del parámetro VS30. *Instituto de la Construcción*.

Marcellini, A. (2014). Guidelines For The Implementation of The H/V Spectral Ratio Technique on ambient vibrations.

Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. Geophysics, 64(3), 800-808.

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.