



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

TRABAJO DE DISERTACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

DE INGENIERO CIVIL

**APLICACIÓN DEL MÉTODO GEOFÍSICO MASW, PARA LA OBTENCIÓN DE
PERFILES DE ONDA VS Y CÁLCULO DE VS30 DEL SUBSUELO EN LA
MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL SUR DE QUITO, PERFIL 1-1, POZOS P01-
P02-P03-P04.**

RODRIGO ALEJANDRO MEJÍA NIAMA

GELLYS IVANNA MENDOZA SALTOS

DIRECTOR: ING. GUILLERMO REALPE

QUITO, 2021

AGRADECIMIENTO

*A mis padres y hermano
por su incondicional
apoyo y amor
Alejandro M.*

*Agradezco a mi familia,
a mis profesores
y amigos.
Ivanna M.*

DEDICATORIA

*A mis padres y hermano por ser mi inspiración y motivación
para alcanzar grandes logros.*

Alejandro M.

*A mi madre y hermana por enseñarme a ser perseverante,
y a todos aquellos apasionados por el estudio.*

Ivanna M

RESUMEN

Los métodos sísmicos activos de ondas superficiales son eficaces y de gran utilidad en la estimación de la velocidad de onda de corte del subsuelo superficial, especialmente en entornos urbanos, con lo que es posible caracterizar el subsuelo a una profundidad determinada que dependerá de la longitud y la geometría del arreglo lineal de geófonos, la energía aplicada para generar las ondas sísmica y de la frecuencia. El Análisis Multicanal de Ondas Superficiales o MASW es un método geofísico eficiente en costo y tiempo que utiliza las propiedades dispersivas de las ondas superficiales con el propósito de generar modelos 1D de velocidad de onda S en función de la profundidad.

La presente disertación de grado esta direccionada a la determinación de un corte estratigráfico del subsuelo y al cálculo de las velocidades de corte en los primeros 30 metros (V_{s30}) con el fin de aportar a la determinación de micro zonas geotécnicas-sísmicas en el sur de Quito y permitir el desarrollo y conocimiento de esta técnica en la facultad de ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, utilizando el Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) en los sectores de Fudurma, Guamaní y El Garrochal; perfil 1-1, el cual contiene las perforaciones P01-P02-P03-P04.

Se realizaron cuarenta y seis arreglos lineales a lo largo del perfil 1-1, obteniendo en la adquisición de datos en campo los tiempos de llegada de onda para cada geófono con el programa Seismex 16, a continuación, se generaron las curvas de dispersión mediante la utilización del programa Geopsy para finalmente obtener los modelos geofísicos 1D de onda de corte (V_s)-profundidad para cada arreglo lineal utilizando el programa Dinver.

ABSTRACT

The active seismic methods of surface waves are effective and useful in estimating the shear wave velocity on the surface of the soil, especially in urban environments, making possible to characterize the subsoil at a certain depth which will depend on the length and geometry of the linear geophone array, the energy applied to generate seismic waves and the frequency. The Multichannel Surface Wave Analysis or MASW is an efficient geophysical method in terms of cost and time, that uses the dispersive properties of surface waves for the purpose of generating 1D models of S wave velocity depending on depth function.

This grade dissertation is focused to the determination of a stratigraphic profile of the subsoil and the calculation of the shear wave velocity in the first 30 meters to contribute to the determination of geotechnical-seismic micro zones in southern Quito and allowing the development and knowledge of this technique in engineering faculty in the geotechnical area, using the Multichannel Surface Wave Analysis (MASW) in the Fudurma, Guamaní and El Garrochal zones; in profile 1-1, which contains the P01-P02-P03-P04 boreholes.

Forty-six linear arrangements were done along profile 1-1, obtaining in the in the field data acquisition the wave arrival times for each geophone with the Seismex16 program, then dispersion curves were generated using the Geopsy program to finally obtain the 1D geophysical models of shear wave velocity (V_s)-depth, of the subsoil for each linear arrangement using the Dinver program.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
TABLA DE ILUSTRACIONES.....	x
1. Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	4
1.3 Objetivo General.....	6
1.4 Objetivos Específicos.....	6
1.5 Alcance	7
2. Capítulo 2.....	8
2.1 Ubicación de la zona de estudio.....	8
2.2 Descripción geológica regional.....	10
2.2.1 Geología Cordillera Real	12
2.2.1.1. Unidad Guamote.....	13
2.2.1.2. Unidad Alao.....	13
2.2.1.3. Unidad Loja	13
2.2.1.4. Unidad Salado.....	13
2.2.2 Geología Cordillera Occidental	14
2.2.1.5. Bloque Pallatanga	14
2.2.1.6. Unidad Pallatanga.....	14
2.2.1.7. Unidad San Juan	14
2.2.3 Geología Valle Interandino.....	15
2.3 Vulcanismo	16
2.3.1 Complejo volcánico Pichincha	18

2.3.2	Complejo volcánico Atacazo-Ninahuilca	19
2.4	Descripción geológica Local.....	20
2.4.1	Geología del Valle Interandino Central (Distrito Metropolitano)	20
2.4.2	Geología cuenca de Quito.....	21
2.4.2.1.	Formación Machángara	23
	[REDACTED] Miembro Volcánico Basales	23
	[REDACTED] Miembro Quito.....	24
2.4.2.2.	Formación Cangahua.....	24
2.4.2.3.	Depósitos La Carolina	24
2.4.3	Geología subcuenca del sur de Quito.....	25
2.4.3.2.	Unidad de Basamento	26
	[REDACTED] Unidad volcánica Atacazo-Ninahuilca.....	26
	[REDACTED] Unidad Volcánica Pichincha	27
	[REDACTED] Volcánicos Indiferenciados	27
2.4.3.3.	Unidad Vulcano sedimentaria Guamaní.....	27
2.4.3.4.	Unidad Fluvio-Lacustre El Pintado	27
2.4.4	Hidrogeología del sur de Quito.....	28
2.4.4.1	Acuitardo	28
2.4.4.2	Nivel Acuífero Superior	29
	[REDACTED] Yacimiento Guamaní.....	29
	[REDACTED] Yacimiento el Pintado	29
2.4.4.3	Nivel Acuífero Inferior	29
3.	Capítulo 3.....	31
3.1	Ondas sísmicas.....	31
3.1.1	Ondas Corpóreas	31
3.1.1.1.	Onda Primaria.....	31
3.1.1.2.	Onda Secundaria.....	32
3.1.2	Ondas Superficiales	33
3.1.1.2.	Ondas Love.....	34

3.1.1.3.	Ondas Rayleigh.....	34
3.2	Dispersión de Ondas Superficiales	36
3.3	Velocidad de fase.....	37
3.4	Velocidad de grupo.....	37
3.5	Relación entre la velocidad de grupo y velocidad de fase.....	38
3.6	Microzonificación Sísmica.	38
3.7	Semi espacio	39
3.8	Zonas de impedancia.....	39
3.9	Vs30.....	40
3.10	Métodos geofísicos-sísmicos	41
3.11	Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW).....	41
3.11.1	Análisis Multicanal de Ondas Superficiales Pasivo.....	44
3.11.2	Análisis Multicanal de Ondas Superficiales Activo	44
3.8.2.1.	Parámetros óptimos de campo.....	44
3.8.2.2.	Curva de dispersión	47
3.8.2.3.	Análisis de dispersión.....	48
3.8.2.4.	Método de cambio de fase.....	49
3.8.2.5.	Transformada de Fourier y normalización de la amplitud	50
3.8.2.6.	Espectro de dispersión.....	55
3.8.2.7.	Extracción de curvas de dispersión	59
3.8.2.8.	Selección manual de curvas de dispersión (Picking).....	61
3.8.2.9.	Geopsy	62
3.8.2.10.	Inversión.....	62
3.8.2.10.1.	Modelo del suelo por estratos y parámetros del modelo.....	63
3.8.2.10.2.	Algoritmos generales de inversión.....	63
3.8.2.9.3.	Algoritmo del vecino más próximo (Neighbourhood Algorithm)	65
3.8.2.9.4.	Inversión Multimodal.....	66
3.8.2.10.	Dinver.....	67
4.	Capítulo 4.....	68

4.1	Revisión Bibliográfica	68
4.2	Fase de pre-adquisición.....	69
4.3	Adquisición de datos en campo.	72
4.3.1	Equipos de adquisición	72
4.3.2	Parámetros de adquisición	73
4.3.3	Metodología de adquisición.....	73
4.4	Procesamiento de datos por el método MASW	74
4.4.1	Preparación de la información	74
4.4.2	Generación de espectro de velocidad de fase-frecuencia	76
4.4.3	Inversión de curvas de dispersión.....	79
4.4.3.1.	Aproximación de parámetros de inversión.....	80
4.4.3.2.	Herramienta Dinver	80
4.5	Cálculo Vs30.....	86
4.6	Ejemplo de procesamiento de datos obtenidos en campo.....	86
4.6.1	Ejemplo de procesamiento en zona de calibración P002.....	87
4.6.1.1	Trazas sísmicas tendido 12.....	87
4.6.1.2	Espectro de velocidad de fase en función de la frecuencia.	87
4.6.1.3	Selección de puntos para generar la curva de dispersión teórica.	88
4.6.1.4	Inversión de curva de dispersión	89
4.6.1.5	Curva de dispersión experimental y teórica	89
4.6.1.6	Modelo 1D (Vs-profundidad).....	90
4.6.2	Ejemplo de procesamiento en la zona heterogénea del perfil geotécnico.	91
4.6.2.1	Trazas sísmicas tendido 30.....	92
4.6.2.2	Espectro de velocidad de fase en función de la frecuencia	92
4.6.2.3	Selección de puntos para generar la curva de dispersión teórica.	93
4.6.2.4	Inversión de curva de dispersión.	93
4.6.2.5	Curva de dispersión experimental y teórica.	94
4.6.2.6	Modelo 1D (Vs-profundidad).....	96
5.	Capítulo 5.....	97

5.1	Perfil estratigráfico.....	97
5.2	Vs30	98
5.2.1	Zona 1	99
5.2.2	Zona 2	106
5.2.3	Zona 3	108
6.	Capítulo 6.....	112
	Referencias.....	119

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 2-1 Esquema geológico del Ecuador. Modificado de (De Berc, y otros, 2005).....	8
Figura 2-2 Vista geográfica de la meseta de Quito. Modificado de (Instituto Geográfico Militar, 2021)	9
Figura 2-3 Vista satelital de la distribución de arreglos de líneas sísmicas sobre el área de interés.	10
Figura 2-4 Esquema de la geología regional del Ecuador. Tomado de (Villagómez Díaz, 2003)	11
Figura 2-5 Mapa geológico simplificado de la Cordillera Real. Modificado de (Litherland, Aspen, & Jamielita, 1994).....	12
Figura 2-6 Segmentación del Valle Interandino tomado de (Villagómez Díaz, 2003).	16
Figura 2-7 Distribución de volcanes continentales en Ecuador. Modificado de (Hall, Samaniego , Le Pennec, & Jonhson, 2008)	17
Figura 2-8 Edificios volcánicos situados sobre el Valle Interandino y Cordillera Occidental. Tomado de (Peñañiel Aguiar L. , 2009)	19
Figura 2-9 Edificios volcánicos que forman el complejo Volcánico Atazaco – Ninahuilca. Modificado de (Hidalgo, 2006).....	20
Figura 2-10 Esquema tectónico actual simplificado del Valle Interandino Central tomado de (Villagómez Díaz, 2003).....	21
Figura 2-11 Columna estratigráfica generalizada del relleno de la cuenca de Quito. Tomado de (Peñañiel Aguiar L. A., 2009)	23
Figura 2-12 Columna estratigráfica de la subcuenca del sur de Quito. Tomado de (Peñañiel Aguiar L. A., 2009).....	26
Figura 2-13 Modelo hidrogeológico conceptual de la subcuenca del sur de Quito. Tomado de (Peñañiel Aguiar L. , 2009)	30
Figura 3-1 Movimiento de la partícula asociado a la propagación de las ondas sísmicas P. Tomado de (FUNVISIS, 2020).	32
Figura 3-2 Movimiento de la partícula asociado a la propagación de las ondas sísmicas P. Tomado de (FUNVISIS, 2020).	33
Figura 3-3 Movimiento asociado a la propagación de la onda superficial Love. Tomado de (Dal Moro, 2015).	34
Figura 3-4 Movimiento asociado a la propagación de la onda superficial Rayleigh. Tomado de (Dal Moro, 2015)	35

Figura 3-5 Penetración de onda superficial dependiendo de la longitud y frecuencia. Tomado de (Ólafsdóttir, 2014).....	36
Figura 3-6 Representación de curvas de dispersión de dos modelos de subsuelo con diferente velocidad de fase: (a) dispersión normal y (b) dispersión inversa. Tomado de (Dal Moro, 2015).	37
Figura 3-7 Comparación de velocidad de fase y grupo dentro de un grupo dispersivo de ondas. Tomado de (Everett, 2013).	38
Figura 3-8 Ilustración del procedimiento completo y de la principal ventaja del método MASW. Tomado de (Park, Miller, & Xia, 1999).....	43
Figura 3-9 Ilustración de un perfil de medición MASW de 24 geófonos con espaciado entre la fuente y el geófono más cercano (x1) y de igual espaciado entre geófonos (dx). Tomado de (Ólafsdóttir, 2014).	45
Figura 3-10 (a) Señal Sísmica; (b) espectro de velocidad; (c) Vista 3D del espectro de velocidad (el eje z representa el valor de correlación para un punto dado de frecuencia-velocidad); (d) Curvas de dispersión con los cinco primeros modos, se indica el modo fundamental y el cuarto modo más alto. La curva amarilla en la gráfica (b) representa los picos en el espectro de velocidad y está referida como la curva de dispersión efectiva.....	48
Figura 3-11 Principio básico detrás del método de cambio de fase. (a) Curvas sinusoidales normalizadas con frecuencia de 20 Hz y velocidad de fase de 140 m/s. (b) Suma normalizada de amplitud como una función para diferente número de señales. Tomado de (Ólafsdóttir, 2014).54	
Figura 3-12 Imagen de dispersión bidimensional obtenida mediante el método del cambio de fase. Tomado de (Ólafsdóttir, 2014).	58
Figura 3-13 Espectro de velocidad de fase en función de la frecuencia y la normalización de la amplitud tridimensional. Extracción de la curva de dispersión mediante picking manual (puntos negros). Tomado de (Ólafsdóttir, 2014).	60
Figura 3-14 Curva de dispersión de modo fundamental obtenida de la imagen de dispersión mostrada en la figura 3-13.	61
Figura 3-15 Ejemplo del proceso manual de picking sobre el espectro de velocidad de fase-frecuencia para generar la curva de dispersión.	62
Figura 3-16 Ejemplo generalizado de un modelo de suelo por estratos. Tomado de (Ólafsdóttir, 2014).	63
Figura 3-17 Visión general de un típico algoritmo de inversión local a partir de curvas de dispersión. Modificado de (Ólafsdóttir, 2014)	64
Figura 4-1 Esquema resumen de la secuencia del procesamiento de datos utilizando el método MASW.	68

Figura 4-2 Vista satelital de la distribución de arreglos sísmicos lineales entre P-03 y P-02.	70
Figura 4-3 Vista satelital de la distribución de arreglos sísmicos lineales entre P-02 y P-01.	71
Figura 4-4 Vista satelital de la distribución de arreglos sísmicos lineales entre P-01 y P-04.	72
Figura 4-5 Parámetros para procesamiento de datos, GEOPSY.....	75
Figura 4-6 Importar señales en GEOPSY.....	75
Figura 4-7 Ejemplo de gráfica de señales obtenidas.....	76
Figura 4-8 Ícono F-K <i>for active experiments</i>	76
Figura 4-9 Ventana de herramientas de F-K para el proceso de datos, pestaña Pre-processing...	77
Figura 4-10 Ventana de herramientas de F-K para el proceso de datos, pestaña Output.	78
Figura 4-11 Ejemplo del proceso de picking en graficas de velocidad de fase vs frecuencia, obteniendo curvas de dispersión teóricas. (Las líneas negras continuas corresponden a los límites inferior y superior respectivamente de longitud de onda de acuerdo con la geometría del arreglo).	79
Figura 4-12 Perfil geotécnico correspondiente al perfil 1-1 del polígono de la microzonificación geotécnica del sur de Quito. Tomada de (Realpe R., 2020)	80
Figura 4-13 Esquema básico del proceso de inversión de curvas de dispersión para obtener modelos 1D de Vs. Modificado de (Mijares Armas, 2019).....	81
Figura 4-14 Proceso de carga de curvas de dispersión Dinver.	82
Figura 4-15 Parametrización necesaria para la inversión	83
Figura 4-16 Proceso para añadir una nueva corrida de inversión.	84
Figura 4-17 Generación de corridas con valores de iteraciones correspondientes	85
Figura 4-18 Proceso para visualizar la curva de dispersión teórica y experimental y el modelo 1D de Vs a 30m.	86
Figura 4-19 Trazas sísmicas tendido 12, disparo realizado entre geófonos 6-7.	87
Figura 4-20 Espectro de velocidad de fase en función de la frecuencia. La línea continua negra representa el límite mínimo de longitud de onda.....	88
Figura 4-21 Espectro de velocidad de fase en función de la frecuencia. La línea continua negra representa el límite máximo de longitud de onda y la línea negra punteada corresponde a la selección de la curva de dispersión.	88
Figura 4-22 Parametrización con propiedades mecánicas y dinámicas del pozo P002.....	89
Figura 4-23 Comparación de la curva de dispersión experimental y teórica.....	90
Figura 4-24 Modelo 1D (Vs-profundidad) correspondiente al tendido 12.	91

Figura 4-25 Trazas sísmicas tendido 30, disparo realizado entre geófono 6 y 7.	92
Figura 4-26 Espectro de velocidad de fase en función a la frecuencia. La línea continua negra representa el límite mínimo de longitud de onda.	92
Figura 4-27 Espectro de velocidad de fase en función de la frecuencia. La línea continua negra representa el límite máximo de longitud de onda y la línea negra punteada corresponde a la selección de la curva de dispersión.	93
Figura 4-28 Parametrización utilizada en la iteración final para generar el modelo Vs-profundidad.	94
Figura 4-29 Diferencia entre curva experimental y teórica debido a un incorrecto procesamiento.	95
Figura 4-30 Relación de curvas de dispersión experimental y teórica con acciones correctivas.	96
Figura 4-31 Modelo 1D (Vs-profundidad) correspondiente al T30.	96
Figura 5-1 Perfil geofísico generado a partir de la interpolación de líneas sísmicas.	98

1. Capítulo 1

GENERALIDADES

1.1 Introducción

Ecuador forma parte de la región denominada Cinturón de Fuego del Pacífico, donde se libera el 85% de energía sísmica que libera el planeta en forma de sismos, principalmente. La subducción de la placa de Nazca dentro de la placa Sudamericana es la principal fuente de sismos tectónicos, además de un sistema complejo de fallamiento local superficial en Ecuador. (Yepez Mora, 2002)

La ciudad de Quito, capital y principal ciudad del Ecuador, ubicada en la región norte del país posee una situación geográfica que lo ubica en una posición de alta y constante sismicidad enmarcada por un complejo sistema de fallas definidas por: el sistema de fallamiento dextral conformado por las fallas Chingual, Pallatanga y Guayaquil- Caracas; el sistema sinistral conformado por Guachucal, San Isidro, El Ángel; y el sistema de fallamiento inverso de pie de monte, localizado en la base de la Cordillera Real. (Chunga, y otros, 2010).

Asociando el contexto tectónico tanto del país como el de la ciudad de Quito, la modelación de micro zonas sísmicas permite definir diversas zonas de propiedades dinámicas similares en gran aproximación a la realidad.

Una vez definidas las micro zonas es posible detectar las acciones desfavorables que pueden afectar a las edificaciones ante la acción de un evento sísmico, amplificando o de amplificando los efectos provocados dependiendo de la estratigrafía del lugar de emplazamiento de la estructura (Valverde, Fernandez , Jimenez, Vaca, & Alarcon). Además, el riesgo sísmico de la ciudad se encuentra vinculado directamente a la calidad de los suelos presentes en la ciudad, que en su

mayoría son productos volcánicos y de erosión pluvial, eólica y glaciario, constituyendo un relleno sedimentario de materiales mezclados y sobrepuestos entre sí. (Feininger , 1983)

En este contexto de amenaza, el municipio de Quito, en convenio con la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) y el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN) están realizando la actualización de la microzonificación sísmica de Quito.

Focalizando el estudio en una primera etapa del proyecto en el sector sur de Quito y generando como alcance la determinación de parámetros de índole geofísica y geotécnica como lo son los períodos predominantes del suelo, espesores de sedimentos y el V_{s30} .

El parámetro V_{s30} , definido como un valor ponderado de velocidad de onda de corte en los primeros 30 metros de profundidad, es un parámetro en la actualidad a nivel mundial para caracterizar el subsuelo superficial y por consiguiente, estimar los efectos de sitio a escala regional y global, permitiendo el diseño de criterios sismorresistentes ajustados a las características del sitio de estudio mediante normativas estandarizadas de ingeniería sísmica. (Borcherdt, 2012)

Esta disertación de grado busca ser un aporte en la actualización de la microzonificación sísmica de Quito, y tiene como propósito final la determinación del V_{s30} y la representación de un corte estratigráfico generado a partir de modelos 1D (V_s -profundidad) a lo largo del perfil 1-1, en el sur de la ciudad (sectores de Fudurma, Guamaní y El Garrochal), que permitan la caracterización detallada del subsuelo. En base a la campaña geotécnica realizada por la PUCE y el IGEPN en la cual se realizaron 21 puntos de perforación donde se ejecutó ensayos de SPT, CPT, DMT y SDMT y conociendo que la precisión de esta información proporcionada puede ser extrapolada con el empleo de ensayos geofísicos, se busca el desarrollo e implementación de esta técnica en la

facultad de ingeniería civil en el área de geotecnia. Conocimiento y tecnología que serán utilizadas en futuras investigaciones y disertaciones de grado.

Definido el propósito principal de la investigación se plantea el empleo y/o implementación del método geofísico MASW como medio de correlación entre los estudios detallados anteriormente generando información certera entre pozos de perforación con el objeto de minimizar el estudio geotécnico.

El MASW (Multichannel analysis of surface waves) es un método desarrollado por Park et al. (1999), que utiliza las propiedades dispersivas de las ondas superficiales con el propósito de generar perfiles de velocidad de onda S en profundidad (1D). Este método registra ondas superficiales usando sistemas de registro multicanal (12 o más canales), con arreglos de receptores lineales que abarcan de unos pocos a cientos de metros (generalmente, 2-200m). El método MASW es una técnica para evaluar la velocidad de la onda de corte en los primeros metros del subsuelo con aplicaciones geotécnicas. (Ólafsdóttir, 2014). Según la naturaleza de la fuente sísmica, el método MASW puede considerarse activo o pasivo (Microtremor array measurements). Aunque el MASW con fuente activa es la configuración más común de este método, el MAM puede ser utilizado para analizar ondas superficiales generadas de manera pasiva (microtremores), de esta manera, las fuentes pasivas al tener frecuencias más bajas incrementan la profundidad de investigación sustancialmente. (Park C. , Miller, Xia, & Ivanov, 2007).

El MASW de fuente activa es el tipo de estudio más común para generar estimaciones de perfiles 1D de velocidad de onda de corte (V_s). El procedimiento completo del método consta en general de tres pasos fundamentales: 1.- Adquisición de registros multicanal, 2.- Procesamiento de las señales sísmicas, estimación de las curvas de dispersión y 3.- Análisis de inversión: inversión de las curvas a partir de un modelo geofísico de subsuelo propuesto, para obtener perfiles 1-D de V_s

(un perfil por curva de dispersión). Como cualquier método geofísico esta técnica maneja ciertos parámetros, limitaciones y particularidades de lo que depende el método.

1.2 Antecedentes

La Escuela Politécnica Nacional realizó el primer estudio enfocado en una microzonificación sísmica, en el año 1994; en el cual se caracterizaron los suelos de la ciudad. En 1997 se realizó un segundo estudio liderado por el ORSTOM, Instituto Francés de Cooperación, en este estudio se obtuvieron factores de frecuencia y sitio de vibración de los suelos. La tercera investigación fue autoría de la Escuela Politécnica Nacional en el 2002, donde se amplió el área de investigación respecto al estudio del año 1994, se caracterizó el suelo de acuerdo con el Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC-2000) y se añadieron los espectros de diseño. La cuarta investigación fue realizada por el grupo consultor ERN, Evaluación de Riesgos Naturales en Latino América, que en base a los tres estudios previos logró determinar diecisiete zonas con el objetivo de generar mapas de microzonificación sísmica para un periodo de retorno de 475 años en términos de los factores de sitio F_a , F_d y F_s establecidos en la NEC.

La Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) y el Instituto Panamericano de la Geografía e Historia dirigieron y financiaron el estudio que constituyó un proyecto de investigación, en el año 2012-2013 donde se estableció factores de cercanía, con los cuales la curva del espectro experimenta modificaciones debido a la presencia del conjunto de fallas ciegas de Quito (Aguilar Falconí, 2013).

Con la finalidad de contextualizar los beneficios de los métodos geofísicos, se analizaron investigaciones geofísicas-geotécnicas previas, y se consideraron con especial importancia los siguientes estudios locales:

(Rondón, Ávila, Yegres, Schmitz, & Barros, 2017) presentaron modelos de velocidad del subsuelo en Portoviejo obtenidos de la refracción sísmica y análisis multicanal de ondas de superficie (MASW) y las comparan con los resultados obtenidos con otros métodos geofísicos ejecutados en el proyecto.

(Castrechini Rodríguez, 2009) generó un modelo del subsuelo del sector Mirador del Colegio, localizado en la ciudad de Quito. Los parámetros definidos en el proyecto fueron, velocidades de onda P, onda S, Vs 30, períodos y frecuencias fundamentales del suelo; mediante la combinación de varios métodos geofísicos como Sísmica de Refracción, Sondeos ELÉCTRICOS Verticales (SEV), Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), Refracción de Microtremores (REMI) y adquisiciones de ruido sísmico ambiental, para la determinación del cociente espectral H/V.

(Bonifaz García & Haro Lescano, 2017) determinaron las velocidades de ondas de corte Vs30 para caracterizar el tipo de perfil sísmico del suelo en tres ciudades. Elaboraron mapas de microzonificación sísmica del subsuelo en función de los valores de velocidad de ondas de corte Vs30 obtenidos mediante el método MASW para ondas superficiales y el análisis de ruidos ambientales con el método pasivo MAM para luego adquirir un registro combinado de ambos métodos y generar dichos mapas.

(Alvarado Alcívar, 2017) generó un mapa geotécnico a partir de las propiedades físico-mecánicas del suelo obtenidas en laboratorio. Además, generó un modelo geológico-geotécnico basado en el mapa geotécnico, del módulo de rigidez, del número de golpes del ensayo SPT y la velocidad de onda de corte Vs.

En el año 2011 en el diseño del Metro de Quito, se ejecutaron estudios de suelos a lo largo de la trayectoria del metro, donde se pudo obtener información valiosa hasta una profundidad promedio de 50 metros mediante la integración de varios métodos geofísicos-geotécnicos como el ensayo Downhole, Sísmica de Refracción, Refracción de Microtremores (REMI) y Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW). En el caso del método de fuente activa MASW se logró realizar registros con aproximadamente 50 líneas geofísicas de 100 m de longitud. (Aguiar Falconí, 2013)

1.3 Objetivo General

Implementar el método geofísico MASW, para la obtención de perfiles de velocidad de onda de corte (V_s -profundidad) y el cálculo de V_{s30} del subsuelo, en la microzonificación sísmica del sur de Quito, perfil 1-1 que enlaza los sondeos P01-P02-P03-P-04. (Aproximadamente 4.7 km)

1.4 Objetivos Específicos

- Determinar el marco teórico geofísico que sustenta el método MASW.
- Aplicar el método geofísico MASW en la zona de estudio para la adquisición de registros mediante arreglos lineales de 16 geófonos, en su mayoría de 125 metros de longitud para caracterizar el subsuelo hasta una profundidad de aproximadamente 30 metros.
- Procesar los registros adquiridos en el programa Geopsy para generar curvas de dispersión en función a la velocidad de fase y la frecuencia del subsuelo para cada disparo realizado a lo largo de los arreglos lineales.
- Invertir curvas de dispersión mediante el programa Dinver basándose en parámetros geotécnicos de la zona de estudio para obtener modelos del subsuelo 1D de V_s -profundidad.

- Homogenizar los perfiles 1D Vs-profundidad para generar un corte estratigráfico en función de las velocidades de onda S y espesores de sedimentos obtenidas para cada punto de atribución de cada línea sísmica.
- Calcular el Vs30 de los modelos, Vs-profundidad, generados a partir de la inversión de las curvas de dispersión.

1.5 Alcance

Al disponer de información comprobada de la conformación del subsuelo obtenido por medio de metodologías geotécnicas del perfil 1-1, en el sur de la ciudad en los sectores de Fudurma, Guamaní y El Garrochal, dentro del programa de investigación de la actualización de la microzonificación sísmica, el estudio genera como expectativa el adiestramiento e implementación del método geofísico y verificación de su fiabilidad en conformaciones geológicas propias del sector de investigación.

Se espera así mismo que la implantación y desarrollado de esta metodología geofísica potencialice la investigación y transferencia de conocimiento en la facultad de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

2. Capítulo 2

UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y MARCO GEOLÓGICO

2.1 Ubicación de la zona de estudio

La ciudad de Quito se encuentra ubicada en la región centro-norte del Ecuador específicamente sobre la meseta de Quito, la cual forma parte de la hoya de Guayllabamba.

La investigación fue desarrollada en el Distrito Metropolitano de Quito exactamente en el sector sur de la ciudad en los sectores de Fudurma, Guamaní y El Garrochal. (Figura 2.1)

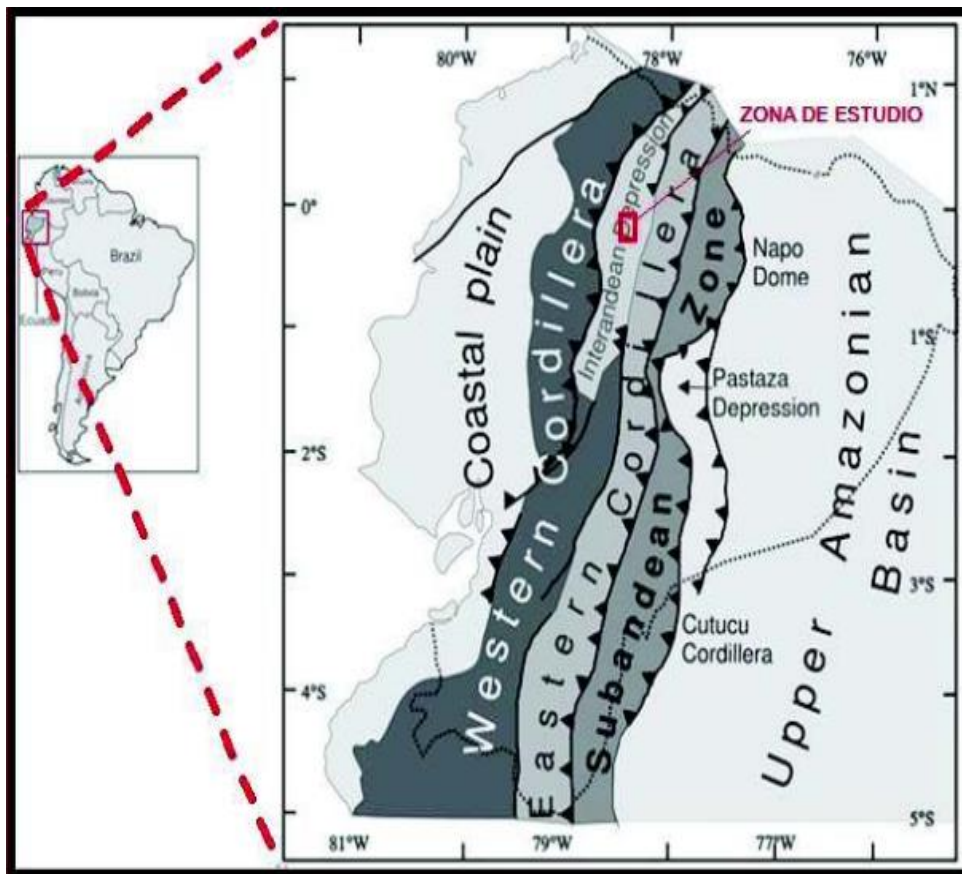


Figura 2-1 Esquema geológico del Ecuador. Modificado de (De Berc, y otros, 2005)

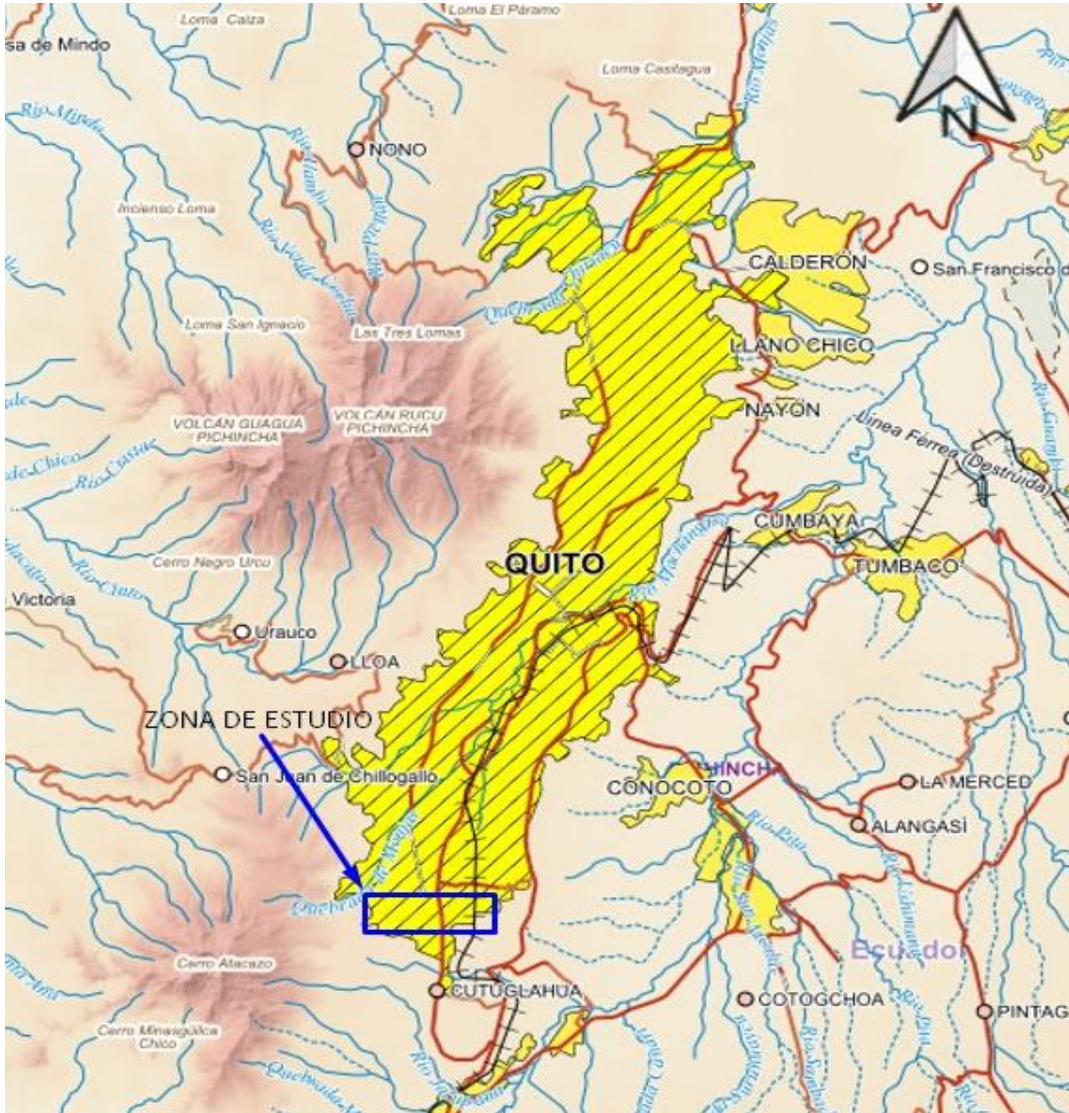


Figura 2-2 Vista geográfica de la meseta de Quito. Modificado de (Instituto Geográfico Militar, 2021)

El territorio de interés a través los sectores de Fudurma, Guamaní y El Garrochal y abarca aproximadamente 4.64 kilómetros de longitud sobre los cuales se realizarán 46 líneas sísmicas para la adquisición de datos. (Figura 2.2)

IMPLANTACIÓN LINEAS SÍMICAS PERFIL-1

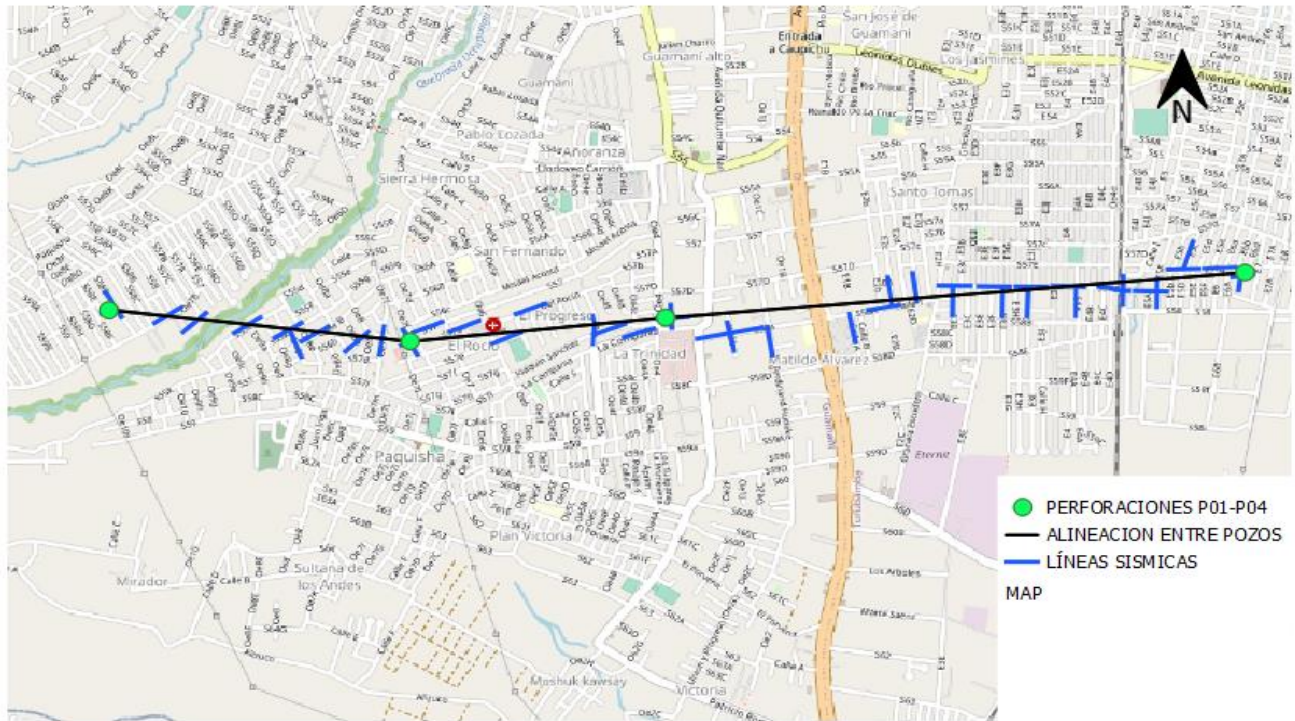


Figura 2-3 Vista satelital de la distribución de arreglos de líneas sísmicas sobre el área de interés.

2.2 Descripción geológica regional

El proceso de convergencia entre la placa Sudamericana y la placa Nazca se ha suscitado desde el periodo Oligoceno hasta la actualidad y es el generador de levantamientos, vulcanismo y deformaciones existentes en el margen occidental de Sudamérica, el mismo que ha formado el cinturón orogénico de los Andes en Ecuador.



Figura 2-4 Esquema de la geología regional del Ecuador. Tomado de (Villagómez Díaz, 2003)

El cinturón orogénico de los Andes separa al país en tres regiones y está compuesto por dos cadenas montañosas subparalelas con direccionamiento Norte-Sur, referidas como La Cordillera Real al este y La Cordillera Occidental al Oeste, separadas por una depresión morfotectónica conocida como El Valle Interandino. (Ferrari & Tibaldi, 1992)

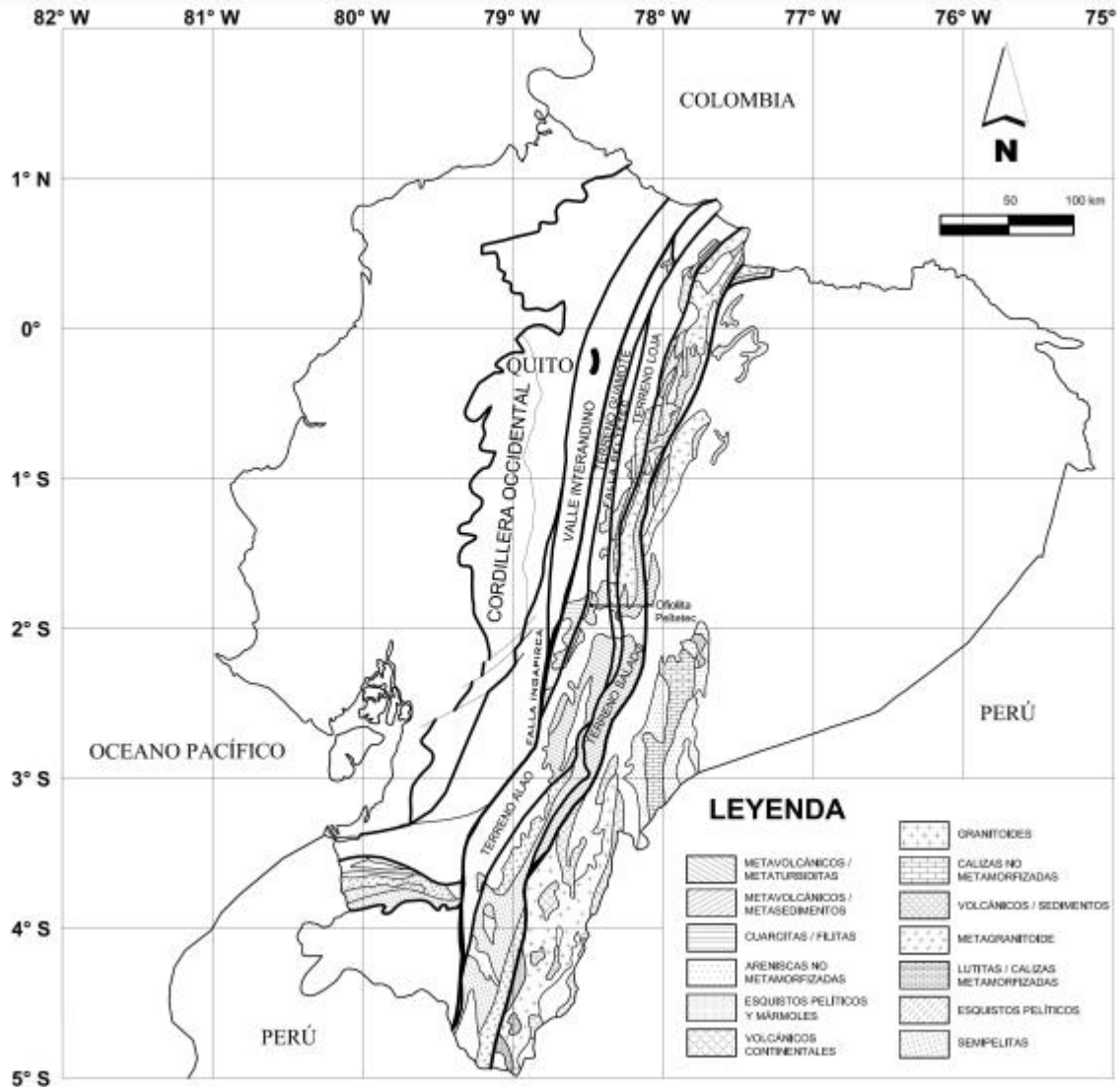


Figura 2-5 Mapa geológico simplificado de la Cordillera Real. Modificado de (Litherland, Aspen, & Jamielita, 1994).

2.2.1 Geología Cordillera Real

La Cordillera está constituida por cinturones sublineares alargados de rocas metamórficas del Paleozoico-Cretácico inferior, afectadas por una serie de eventos tectónicos y magmáticos suscitados desde el Mesozoico hasta el Cuaternario, y que se encuentran orientadas en dirección NNE-SSW que corresponden a terrenos de naturaleza alóctona y autóctona. (Litherland, Aspen, & Jamielita, 1994).

Las rocas que conforman La Cordillera Real han sido subdivididas en cinco unidades, las mismas que se encuentran separadas por importantes fallas regionales. Las unidades de oeste a este son: Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora, y los límites entre unidades son las siguientes fallas tectónicas: Cosanga-Méndez, Llanganates, Baños y Peltetec.

2.2.1.1. Unidad Guamote

Compuesta por una sucesión marina clástica de margen pasivo con presencia de cuarcitas, líticos sedimentarios, líticos volcánicos, chert y turmalina de origen continental de posible período Jurásico-Cretácico Temprano (Litherland, Aspen, & Jamielita, 1994)

2.2.1.2. Unidad Alao

Esta unidad está constituida por una compleja agrupación de rocas de arco de islas formadas por el fenómeno de subducción con una cuenca metasedimentaria tras arco denominada El Pan, un arco de islas generado por rocas andesíticas y basálticas pertenecientes a la unidad de Alao-Paute, una cuenca de ante arco conocida como unidad Maguazo y con un melange ofiolítico que es la unidad de Peltetec. (Litherland, Aspen, & Jamielita, 1994)

2.2.1.3. Unidad Loja

Tiene forma de una franja alargada, su origen es metamórfico y se extiende a lo largo de toda la Cordillera Real. Caracterizada por la agrupación de metasedimentos semipelíticos de la unidad Chingüinda-Agoyán y los granitoides del Triásico de la unidad Tres Lagunas. (Litherland, Aspen, & Jamielita, 1994)

2.2.1.4. Unidad Salado

La unidad del Salado es una cuenca originada sobre la corteza continental y está constituida por el relicto de la cuenca mencionada. Su formación está basada en metasedimentos y metandesitas, de origen volcánico y calcoalcalina respectivamente (Litherland, Aspen, & Jamielita, 1994).

2.2.2 Geología Cordillera Occidental

La Cordillera Occidental está compuesto por dos bloques alóctonos y tuvo origen a partir de la formación Pallatanga y la unidad San Juan, su basamento volcánico y volcanoclástico está constituido de rocas ultramáfica y máficas con afinidades geoquímicas de plateau oceánico (Vallejo, Winkler, Spikings, & Luzieux, 2007).

2.2.1.5. Bloque Pallatanga

El Bloque Pallatanga surge a lo largo del borde este de la Cordillera Occidental y se encuentra separado del margen continental por un sector de sutura deformada conocida como Zona de falla de Pujilí. Está constituida por un basamento máfico (Unidades de Pallatanga y San Juan) cubierto por rocas volcánicas y sedimentarias. La Falla Calacalí-Pujilí marca el borde occidental del Bloque de Pallatanga, la cual abarca una zona de melange llamada como Melange de Pujilí. La estratigrafía de estas secuencias es compleja debido a la alta actividad tectónica que afecta a las rocas, lo que ha derivado en que las unidades en su mayoría se encuentren separadas entre sí por fallas sentido N-S. (Vallejo, Winkler, Spikings, & Luzieux, 2007)

2.2.1.6. Unidad Pallatanga

La Unidad Pallatanga se presenta como bloques tectónicos especialmente al borde este de la Cordillera Occidental y contiene basaltos, doleritas, pillow lavas, con afinidades geoquímicas de plateau oceánico y posiblemente formaron parte del Plateau Oceánico Caribe. (Vallejo, Winkler, Spikings, & Luzieux, 2007).

2.2.1.7. Unidad San Juan

La unidad San Juan ha sido considerada como la raíz ultramáfica de la Unidad Pallatanga y por ende los cumulos máficos gabroicos y ultramáficos que la componen tienen afinidad química con la misma. Aflora como bloques tectónicos al suroccidente de Quito, orientados en dirección NNE. (Mamberti, y otros, 2003)

2.2.3 Geología Valle Interandino

En el Ecuador el Valle Interandino, es una depresión tectónica- geomorfológica de 25km de ancho y 300 km de largo, ubicada entre la Cordillera Real y la Cordillera Occidental con direccionamiento N-S a NNE-SSW y que se extiende entre el sector de Alausí hasta el sector del Chota (Winkler, Villagomez, Spikings, Abegglen, & Eguez, 2005)

La cuenca del Valle Interandino es caracterizada por ser de la edad Pliocena a Cuaternaria que yace sobre depósitos de una proto cuenca de edad Miocena Superior a Pliocena. Al sur del Valle Interandino los sedimentos afloran en una cuenca compresiva, controlada por fallas inversas y deformada en su centro por flexuras y pliegues compresivas activos desde la edad del Mioceno (Lavenu, 2006).

El Valle Interandino está conformado por (Figura 2.4): El segmento Norte (Otavalo-Chota), El segmento Central (Quito-Guayllabamba), El segmento Sur (Latacunga-Riobamba) que se encuentran separados por dos importantes nudos: Nudo norte, constituido por los volcanes Mojanda y Cusin; Nudo sur por los volcanes Rumiñahui, Pasochoa, Cotopaxi e Illiniza (Villagómez Díaz, 2003).

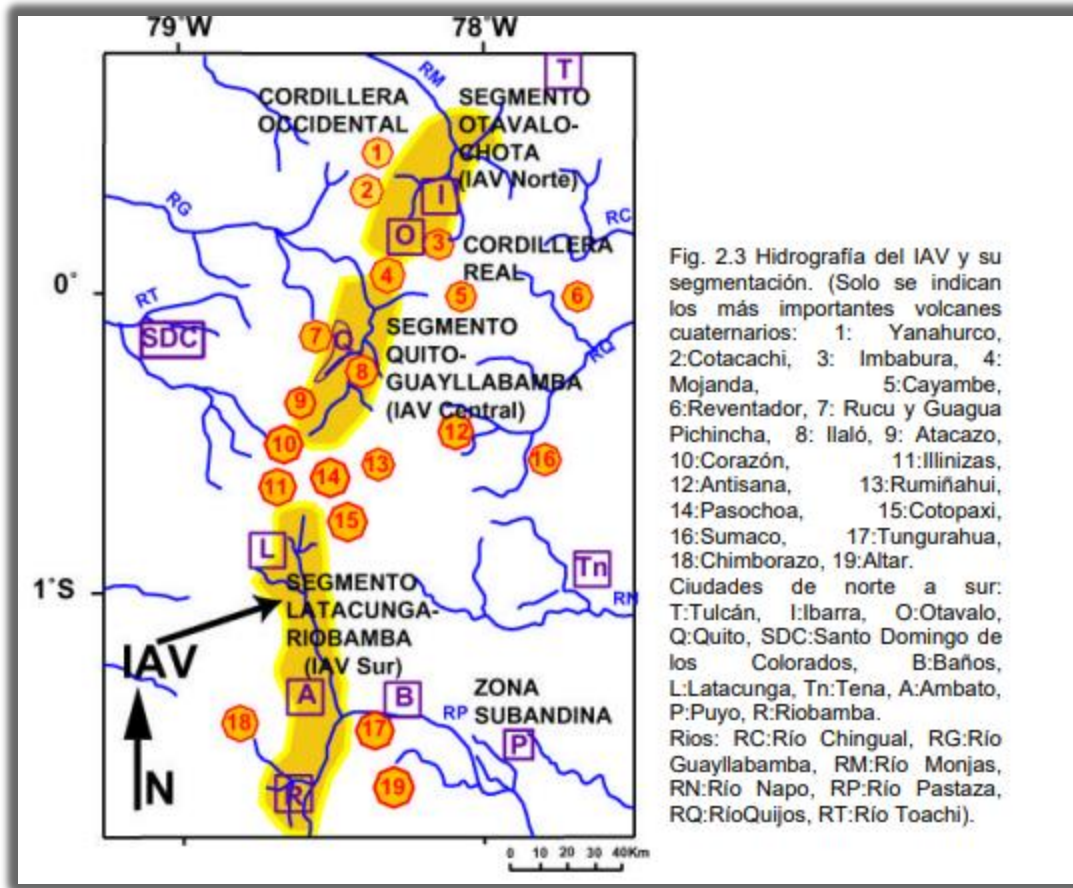


Figura 2-6 Segmentación del Valle Interandino tomado de (Villagómez Díaz, 2003).

2.3 Vulcanismo

Ecuador forma parte de la zona volcánica norte la misma que hace referencia a los Andes septentrionales y está constituida por la cordillera Real, cordillera Occidental y el Valle Interandino. A partir del Plioceno las cordilleras y el valle Interandino han sido caracterizados por la formación de un gran número de estratovolcanes. (Hall, Samaniego, Le Penne, & Jonhson, 2008)

En Ecuador continental existen un total de 68 volcanes Plio-cuaternarios, que están divididos en extintos, potencialmente activo, activos y en erupción. Cincuenta se consideran extintos y 18 activos durante el Holoceno. (Vargas, 2011)

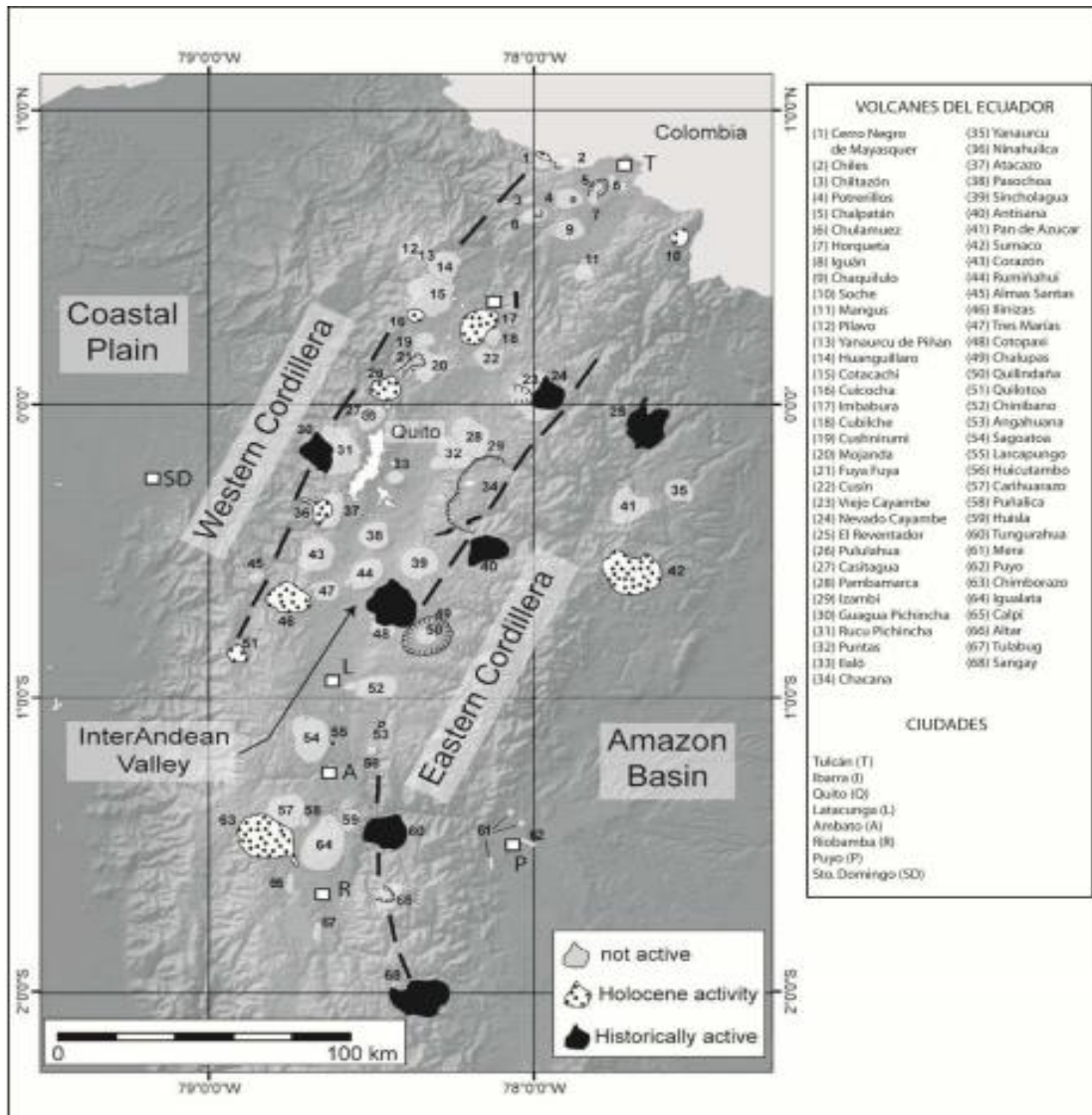


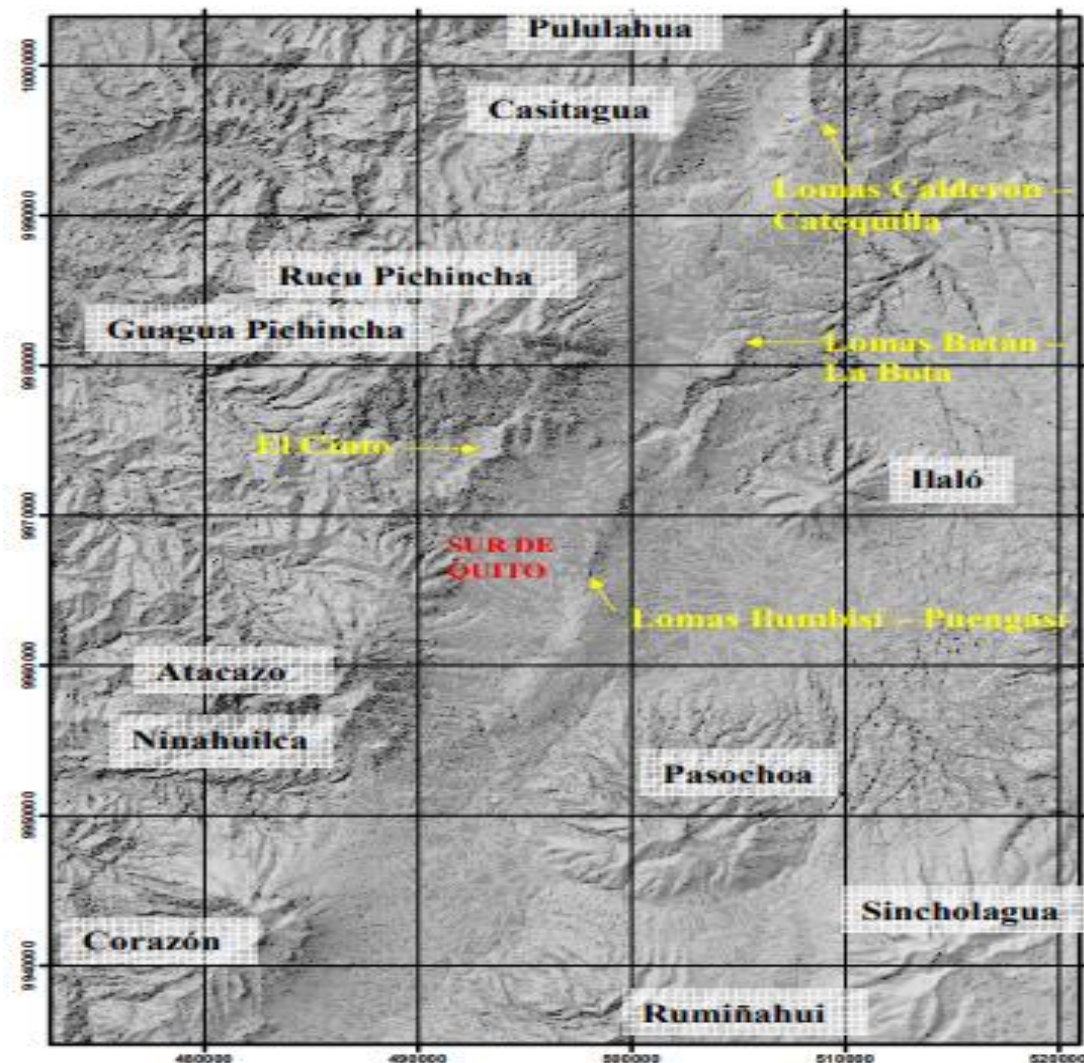
Figura 2-7 Distribución de volcanes continentales en Ecuador. Modificado de (Hall, Samaniego, Le Pennec, & Jonhson, 2008)

Los volcanes de estudio son los que poseen influencia directa en la formación de los sedimentos en la zona de interés y concierne únicamente al complejo volcánico Pichincha y al complejo volcánico Atacazo-Ninahuilca.

2.3.1 Complejo volcánico Pichincha

El complejo volcánico Pichincha se encuentra en la cordillera Occidental, en la provincia de Pichincha, ubicado al oeste de Quito. Está constituido por dos estratovolcanes parcialmente sobrepuestos que son el Rucu Pichincha y Guagua Pichincha y por un edificio basal denominado El Cinto. (Samaniego, y otros, 2006; Geotérmica Italiana, 1989)

El edificio basal está conformado por flujos de lava andesítica a dacítica, los depósitos del Rucu Pichincha son principalmente flujos de lava andesítica y anfíbol, interestratificados con brechas y depósitos piroclásticos de caída, de flujo y lahares. (Samaniego, y otros, 2006)

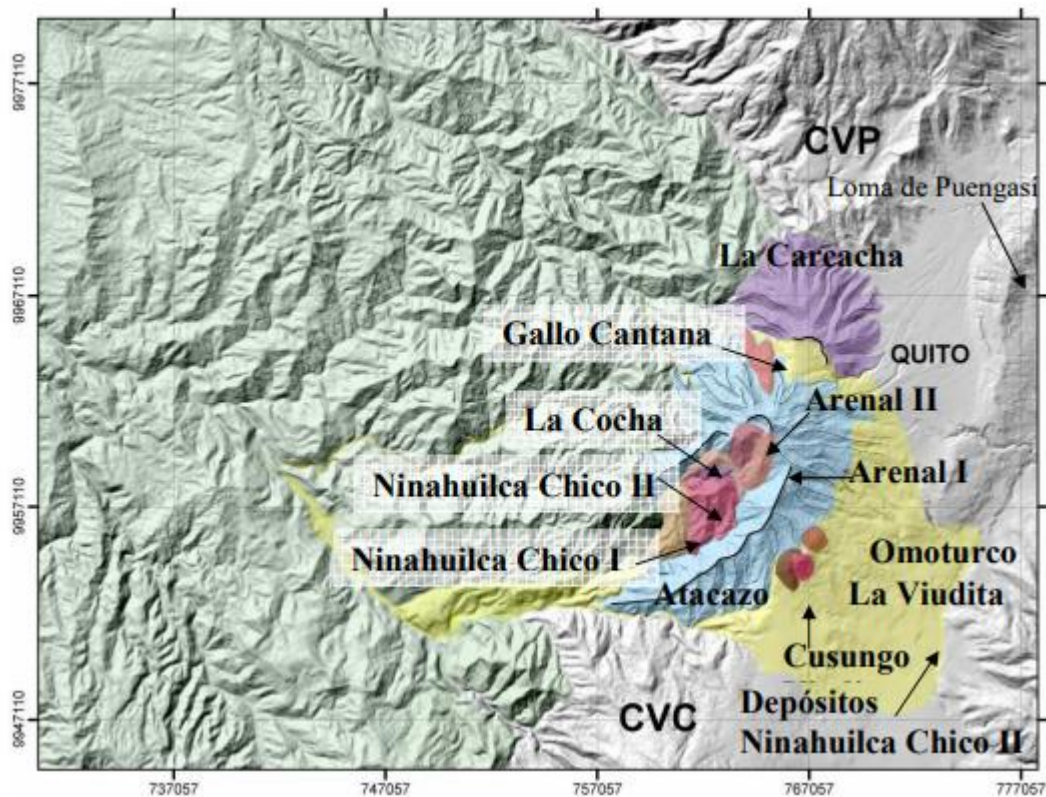


**Figura 2-8 Edificios volcánicos situados sobre el Valle Interandino y Cordillera Occidental.
Tomado de (Peñañiel Aguiar L. , 2009)**

2.3.2 Complejo volcánico Atacazo-Ninahuilca

El complejo volcánico Atacazo-Ninahuilca se encuentra en la cordillera occidental entre los complejos volcánicos de Pichincha al norte y el Corazón al sur, en la provincia de Pichincha al suroeste de la ciudad de Quito. Está constituido por tres edificios antiguos La Carcacha y El Atacazo y por domos internos (La Cocha, El Arenal I, El Arenal II, Ninahuilca Chico I, Ninahuilca Chico II). (Hidalgo, 2006)

El edificio la Carcacha se encuentra constituida por flujos de lavas andesíticas, el edificio Atacazo está conformado por lavas andesíticas de dos piroxenos intercaladas con material piroclástico y domos satelitales dacíticos (Omoturco, Cusungo, La Viudita y Gallo Cantana).



**Figura 2-9 Edificios volcánicos que forman el complejo Volcánico Atazaco – Ninahuilca.
Modificado de (Hidalgo, 2006)**

2.4 Descripción geológica Local

2.4.1 Geología del Valle Interandino Central (Distrito Metropolitano)

El Valle Interandino Central se encuentra limitado por fallas fundamentales de las cordilleras, al este por la falla Peltetec y al oeste por la falla Calacalí-Pallatanga. El sistema de fallas activas inversas de Quito, constituido por la Falla Catequilla (CF), por la Falla Botadero (BF) y Falla de Quito (QF), es la propiedad geológica más prominente del Valle Interandino Central por haber desempeñado un rol esencial en la evolución tectónica de la región. (Villagómez , Egüez , Winkler , & Spikings , 2002)

El Valle Interandino Central es definida por un grupo de tres lomas que no se encuentran enlazadas, pero tienen una orientación en común, aproximadamente N a NNE. De Norte a Sur las lomas son las siguientes: Calderón-Catequilla (CCR). Batán- La Bota (BBR) e Ilumbisi-Puengasí (IPR), estas lomas dividen al Valle Interandino Central en tres subcuencas: Quito, San Antonio y Guayllabamba. (Villagómez Díaz, 2003)

Del grupo de lomas la más notable es la depresión Guayllabamba, que es una semi cuenca de pull apart formada a finales del Pleistoceno como producto de la interacción de las fallas que conforman el Sistema de fallas activas inversas de Quito. La subcuenca de San Antonio concierne al valle entre el Casitagua y la loma de Calderón-Catequilla y se extiende desde Pomasqui hasta San Antonio de Pichincha, que se encuentran a menor altitud topográficamente de Quito. La subcuenca de Quito descansa sobre un segmento del Sistema de fallas de Quito (Falla de Quito: QF) y es una cuenca de piggyback que corresponde al valle formado entre la Cordillera Occidental, La loma Batán-La Bota e Ilumbisi-Puengasí. (Villagómez Díaz, 2003)

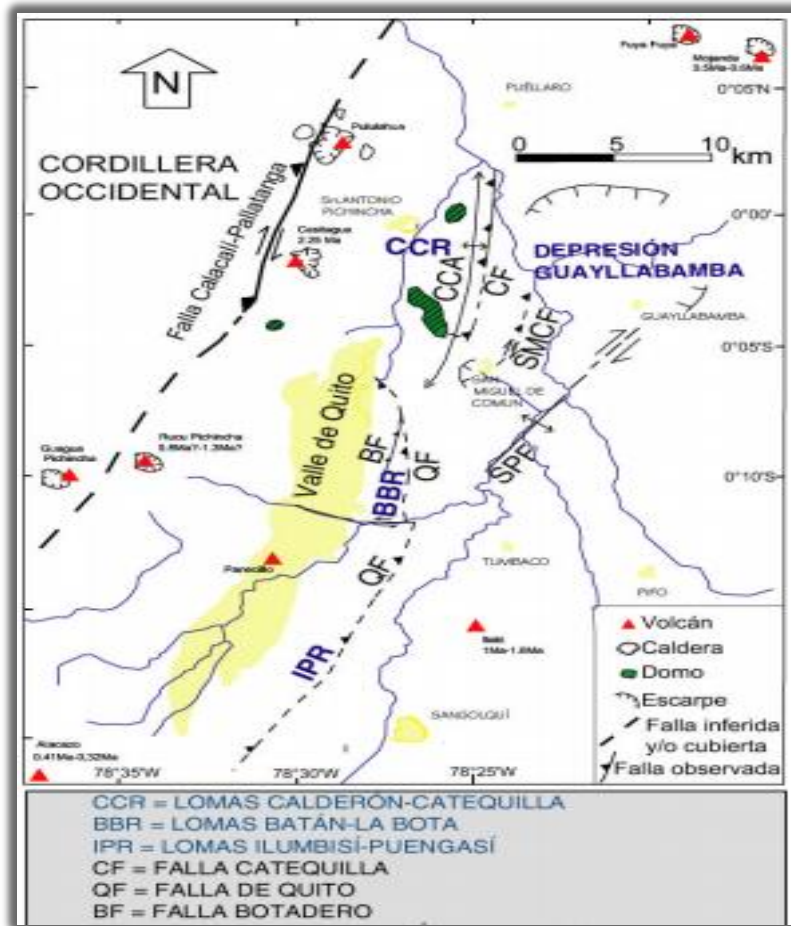


Figura 2-10 Esquema tectónico actual simplificado del Valle Interandino Central tomado de (Villagómez Díaz, 2003).

2.4.2 Geología cuenca de Quito

La cuenca Quito-San Antonio-Guayllabamba descansa sobre el basamento correspondiente a la Unidad Pallatanga del Cretácico Tardío y está formada por depósitos volcánicos y vulcanoclásticos. El relleno sedimentario de la cuenca está dividido en dos secuencias superior e inferior. La secuencia superior tuvo su origen desde el Pleistoceno Medio al Holoceno y está constituida por depósitos volcánicos primarios, flujos hiperconcentrados, lahares y depósitos fluviales correspondientes a las formaciones Guayllabamba, Chiche, Machángara, Mojanda y

Cangahua. Mientras que la secuencia inferior fue depositada desde el Plioceno Tardío al Pleistoceno Temprano está formada por tobas, lavas, lahares, sedimentos deltaicos, lacustres, aluviales y fluviales, que corresponden a las formaciones de Pisque y San Miguel. (Villagómez Díaz, 2003)

El origen de la cuenca de Quito está directamente relacionado con la actividad del sistema de fallas inversas de Quito, es una depresión topográfica de treinta kilómetros de longitud y cinco kilómetros aproximadamente de ancho. Se divide en las subcuencas centro-norte y sur, las mismas que están separadas por el río Machángara y el domo El Panecillo (Villagómez Díaz, 2003; Alvarado , 1996).

La cuenca de Quito se formó desde el Pleistoceno medio y está constituida por material de origen volcánico, el mismo que ha sido agrupado dentro de las formaciones Machángara y Cangahua (Villagómez Díaz, 2003).

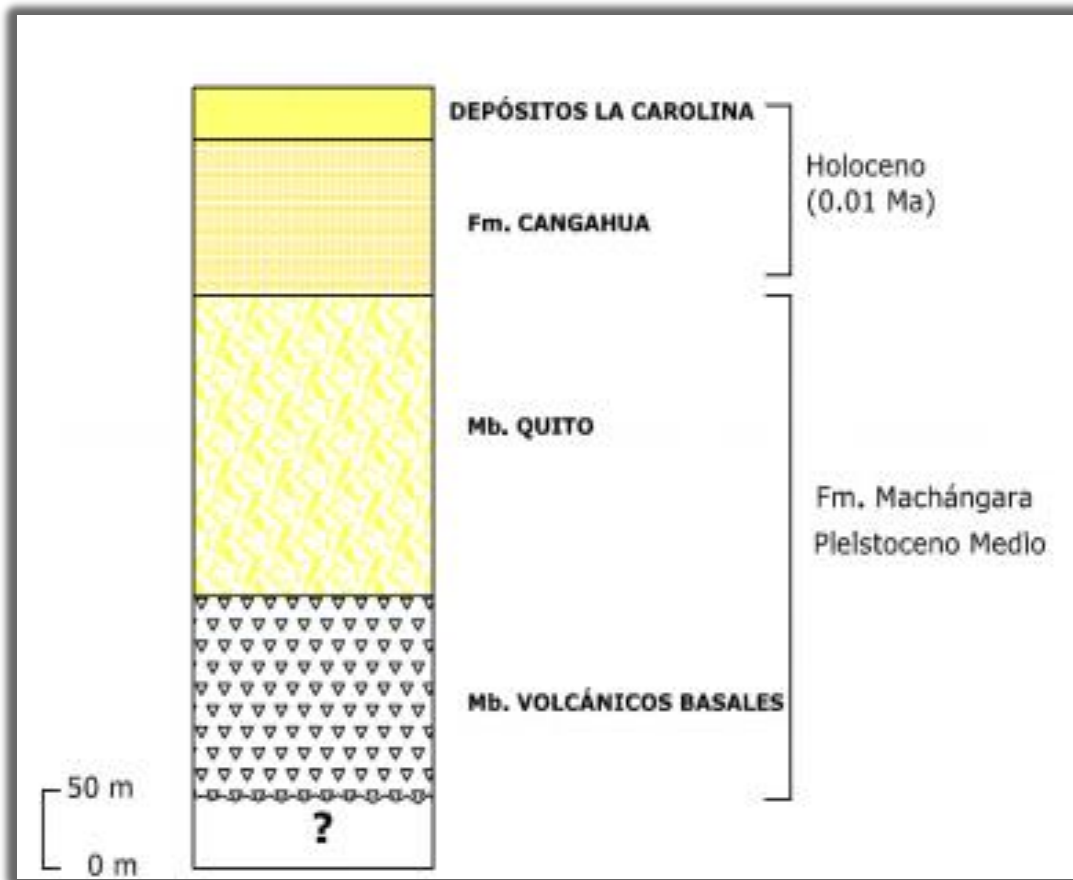


Figura 2-11 Columna estratigráfica generalizada del relleno de la cuenca de Quito. Tomado de (Peñañiel Aguiar L. A., 2009)

2.4.2.1. Formación Machángara

Esta formación se ha depositado exclusivamente en la cuenca de Quito y está subdividida en dos unidades o miembros: Volcánicos Basales y Quito.

Miembro Volcánico Basales

El miembro Volcánico Basales es un conjunto de volcánicos primarios que contienen depósitos de avalanchas de escombros, lavas de composición andesítica, flujos piroclásticos, caídas de pómez, cenizas y menormente se encuentra con la presencia de material retrabajado. Estos depósitos

proviene de los complejos volcánicos Pichincha y Atacazo-Ninahuilca; su espesor supera los 80 metros en el centro de la cuenca. (Alvarado , 1996).

■ Miembro Quito

El miembro Quito tiene aproximadamente un espesor que supera los 300 metros en el centro de la cuenca y consiste principalmente de tobas, que son depósitos volcánicos que contienen flujos de lodo intercalado con arena media a gruesa poco consolidadas con pómez. El miembro Quito presenta granoestrato decrecencia y variación de facies. El tamaño de grano de los sedimentos en dirección oeste es grueso, mientras que en el este los depósitos son finos. Al sur están presentes depósitos de flujo y lahares proximales y al norte distales (Alvarado , 1996).

2.4.2.2. Formación Cangahua

La formación Cangahua es de espesor variable (entre 14 y 40 metros), se encuentra considerablemente distribuida en la cuenca de Quito y en depresiones, valles y planicies como Oyacoto, Llano Grande y Tumbaco. Está formada principalmente de depósitos de ceniza, polvo volcánico de naturaleza piroclástica y constituida por tobas intercaladas con caídas de ceniza, pómez, flujos de lodos y paleosuelos. La Cangahua tiene una textura limo-arenosa y se ha logrado identificar dos clases: cangahua primaria que corresponde al material in situ y la secundaria correspondiente a un material retrabajado (Villagómez Díaz, 2003).

2.4.2.3. Depósitos La Carolina

La secuencia holocénica de espesor variable entre 14 y 20 metros depositada en la cuenca de Quito en ambientes fluviales, lacustres y palustres se ha denominado Depósitos La Carolina y está formada por paquetes de sedimentos de arcilla, limo y arena intercalados con caídas de ceniza y pómez (Alvarado , 1996).

2.4.3 Geología subcuenca del sur de Quito

La subcuenca de la sur de Quito tiene un área de aproximadamente 127.7 kilómetros cuadrados. Está limitada al norte por el río Machángara y por el domo El Panecillo, al sur por la quebrada Saguanchi, al Oeste por el complejo volcánico Atacazo-Ninahuilca y al este por la Loma de Puengasí (Peñañiel Aguiar L. A., 2009) y está constituido por dos formaciones geológicas: Formación Machángara y Formación Cangahua.

La formación Cangagua corresponde a depósitos de conos aluviales que se desprenden de las estribaciones orientales del Complejo Volcánico Pichincha, coluviales de hasta 5 metros de espesor, formados por bloques de andesitas, dacita y pómez dentro de la matriz limo arenosa color marrón provenientes de los flancos de los complejos volcánicos Pichincha y Atacazo-Ninahuilca. (Avilés Ponce , 2013)

La formación Machángara se conforma por el Miembro Volcánico Basal y el Miembro Quito. El Miembro Basal está formado por La Unidad Volcánica Atacazo – Ninahuilca, La Unidad Volcánica Pichincha y por los Volcánicos Indiferenciados que constituyen el basamento de la subcuenca del sur de Quito (Unidad Basamento). El Miembro Quito se encuentra formado por la Unidad Fluvio-Lacustre El Pintado y La Unidad Vulcano sedimentaria Guamaní. (Avilés Ponce , 2013)

Considerando su origen, ambientes de deposición, aportes y distribución espacial se logró agrupar a la subcuenca del sur de Quito en tres unidades litológicas correlacionadas con depósitos definidos por (Alvarado , 1996) y (Villagómez Díaz, 2003): Unidad de Basamento, Unidad Vulcano sedimentaria Guamaní y Unidad Fluvio-Lacustre El Pintado.













CUATERNARIO		FORMACIÓN		SIMB	DESCRIPCIÓN	
CUATERNARIO	HOLOCENO	FORMACIÓN CANGAHUA			Cangahua	
					Coluviales	
	PLEISTOCENO SUPERIOR	FORMACIÓN MACHÁNGARA	Mb. Quito	U. Fluvio-Lacustre El Pintado		Turbas, paleosuelos y tobas
						Niveles de arcilla verde y cenizas
						Brechas, arcillas y areniscas finas
						Cenizas y oleadas piroclásticas
						Flujo piroclástico "block and ash"
			Mb. Volcánicos Basales	U. Volcanosedimentaria Guamaní		Toba blanca
						Flujos de lodo proximales y distales
						Avalanchas de escombros
						Brecha volcánica soldada
						Flujo de lavas andesítica

Figura 2-12 Columna estratigráfica de la subcuenca del sur de Quito. Tomado de (Peñafiel Aguiar L. A., 2009)

2.4.3.2. Unidad de Basamento

La Unidad de Basamento está formada por avalanchas de escombros, flujos de lava de composición andesítica, brechas volcánicas y flujos de lodo provenientes de los complejos volcánicos Atacazo- Ninahuilca y Pichincha.

La Unidad Basamento tiene una edad probable de Pleistoceno medio y forma parte del miembro Volcánicos Basales de la formación Machángara, los cuales componen el basamento volcánico pleistocénico del sur de Quito (Villagómez Díaz, 2003).

 Unidad volcánica Atacazo-Ninahuilca

En la zona de intereses se encuentran presentes en los sectores de la Ecuatoriana y Guamaní. “Corresponden a lavas andesíticas de coloración gris plomizas de grano grueso a fino, porfiríticas, y masivas, se presentan en forma de lava en los flancos orientales del Complejo Volcánico Atacazo”. (Avilés Ponce , 2013)

Unidad Volcánica Pichincha

Esta unidad tiene un espesor de aproximadamente 80 metros en el centro de la subcuenca sur y se conforma de rocas andesíticas masivas y en forma de mantos, de color gris claro, con cristales de hornblenda, plagioclasas y magnetita diseminada. Incluyen lavas, brechas, flujos piroclásticos, lahares, caracterizados por ser heterogéneos, de textura muy gruesa los que han sido productos de procesos eruptivos de los volcanes Guagua y Rucu Pichincha. (Avilés Ponce , 2013)

Volcánicos Indiferenciados

“Corresponden a esta unidad depósitos de lodo semi consolidados y flujos piroclásticos no diferenciables, que podrían pertenecer tanto a los productos volcánicos del Atacazo como del Complejo Pichincha, así como cenizas, pómez y lapilli”. (Avilés Ponce , 2013)

2.4.3.3. Unidad Vulcano sedimentaria Guamaní

La Unidad Vulcano sedimentaria Guamaní ha sido considerada como parte del miembro Quito de la formación Machángara. Está formada por depósitos volcánicos primarios que incluyen flujos piroclásticos, caídas de pómez y ceniza. Esta unidad sobre yace en discordancia erosiva a rocas de la Unidad de Basamento y su depósito es altamente poroso y de baja densidad, y contiene fracturas rellenas de óxidos y líticos andesíticos (Peñafiel Aguiar L. A., 2009).

2.4.3.4. Unidad Fluvio-Lacustre El Pintado

La unidad Fluvio-Lacustre es parte del miembro Quito, de la formación Machángara y está constituida por brechas volcánicas intercaladas con estratos de areniscas finas y arcillas, de espesores que varían entre 0.30 y 1 metro. Probablemente fue depositada contemporáneamente con la Unidad Vulcano sedimentaria Guamaní y se encuentran en contacto transicional. El depocentro se encuentra al norte de la subcuenca del sur, en los sectores de El Pintado y La Villaflora, indicando que el ambiente lacustre se desarrolló principalmente en esta zona. (Peñañiel Aguiar L. , 2009)

Sobre este conjunto, se encuentra una sucesión de estratos de arena de apariencia verdosa y arcilla. Esta serie posee una gradación normal y líticos subredondeados, lo que nos muestra que ha sido acumulada en ambiente fluvial. En el techo de esta unidad se ha podido identificar una serie de tobas, paleosuelos y turbas que se sitúan por encima de los depósitos de arcilla y arena de color verde (Peñañiel Aguiar L. A., 2009).

2.4.4 Hidrogeología del sur de Quito.

El recurso hídrico subterráneo del sur de Quito está conformado por un acuitardo y dos niveles de acuíferos denominados como: Nivel Acuífero Superior y Nivel Acuífero Inferior. (Peñañiel Aguiar L. A., 2009)

2.4.4.1 Acuitardo

Un acuitardo es una formación geológica que contiene agua en cantidades significativas y que permite que circule a través de ella con dificultad. El acuitardo para toda la zona de interés corresponde principalmente a los depósitos de arena y tobas de la formación Cangagua y su descarga acontece hacia el río Machángara. (EMAAP-Q, 2006)

2.4.4.2 Nivel Acuífero Superior

Un acuífero es una formación geológica que contiene agua en cantidades representativas y que permite que circule a través de ella con facilidad.

El Nivel de Acuífero Superior es un acuífero multicapa semiconfinado conformado por arena y grava que corresponde a depósitos heterogéneos de las unidades Vulcanosedimentaria Guamaní y Fluvio-Lacustre El Pintado. Este acuífero se subdivide en dos subsectores caracterizados por distintas litologías. (Peñañiel Aguiar L. , 2009; Avilés Ponce , 2013)

██████████ Yacimiento Guamaní

El yacimiento Guamaní tiene un área de tránsito de 37.09 km² y un área de recarga de 43.53 km², provenientes de los flancos occidentales del Complejo Volcánico Atacazo – Ninahuilca.

██████████ Yacimiento el Pintado

Se ubica en el sector del Pintado, posee un área de circulación de 12.09 km² con una recarga de 15.57 km² y está conformado por un estrato superior semipermeable que corresponde a depósitos de tobas de espesor de entre 5 a 15 metros y de un depósito de sedimentos lacustres compuestos por secuencias intercaladas de arcillas, limos turbas y arenas de espesor de entre 1 a 10 metros.

Las zonas de recarga corresponden a los flancos occidentales del Complejo Volcánico Pichincha, mientras que la de tránsito se ubica en el sector El Pintado. (Avilés Ponce , 2013)

2.4.4.3 Nivel Acuífero Inferior

El Nivel Acuífero Inferior es semiconfinado y corresponde con depósitos de avalancha de escombros de la Unidad Basamento perteneciente al Miembro Volcánico Basales. El estrato confinante de este nivel corresponde con depósitos de flujos de lodo. (Peñañiel Aguiar L. , 2009)

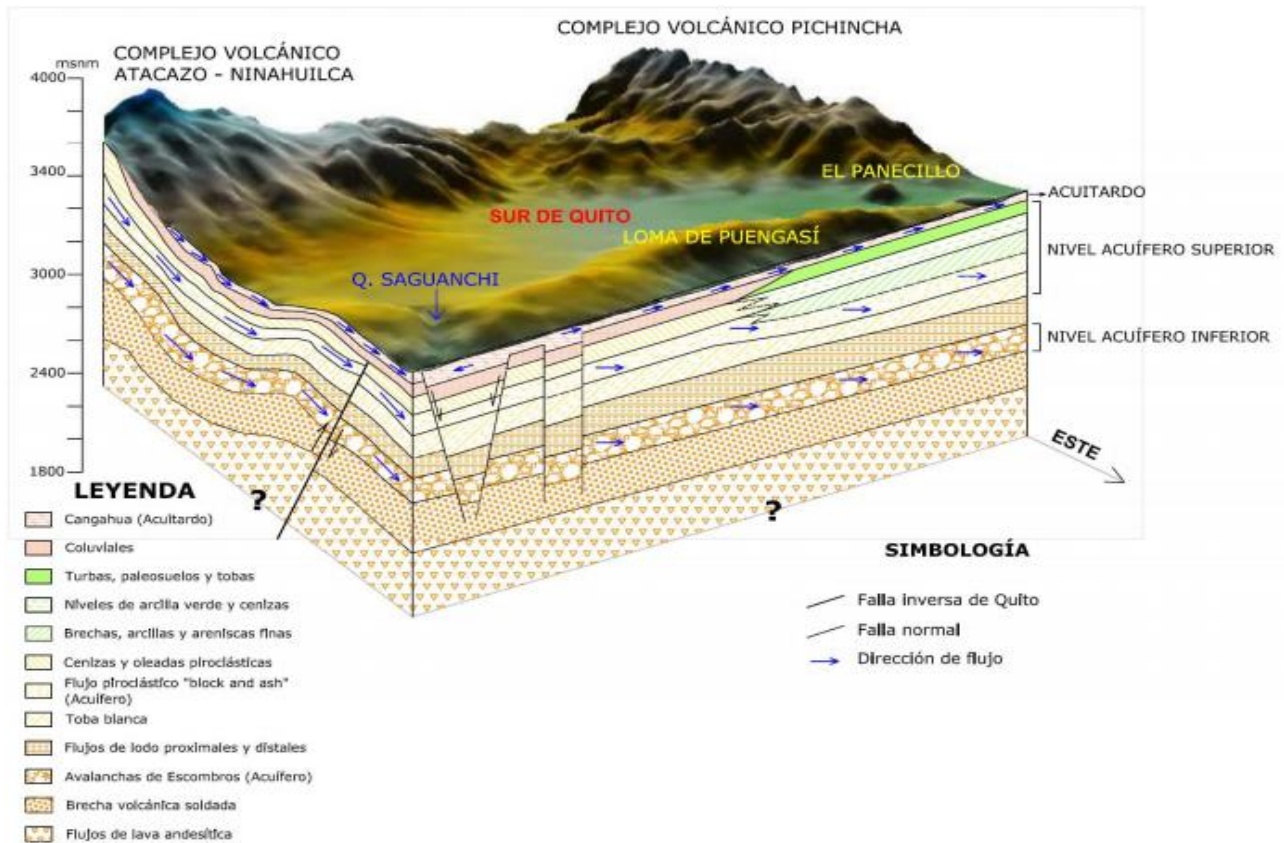


Figura 2-13 Modelo hidrogeológico conceptual de la subcuenca del sur de Quito. Tomado de (Peñañiel Aguiar L. , 2009)

3. Capítulo 3

MARCO TEÓRICO

3.1 Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas son ondas elásticas producidas por la introducción de una perturbación sísmica por fuentes naturales o por fuentes artificiales, que se propagan a través de la Tierra y su superficie. Pero, realmente, son las propiedades elásticas de las rocas las que permiten su propagación (Yilmaz, 2015).

Fundamentalmente se dividen en dos tipos: ondas corpóreas, las cuales se propagan en un medio elástico y las ondas superficiales que son las que recorren a lo largo de la parte más superficial de este medio. La energía elástica generalmente se divide en 33% ondas corpóreas y 67% en ondas superficiales (Everett, 2013).

3.1.1 Ondas Corpóreas

Son ondas elásticas cuyo medio de propagación es el interior de la Tierra y se clasifican en ondas compresivas o primarias (Ondas P) y ondas de cizalla o secundarias (Ondas S). (FUNVISIS, 2020)

3.1.1.1 Onda Primaria

También conocida como onda P o compresiva, es la primera onda y la más rápida respecto a otros tipos de ondas sísmicas que viaja desde el lugar del evento sísmico hasta el lugar de detección a través de sólidos, líquidos y gases. El movimiento de esta onda consiste en un tren de compresiones y dilataciones del material a través del cual viajan paralelo al sentido de la propagación de esta (FUNVISIS, 2020).

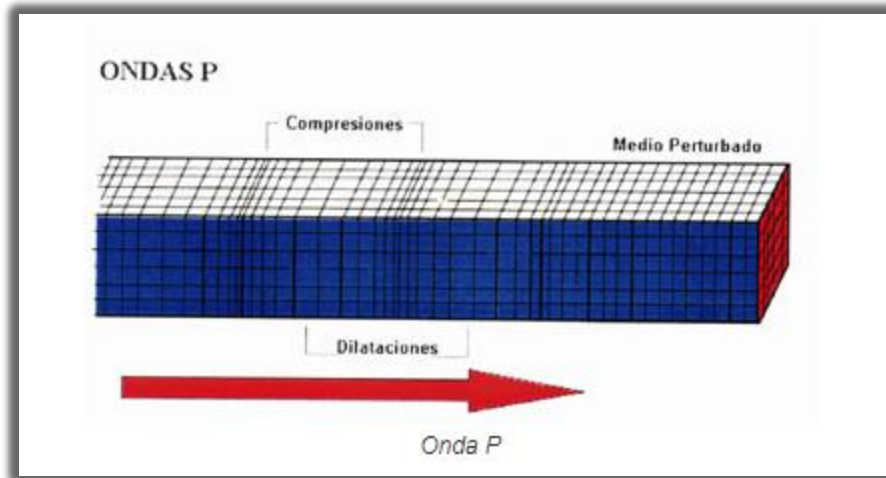


Figura 3-1 Movimiento de la partícula asociado a la propagación de las ondas sísmicas P. Tomado de (FUNVISIS, 2020).

3.1.1.2. Onda Secundaria

También llamadas ondas de corte o de cizalla por el tipo de deformación que produce en los materiales tras su paso, consisten en vibraciones elásticas transversales a la dirección del recorrido, lo cual significa que el suelo/roca se deforma perpendicularmente a la dirección de propagación. Debido a que los líquidos no pueden resistir esfuerzos cortantes las ondas secundarias únicamente pueden viajar a través de sólidos (FUNVISIS, 2020).

La aproximación y estimación de la velocidad de onda de corte del subsuelo es de especial importancia en la evaluación de riesgo sísmico, estudios de ingeniería geotécnica e ingeniería geoambiental (Dal Moro, 2015).

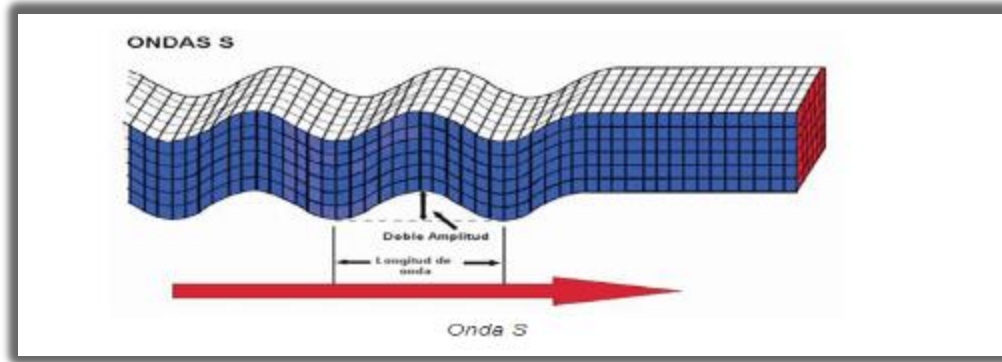


Figura 3-2 Movimiento de la partícula asociado a la propagación de las ondas sísmicas P.
Tomado de (FUNVISIS, 2020).

3.1.2 Ondas Superficiales

Son ondas que resultan de la interferencia de ondas P y/o ondas S y como su nombre lo indica, se desplazan por una porción poco profunda o superficial de la Tierra, cuya profundidad depende de la longitud de onda. Pueden ser generadas por fuentes artificiales (ruido ambiental, contaminación sónica, tráfico, etc.) o naturales (sismos, oleaje, viento, etc.) y tienen una velocidad menor a la de las ondas de cuerpo y por ende su amplitud es mayor a estas. (Dal Moro, 2015).

Las ondas superficiales se caracterizan por tener una propiedad dispersiva que se basa en que a diferentes longitudes de onda tienen diferentes profundidades de penetración y por ende se propagan con velocidades diferentes. Existen cuatro tipos de ondas superficiales: Rayleigh, Love, Schotle y Stoneley. Sin embargo, la velocidad de las ondas Schotle ante la presencia de agua tiende a disminuir, mientras que las ondas Stoneley solamente se propagan en un medio sólido-sólido. Al representar el suelo como un medio trifásico; sólido, líquido, gas, las ondas Schotle y Stoneley no tienen mayor aporte en estudios geotécnicos, es por esto por lo que las ondas Rayleigh y Love son las ondas superficiales fundamentales.

3.1.1.2. Ondas Love

Las ondas sísmicas superficiales Love se caracterizan por tener un movimiento de partícula exclusivamente horizontal de cizalla normal que oscila de manera ortogonal a la dirección de propagación. Resultan de la interacción de ondas S horizontales (SH) con una capa superficial, el movimiento de la partícula no posee componente vertical (Everett, 2013; Kramer, 1996).

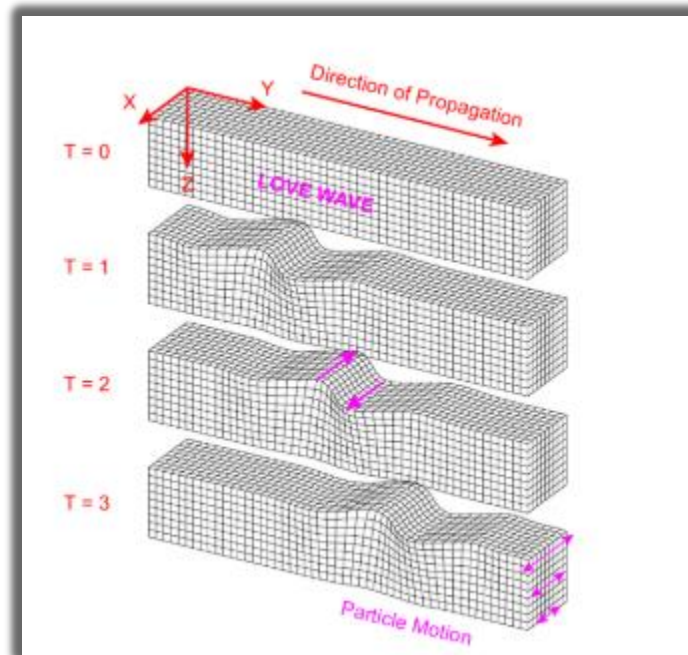


Figura 3-3 Movimiento asociado a la propagación de la onda superficial Love. Tomado de (Dal Moro, 2015).

3.1.1.3. Ondas Rayleigh

Ondas sísmicas superficiales generadas cuando una superficie libre existe sobre un cuerpo continuo. Estas ondas se caracterizan por tener gran amplitud que decrecen con la profundidad, bajas velocidades y frecuencias. Son producidas por la interacción de las ondas P y la componente vertical de las ondas S (SV) con la superficie de la Tierra, viajan en la misma dirección en la que se propaga, involucra el movimiento de las partículas tanto vertical como horizontal lo que da

origen al movimiento elíptico retrogrado que es resultado de superposición de las componentes vertical y horizontal, ocurre en un plano vertical que contiene la dirección de propagación. Presentan menor velocidad de propagación entre las ondas sísmicas (FUNVISIS, 2020; Kramer, 1996).

Las ondas Rayleigh tienen la mayor parte de la energía de las ondas sísmicas formadas y su amplitud es marcadamente mayor. Por lo que el rango de bajas frecuencias tiende a dominar los datos y por tanto en sísmica de refracción son catalogadas como fuente de ruido y son de gran utilidad para inferir propiedades elásticas cercanas a la superficie (Dal Moro, 2015).

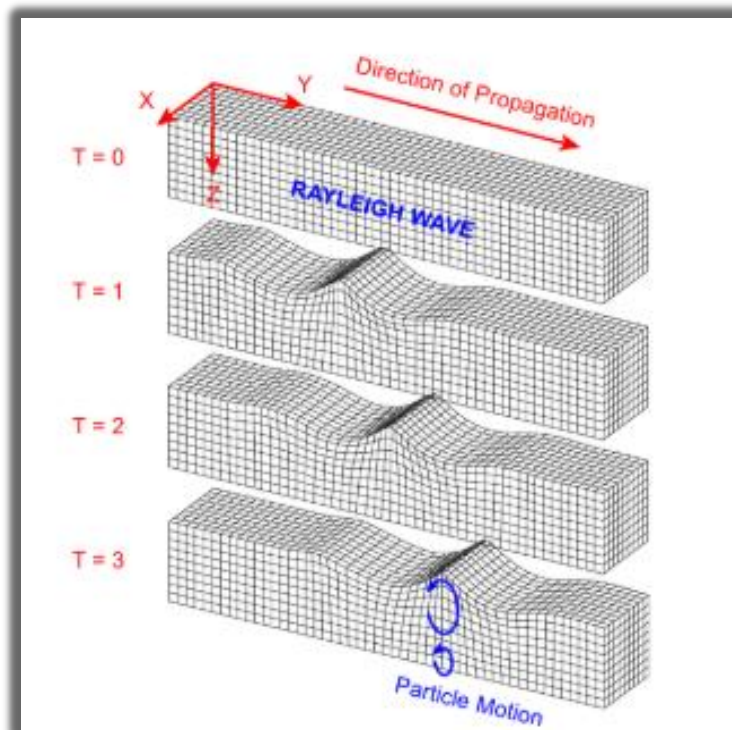
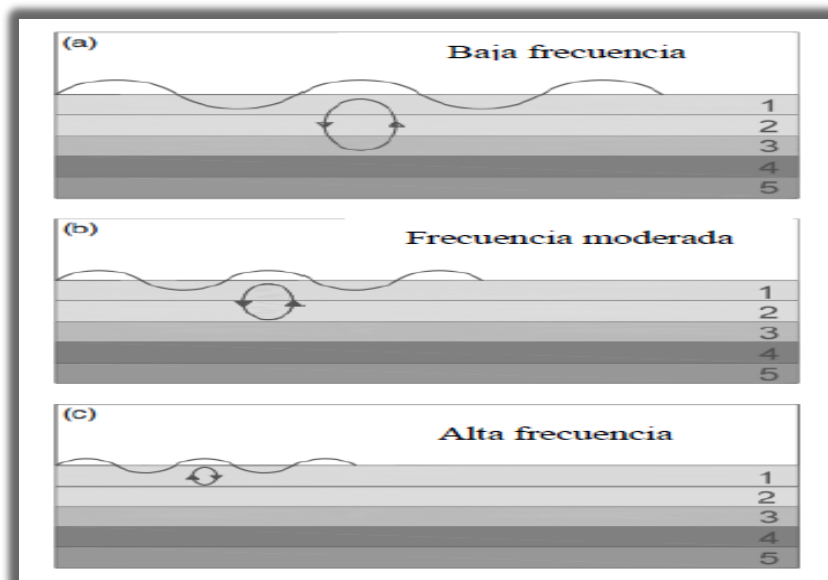


Figura 3-4 Movimiento asociado a la propagación de la onda superficial Rayleigh. Tomado de (Dal Moro, 2015)

3.2 Dispersión de Ondas Superficiales

En un medio heterogéneo existirá variaciones de velocidad debido a que cada modo de onda superficial posee una velocidad de fase única para cada longitud de onda. Esta característica única da como resultado que para ondas con longitudes largas (bajas frecuencias) se presenten velocidades de fases mayores y sean más sensibles a la identificación de las propiedades elásticas de las capas más profundas y, por el contrario, ondas con longitudes cortas (altas frecuencias) tengan la capacidad de identificar las propiedades elásticas de las capas más superficiales (Park, Miller, & Xia, 1999). Este fenómeno es conocido como dispersión y es representado por una curva en función de la velocidad de fase y la frecuencia cuya tendencia caracteriza el fenómeno dispersivo del subsuelo (Everett, 2013).



**Figura 3-5 Penetración de onda superficial dependiendo de la longitud y frecuencia.
Tomado de (Ólafsdóttir, 2014)**

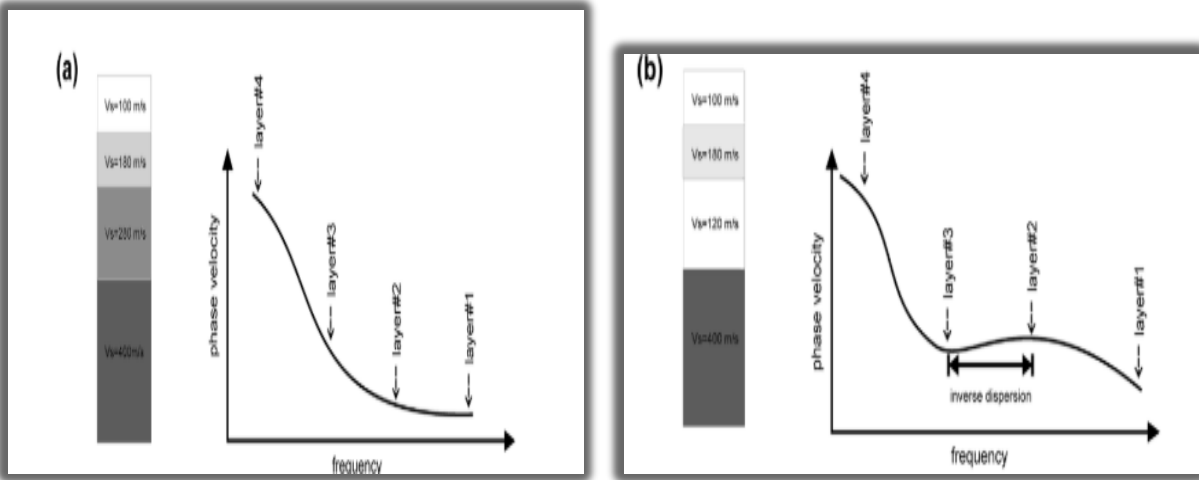


Figura 3-6 Representación de curvas de dispersión de dos modelos de subsuelo con diferente velocidad de fase: (a) dispersión normal y (b) dispersión inversa. Tomado de (Dal Moro, 2015).

3.3 Velocidad de fase

La velocidad de fase se refiere a la velocidad de propagación de las frecuencias individuales de un grupo de ondas o fase, de una posición fija de puntos con fase constante tal como un pico o valle de un grupo de ondas que se propaga a través de un medio, que difieren de la velocidad del paquete de ondas (velocidad de grupo) en un medio heterogéneo (Ólafsdóttir, 2014).

3.4 Velocidad de grupo

La velocidad de grupo de la onda es la velocidad para la cual el paquete de ondas se propaga a través del medio. La energía de las ondas puede agruparse para conformar una envolvente, la forma de la envolvente que encierra el grupo de energía de ondas cambia con la distancia debida a que las fases de ondas individuales se separan unas de otras (Schlumberger, 2020).

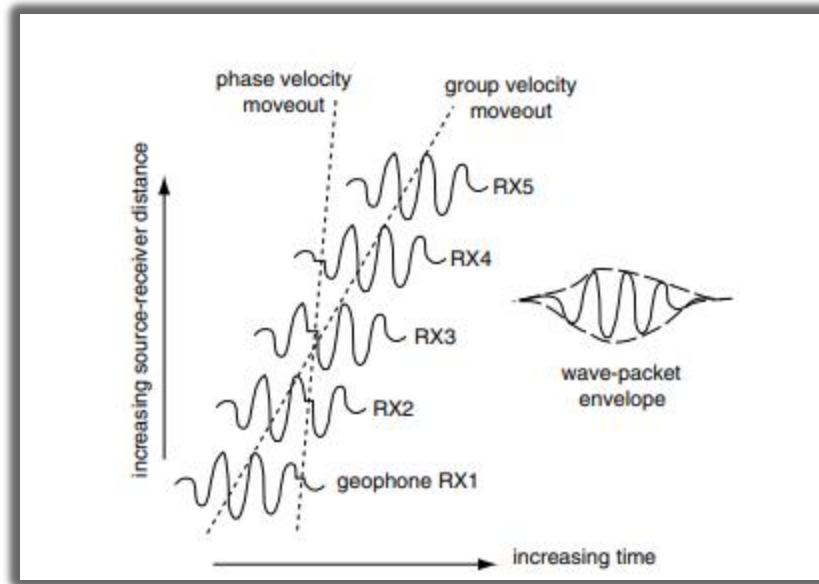


Figura 3-7 Comparación de velocidad de fase y grupo dentro de un grupo dispersivo de ondas. Tomado de (Everett, 2013).

3.5 Relación entre la velocidad de grupo y velocidad de fase.

A medida que una onda se propaga a través de un medio, su energía se mueve con la velocidad de grupo, mientras que las fases, o componentes, individuales se mueven con su velocidad de fase. A través del fenómeno de dispersión la onda cambia de forma con la distancia a medida que la componente de frecuencia, o longitud de onda, se mueve con su velocidad de fase independiente. Con respecto a la velocidad de grupo, cada componente se mueve con una velocidad de fase más rápida o lenta, dependiendo de cómo cambia la velocidad de fase con la longitud de onda o la frecuencia (Schlumberger, 2020).

3.6 Microzonificación Sísmica.

La microzonificación sísmica consiste en la identificación y caracterización de unidades geológicas y geotécnicas. Tiene por objeto obtener una aproximación del comportamiento

dinámico del suelo ante eventos sísmicos, y definir micro zonas generalmente de suelos cuya respuesta dinámica frente a sismos sea semejante, en términos del movimiento superficial que puede esperarse en cada clase de sitio, y la respuesta estructural de las edificaciones existentes y futuras (Aguiar Falconí, 2013).

3.7 Semi espacio

“Se define como aquella profundidad que no ejerce participación en la respuesta dinámica del sitio, cuyo contraste de impedancia es menor o igual que 0.5 ($\alpha \leq 0.5$)”. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)

3.8 Zonas de impedancia

“La impedancia representa el contraste que existe entre las propiedades del perfil de suelo y las del material que lo subyace” (Villarraga H, y otros). La impedancia se expresa como:

$$\alpha = \frac{\rho_s \times V_s}{\rho_o \times V_p}$$

Donde:

ρ_s : Densidad promedio del suelo que sobreyace al semi espacio.

V_s : Velocidad de onda cortante promedio del suelo que sobreyace al semi espacio.

ρ_o : Densidad del geomaterial del semi espacio

V_o : Velocidad de la onda cortante del geomaterial en el semi espacio.

Cuando la roca subyace un perfil de suelo se producen modificaciones al contenido frecuencial y a la amplificación o deamplificación en las aceleraciones del movimiento original, como consecuencia del efecto restrictivo al movimiento asociado a la masa del suelo. En este contexto

considerar el efecto de confinamiento del suelo resulta importante ya que es función del espesor del perfil considerado, de la impedancia y de la rigidez del suelo.

Particularmente hablando de la impedancia a medida que esta aumenta, la amplificación de las ondas sísmicas en el perfil de suelo será mayor. (Villarraga H, y otros)

3.9 Vs30

El parámetro Vs30 se define como el valor ponderado de la velocidad de onda de corte en los primeros 30 metros de profundidad, es un parámetro geotécnico considerado en la actualidad a nivel mundial para caracterizar la calidad del subsuelo superficial y por consiguiente, estimar los efectos de sitio a escala regional y global, permitiendo el diseño de criterios sismorresistentes ajustados a las características del sitio de estudio mediante normativas estandarizadas de ingeniería sísmica. (Borcherdt, 2012)

La velocidad media de la onda de corte, Vs30 se obtiene por medio de:

$$V_{S30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{S_i}}}$$

Dónde:

V_{si}: Velocidad media de la onda de corte del suelo del estrato i, media (m/s)

d_i: Espesor del estrato i, localizado dentro de los 30m superiores del perfil

$$\sum_{i=1}^n d_i = 30m$$

Dónde:

d_i : Espesor del estrato i , localizado dentro de los 30m superiores del perfil. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)

3.10 Métodos geofísicos-sísmicos

Los métodos sísmicos recolectan información con la cual se intenta extraer información acerca de la Tierra con el objeto de tener un mejor entendimiento acerca de la estructura del subsuelo y de la amplia variedad de los procesos geológicos que dan lugar a su evolución. (Everett, 2013)

La información que es recolectada en los levantamientos sísmicos se debe al movimiento del suelo causado por la generación de ondas mediante fuentes activas o pasivas, las cuales se propagan a través del subsuelo y son receptadas mediante geófonos. Los geófonos son dispositivos que utilizan acoplamiento electromecánico para convertir el movimiento del suelo en una salida transitoria de voltaje y poder medir los tiempos de llegada de las ondas en diferentes rangos de la fuente (Everett, 2013).

3.11 Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

El Análisis Multicanal de Ondas Superficiales o MASW (por sus siglas en inglés Multichannel Analysis of Surface Waves) es un método desarrollado por (Park, Miller, & Xia, 1999). Utiliza las propiedades dispersivas de las ondas superficiales con el propósito de determinar y generar perfiles de velocidad de onda de corte (V_s) 1D en función de la profundidad.

Fundamentalmente es un método de ingeniería sísmica que registra ondas superficiales en bajas frecuencias usando un sistema de registro multicanal con un arreglo lineal de receptores (geófonos) que se puede extender de unos pocos a cientos de metros de distancia, generalmente se encuentra dentro del rango de 2 a 200 metros (Park C. , Miller, Xia, & Ivanov, 2007).

El proceso completo de modelación con el método MASW consiste esencialmente de tres pasos: (1) Adquisición de registros multicanal en campo; (2) Extracción de curvas de dispersión para cada registro; (3) Inversión de curvas de dispersión para obtener perfiles 1D de velocidad de corte (V_s), un perfil para cada curva. (Park C. , Miller, Xia, & Ivanov, 2007).

Dependiendo de la naturaleza de la fuente sísmica, el método MASW se puede clasificar en activo o pasivo.

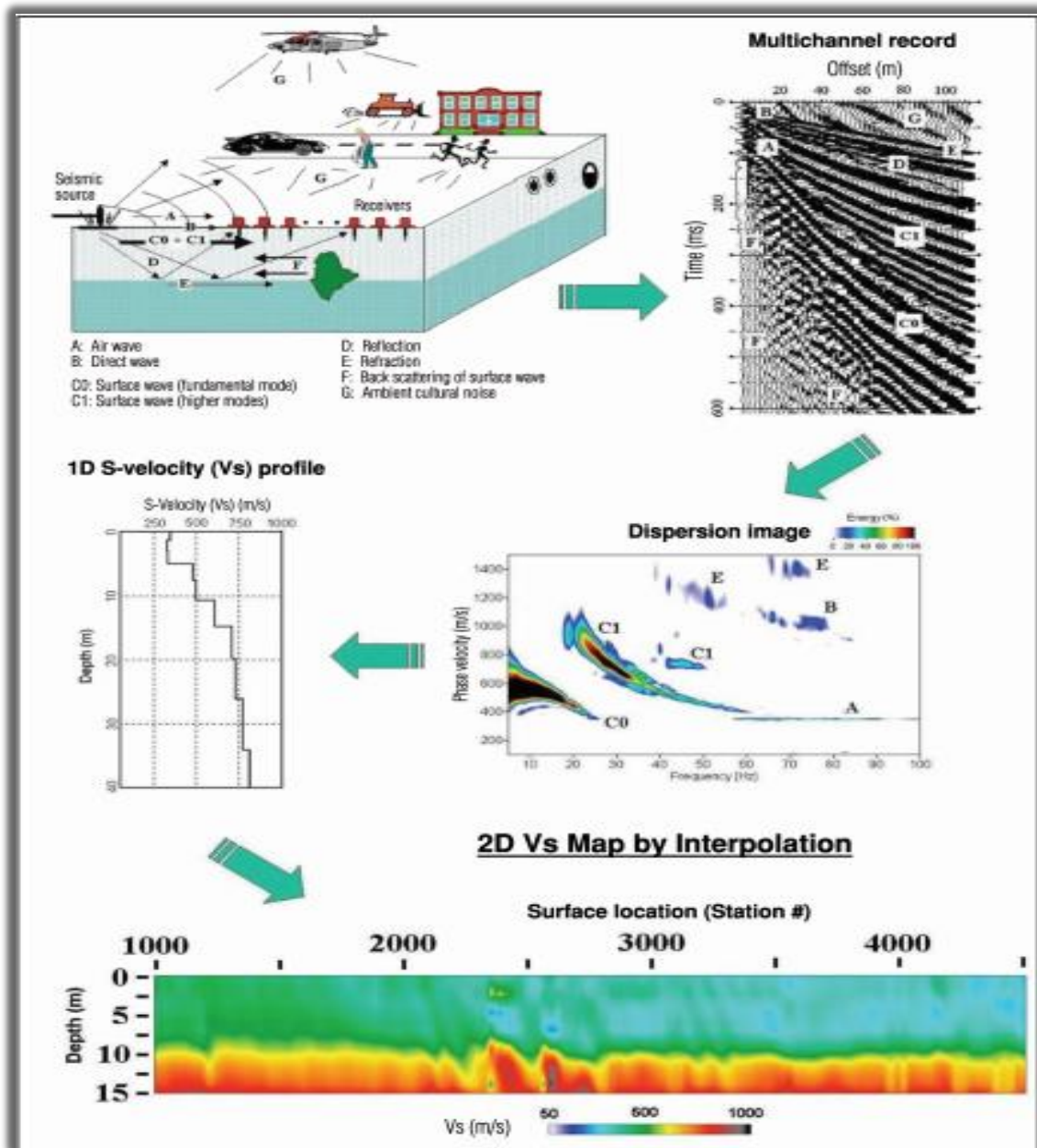


Figura 3-8 Ilustración del procedimiento completo y de la principal ventaja del método MASW. Tomado de (Park, Miller, & Xia, 1999).

3.11.1 Análisis Multicanal de Ondas Superficiales Pasivo

El método MASW pasivo utiliza una fuente sísmica generada por fuentes naturales y actividades humanas, las cuales son generalmente de baja frecuencia. Las fuentes pasivas al tener frecuencias más bajas incrementan la profundidad de estudio sustancialmente.

El método de fuente pasiva se divide en dos categorías: pasivo remoto y pasivo de borde de vía. En el pasivo remoto suele utilizarse arreglos bidimensionales, comúnmente simétricos de forma circular o de cruz. El método de borde de vía se basa en el aprovechamiento de las ondas generadas por el tráfico local, registrando información con arreglos lineales ubicados paralelos a una vía de tránsito vehicular (Park C. , Miller, Xia, & Ivanov, 2007).

3.11.2 Análisis Multicanal de Ondas Superficiales Activo

El método activo MASW es el método de inspección más común que genera perfiles de una y dos dimensiones de una manera efectiva en cuanto a costo y eficiente con respecto al tiempo. Adopta el proceso convencional de estudio usando una fuente sísmica activa y un arreglo lineal de receptores, registrando información directamente desde el punto de impacto hasta los receptores de la propagación horizontal de ondas superficiales a lo largo de la superficie de interés (Park C. , Miller, Xia, & Ivanov, 2007).

3.8.2.1. Parámetros óptimos de campo.

Para la adquisición de datos en campo, los geófonos deben estar alineados a lo largo de la superficie de interés y ubicados verticalmente sobre el suelo debido a que sólo registran movimiento vertical.

El número de geófonos usado comúnmente es de 12 o más, cada uno enlazado a un canal de grabación separado. La cantidad de geófonos dependerá de la resolución que desee obtener en la curva de dispersión (Park, Miller, & Xia, 1999).

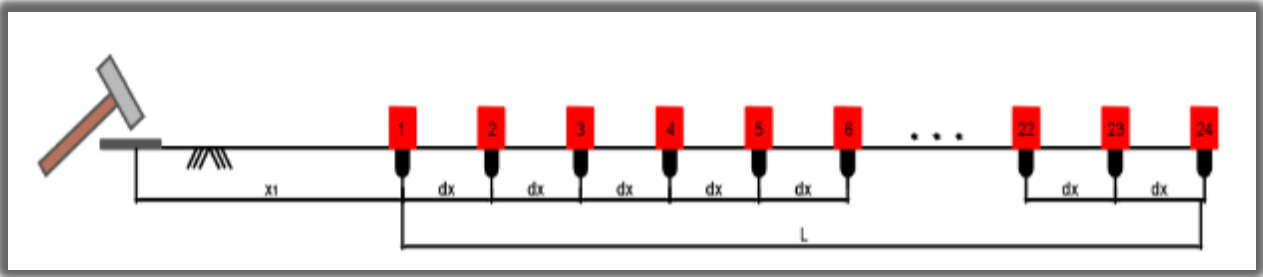


Figura 3-9 Ilustración de un perfil de medición MASW de 24 geófonos con espaciamento entre la fuente y el geófono más cercano (x_1) y de igual espaciamento entre geófonos (dx). Tomado de (Ólafsdóttir, 2014).

La frecuencia más utilizada en registro de estudios de MASW es la frecuencia natural de los geófonos de 4.5 Hz. Cuando se utiliza una fuente activa el tiempo total de registro generalmente está alrededor de un segundo. Un tiempo mayor de registro ($T=2$ segundos) se recomienda para longitudes de arreglo largas, es decir Longitud de arreglo sísmico $> 100\text{m}$, o si se espera velocidades de corte muy bajas ($V_s < 100 \text{ m/s}$) (Ólafsdóttir, 2014).

La profundidad máxima de estudio variará dependiendo del sitio y de la fuente sísmica usada y es determinada por la longitud de onda más larga de las ondas superficiales durante la adquisición. Según (Park & Carnevale, 2010) una ecuación empírica para este criterio es:

$$z_{max} \approx 0.5\lambda_{max} \quad (1)$$

En general una fuente sísmica capaz de entregar más fuerza de impacto en el subsuelo puede incrementar la profundidad de investigación debido a que genera ondas superficiales con frecuencias bajas lo que resulta en longitudes de ondas más amplias, por lo tanto, la profundidad de investigación aumenta (Ólafsdóttir, 2014).

Otro factor que está relacionado con la profundidad máxima de investigación es la longitud de extensión del arreglo de receptores y por lo tanto también se encuentra relacionado con la longitud de onda. La longitud óptima sugerida de los receptores debe estar dentro del rango (Park & Carnevale, 2010):

$$z_{max} \leq \text{Longitud de arreglo} \leq 3z_{max} \quad (2)$$

En la práctica se debe evitar longitudes largas de arreglos de receptores porque las ondas superficiales generadas serán atenuadas por debajo del nivel de ruido al final de un arreglo demasiado extenso haciendo que la señal de los receptores más lejanos se torne muy ruidosos para ser usados en un registro (Park, Miller, & Xia, 1999).

Otro parámetro de campo es el espaciamiento entre geófonos (dx). Está relacionado a la longitud de onda más corta que puede ser analizada para poder determinar la profundidad de investigación mínima.

$$dx = n * z_{min} \quad \text{donde} \quad 0.3 \leq n \leq 1.0 \quad (3)$$

La distancia entre la fuente y el receptor más cercano (x_1) debe ser determinada con el objeto de evitar los efectos de campo cercano debido a que no permiten el desarrollo completo de las ondas superficiales, también tienen la tendencia de generar velocidades de fase subestimadas lo que conlleva a un decremento en la profundidad de investigación. Un criterio recomendado para evitar los efectos de campo cercano es: (Park & Carnevale, 2010)

$$x_1 \geq L \quad \text{donde} \quad \lambda_{max} \approx L \quad (4)$$

Se ha reportado que una distancia amplia entre la fuente y el receptor más cercano puede resultar en la falta de componentes de longitudes de ondas cortas debido a la atenuación excesiva por lo que se ha sugerido que la distancia mínima entre fuente y receptor sea (Park, C B; Shawver, J B, 2009)

$$x_{1min} = 0,2 * L \quad y \quad x_{1max} = L \quad (5)$$

Aparte de los parámetros de adquisición de datos se debe mencionar que las condiciones topográficas también tienen un efecto en la calidad del registro de las ondas superficiales y por lo tanto en la calidad las curvas de dispersión. Para resultados óptimos los receptores deben ser ubicados sobre terreno plano. En caso de que el terreno presente pendientes a lo largo de la línea de receptores se debe tomar en cuenta que puede afectar a la precisión de las curvas de dispersión resultantes. Las características de dispersión pueden ser estimadas con menos del 4% de error en terrenos donde la pendiente topográfica a lo largo de la línea de receptores sea inferior a 10°. (Zeng, Xia, Miller, Tsoflias, & Wang, 2012)

3.8.2.2. Curva de dispersión

La curva de dispersión es un gráfico de un conjunto de datos que consta de frecuencias y velocidades de fase. A partir de la curva de dispersión se determina el perfil de velocidad de corte (V_s) es por esto por lo que la determinación de la curva de dispersión es la parte más crítica y de gran importancia ya que afecta a la precisión de los perfiles V_s (Park, Miller, & Xia, 1999).

La forma que toma la curva de dispersión es denominada dispersión característica de la onda Rayleigh. Existe múltiples velocidades de fase para una misma frecuencia por lo cual una curva de dispersión puede ser multimodal, donde su modo fundamental es el modo con la velocidad más baja de fase y existe para todas las frecuencias (Everett, 2013).

La mayoría de los autores se refiere al término curva de dispersión como la curva extraída de la interpolación del modo fundamental en el espectro de velocidad. En una imagen de dispersión la banda de máxima energía no representa el modo fundamental de la curva de dispersión sino una curva de dispersión efectiva, la cual resulta de la superposición de todos los modos, y en un espectro de velocidad es interpretada por picos o máximos (Dal Moro, 2015).

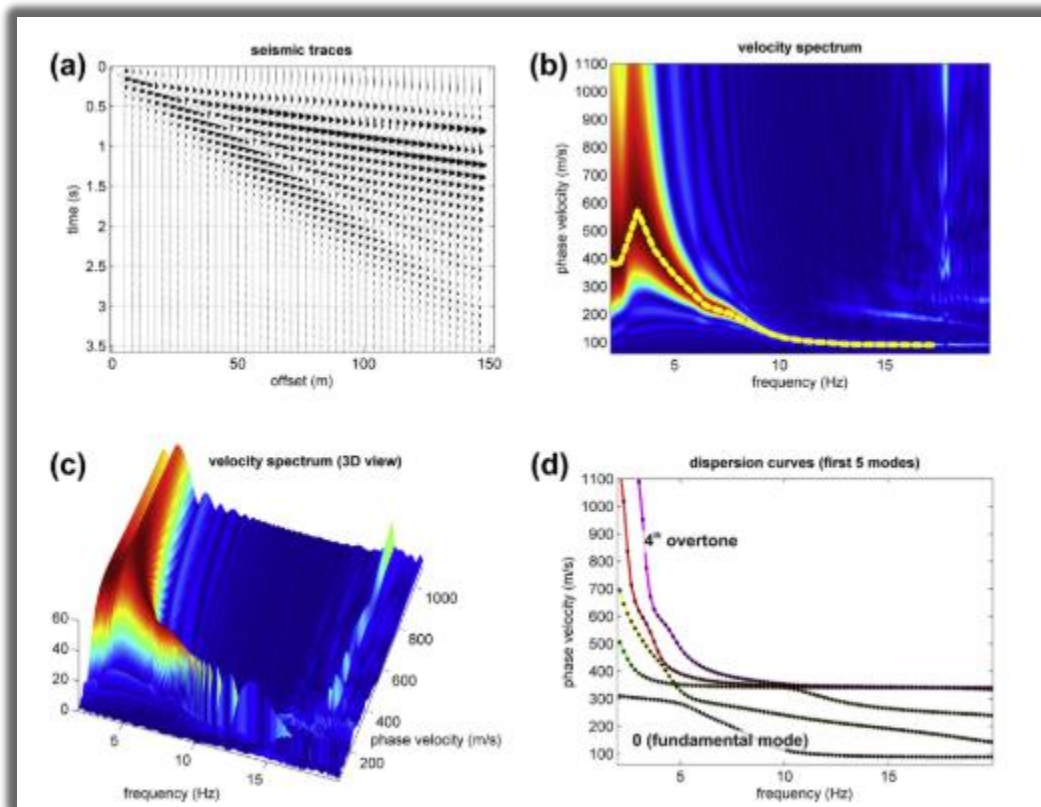


Figura 3-10 (a) Señal Sísmica; (b) espectro de velocidad; (c) Vista 3D del espectro de velocidad (el eje z representa el valor de correlación para un punto dado de frecuencia-velocidad); (d) Curvas de dispersión con los cinco primeros modos, se indica el modo fundamental y el cuarto modo más alto. La curva amarilla en la gráfica (b) representa los picos en el espectro de velocidad y está referida como la curva de dispersión efectiva.

3.8.2.3. Análisis de dispersión

La construcción adecuada y precisa de curvas de dispersión ha sido descrita anteriormente como la parte más crítica de un análisis multicanal de ondas superficiales (MASW).

Varios métodos se han desarrollado para extraer las curvas de dispersión a partir de datos de registros multicanal de ondas superficiales, pero por interés de esta disertación de grado debido a la metodología adoptada, nos enfocaremos en el método de cambio de fase (Park, C B; Miller, R D; Xia, J, 1998).

3.8.2.4. Método de cambio de fase.

El método de cambio de fase o también llamado método de transformación de onda de campo es una técnica de transformación de ondas con el objeto de obtener un espectro de la velocidad de fase (imagen de dispersión) basado en registro multicanal (Ólafsdóttir, 2014).

Al utilizar este método todas las propiedades de dispersión de ondas, tanto de cuerpo como superficiales, contenidas en un registro pueden ser visualizadas en el dominio de la frecuencia-velocidad de fase-energía transformada (amplitud de onda sumada) (Park, C B; Miller, R D; Xia, J, 1998).

El método de cambio de fase presenta la importante ventaja de descomponer de manera eficiente la información recolectada en campo en modos de ondas superficiales diferentes y en fuentes de ruido. El ruido generalmente es removido de forma automática en este proceso, por ello es posible observar las características dispersivas multi modal de las ondas superficiales, siempre y cuando los modos superiores hayan sido alterados durante la adquisición de datos (Park, C B; Miller, R D; Xia, J, 1998).

Según (Ólafsdóttir, 2014) el método de cambio de fase puede ser dividido en tres pasos:

1. Transformada de Fourier y normalización de la amplitud.
2. Imagen de dispersión.
3. Extracción de curvas de dispersión.

3.8.2.5. Transformada de Fourier y normalización de la amplitud

Asumir que se ha obtenido un registro multicanal de fuente activa con los parámetros de campo antes mencionados. El número de geófonos usado en el registro es n . El registro en campo de ondas se denotará por $u(x, t)$, donde x es la distancia desde la fuente hasta el geófono (distancia fuente-receptor) y t es el tiempo. El registro $u(x, t)$ de n señales, una señal por cada geófono presente en el arreglo de medición, expresado por $u_j(t)$, $j = 1, 2, \dots, n$. Las lecturas de cada geófono son adquiridas con un muestreo de intervalo uniforme dt (Ólafsdóttir, 2014).

La distancia desde la fuente hasta el primer receptor es denotada por x_1 y el espaciamiento entre geófonos es expresado por dx . Por lo tanto, la longitud conformada por los receptores y la distancia desde la fuente hasta el receptor j respectivamente es (Ólafsdóttir, 2014):

$$L = (n - 1) * dx \quad (6)$$

$$x_j = x_1 + (j - 1) * dx \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

El número de muestras registrado por unidad de tiempo, es decir la medición de la frecuencia en Hz se expresa como f_s . El cálculo de la frecuencia en términos de frecuencia angular (ω_s) se expresa como (Ólafsdóttir, 2014):

$$\omega_s = 2\pi * f_s \quad (8)$$

La transformada de Fourier es aplicada para el eje del tiempo del registro de ondas adquirido, resultando en la representación del dominio de frecuencia $\bar{u}(x, \omega)$ donde ω es la frecuencia angular (Kreyszig, 2011; Park, C B; Miller, R D; Xia, J, 1998):

$$\bar{u}(x, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(x, t) * e^{-i\omega t} * dt \quad (9)$$

Como el registro de ondas ((u (x, t)) es discreta tanto en el espacio como en el dominio del tiempo, la ecuación (9) describe una transformada de Fourier discreta unidimensional (DFT) a lo largo del tiempo aplicada a cada una de las señales de manera separada (Ólafsdóttir, 2014):

$$\bar{u}_j(\omega k) = \sum_{m=0}^{N-1} u_j(tm) * e^{-i\omega_k tm} \quad (10)$$

Donde $j = 1, 2, \dots, n$ es el número del receptor correspondiente en la alineación de geófonos. N es el número de puntos de muestreo. El tiempo total del registro es $T = N * dt$ y los puntos de muestra son (Ólafsdóttir, 2014):

$$tm = m * dt \quad m = 0, 1, \dots, N - 1 \quad (11)$$

La frecuencia para los puntos de muestra está denotada por ωk y dado como:

$$\omega k = \frac{2\pi * k}{T} \quad k = 0, 1, \dots, N - 1 \quad (12)$$

En el registro de ondas en el dominio de la frecuencia angular $\bar{u}(x, \omega)$, los componentes de frecuencia del registro original (u (x, t)) fueron separados en frecuencias individuales como lo indica la ecuación (10). La frecuencia angular correspondiente a la componente k del registro transformado puede ser expresado como:

$$\omega k = k * \frac{\omega S}{N} \quad (13)$$

donde ωS es la frecuencia de muestreo (en radianes) dada por la ecuación (8) y N es el número de puntos de muestra.

El registro de ondas transformado ($\bar{u}(x, \omega)$) puede ser expresado como espectro de amplitud ($A(x, \omega)$) y espectro de fase ($P(x, \omega)$):

$$\bar{u}(x, \omega) = A(x, \omega) * P(x, \omega) \quad (14)$$

Donde la información correspondiente a las propiedades de dispersión de la señal está contenida en $P(x, \omega)$, mientras que $A(x, \omega)$ contiene toda la información relacionada con otras propiedades, como la pérdida gradual de la intensidad de señal (atenuación) y como su energía es distribuida (divergencia esférica) (Everett, 2013; Park, C B; Miller, R D; Xia, J, 1998).

La transformada de Fourier del registro de onda ($\bar{u}(x, \omega)$) puede ser expresada de forma estándar como:

$$\bar{u}(x, \omega) = A(x, \omega) * e^{-i\Phi(\omega)x} \quad (15)$$

Reemplazando:

$$P(x, \omega) = e^{-i\Phi(\omega)x} \quad (16)$$

La función $\Phi(\omega)$ ha sido identificada como un tipo de espectro del número de onda (Ólafsdóttir, 2014):

$$\Phi(\omega) = \frac{\omega}{V_R(\omega)} \quad (17)$$

Donde $V_R(\omega)$ es la velocidad de fase en la frecuencia angular ω (Park, C B; Miller, R D; Xia, J, 1998).

Considerando cada señal discreta separadamente, la ecuación (10) puede expresarse de manera similar como (Ryden, N; Park, C B, 2006):

$$\bar{u}_j(\omega) = A_j(\omega) * P_j(\omega) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

El término de fase en la ecuación anterior ($P_j(\omega)$) es determinado por la velocidad de fase de cada componente de frecuencia de acuerdo con (Ryden, N; Park, C B, 2006):

$$P_j(\omega) = e^{-i\Phi(\omega)x_j} \quad (19)$$

$$\Phi(\omega)x_j = \frac{\omega x_j}{V_R(\omega)} = \frac{\omega(x_1 + (j-1) * dx)}{V_R(\omega)} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (20)$$

donde x_1 es la distancia entre la fuente y el primer receptor y dx es el espaciamiento entre receptores.

Como toda la información acerca de la velocidad de fase para cada componente de frecuencia está contenida en $P_j(\omega)$, la amplitud de cada señal (en el dominio de la frecuencia) puede ser normalizada sin pérdida de información trascendente de acuerdo con (Ryden, N; Park, C B, 2006):

$$\bar{u}_{j, norm}(\omega) = \frac{\bar{u}_j(\omega)}{|\bar{u}_j(\omega)|} = P_j(\omega) \quad (21)$$

donde $\bar{u}_j, norm(\omega)$ es la representación normalizada (en el dominio de la frecuencia) de la j -ésima señal del registro de ondas.

La idea fundamental del método de fase se basa en la figura 3-11. La figura muestra un arreglo de curvas sinusoidales normalizadas. Las curvas pueden ser tratadas como múltiples señales normalizadas de un canal n de un registro de fuente activa después de aplicar la transformada de Fourier al registro de ondas.

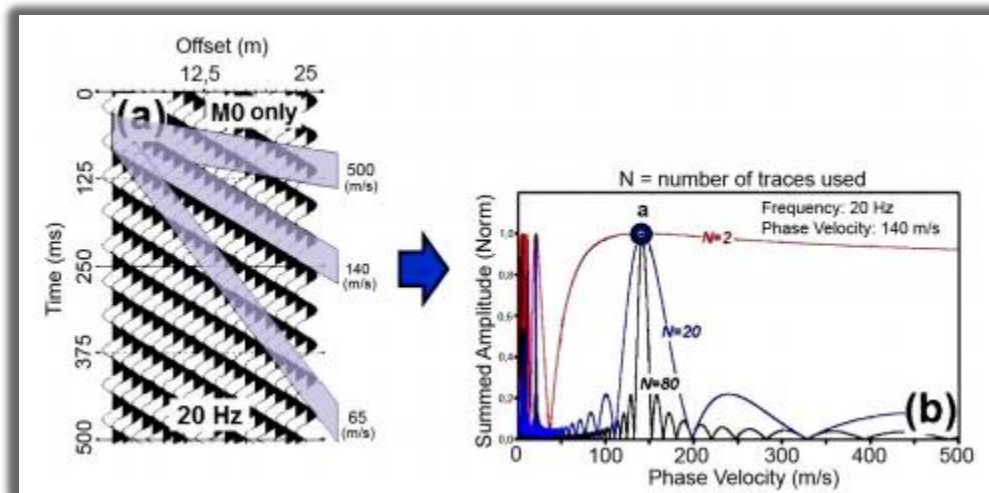


Figura 3-11 Principio básico detrás del método de cambio de fase. (a) Curvas sinusoidales normalizadas con frecuencia de 20 Hz y velocidad de fase de 140 m/s. (b) Suma normalizada de amplitud como una función para diferente número de señales. Tomado de (Ólafsdóttir, 2014).

Las curvas sinusoidales de la figura 3-11 (a) tienen la misma fase a lo largo de la pendiente correspondiente a la velocidad de fase actual de 140 m/s como se indica en la figura. Sin embargo, la fase de las curvas varía a lo largo de la pendiente correspondiente a otras velocidades de fase. Si las curvas son añadidas a lo largo de la pendiente de 140 m/s, su suma resultará en otra curva sinusoidal de longitud finita con amplitud $A_s = n$ (Amplitud sumada normalizada $A_s, norm =$

1), debido a que la amplitud de las curvas individuales normalizadas es 1 y el número de curvas es n. Si las curvas son sumadas juntas a lo largo de cualquier pendiente, la amplitud de la curva resultante será menor que n (amplitud sumada normalizada menor que 1). Esto se puede apreciar en la figura 3-11 (b). El punto marcado con la letra “a” corresponde a la amplitud sumada a lo largo de la pendiente de 140 m/s (Ryden, Park, Ulriksen, & Miller, 2004).

El proceso de sumar o apilar amplitudes en el dominio de la distancia a lo largo de pendientes es conocido como apilamiento inclinado (Yilmaz, Ö, 2008).

3.8.2.6. Espectro de dispersión

Basados en la descripción anterior, la función correspondiente al apilamiento inclinado está definida de acuerdo con la siguiente integral de transformación (Park, C B; Miller, R D; Xia, J, 1998):

$$\bar{v}(\omega, V_R, T) = \int_{x_1}^{x_n} e^{-i\Phi x} * \frac{\bar{u}(x, \omega)}{|\bar{u}(x, \omega)|} * dx = \int_{x_1}^{x_n} e^{-i\Phi x} * \bar{u}(x, \omega) * dx \quad (22)$$

donde φ es el número angular de onda correspondiente a la velocidad de fase de prueba V_R, T , dado por:

$$\Phi = \frac{\omega}{V_R, T} \quad (23)$$

donde $\bar{v}(\omega, V_R, T)$ es el apilamiento inclinado de la amplitud para cada combinación de frecuencia angular y velocidad de fase de prueba (V_R, T). Las longitudes de x_1 y x_n son la mínima y la máxima distancia entre fuente y receptor, respectivamente.

La normalización en la ecuación (22) es aplicada con el objeto de asegurar una ponderación igual de señales y obtener control sobre los efectos esféricos de divergencia y atenuación.

Introduciendo la ecuación (16) en la ecuación (22), se obtiene la siguiente ecuación:

$$\bar{v}(\omega, V_R, T) = \int_{x_1}^{x_n} e^{-i(\Phi(\omega) - \varphi)x} * \frac{A(x, \omega)}{|A(x, \omega)|} * dx \quad (24)$$

Para una ω dada, el máximo $\bar{v}(\omega, V_R, T)$ ocurrirá cuando:

$$\Phi = \varphi(\omega) \quad (25)$$

Como el espectro de amplitud ($A(x, \omega)$) es un valor real y positivo (Park, C B; Miller, R D; Xia, J, 1998).

Utilizando las ecuaciones (17) y (23), la ecuación (25) puede escribirse como (Ólafsdóttir, 2014):

$$\frac{\omega}{V_R, T} = \frac{\omega}{V_R(\omega)} \Leftrightarrow V_R, T = V_R(\omega) \quad (26)$$

Por lo tanto, para determinar las características de dispersión de $u(x, t)$ se debe examinar los valores de $\bar{v}(\omega, V_R, T)$. Cuando la velocidad de fase de prueba V_R, T es igual a la velocidad de fase actual correspondiente a una frecuencia dada ($V_R(\omega)$), se observará un máximo en $\bar{v}(\omega, V_R, T)$. Agrupando los valores picos de $\bar{v}(\omega, V_R, T)$, para diferentes valores de ω , generará las características modales. Si los modos más altos toman una cantidad substancial de energía, habrá dos o múltiples valores picos para una frecuencia dada, mostrando características multimodales de las ondas superficiales registradas (Park, C B; Miller, R D; Xia, J, 1998; Ryden, Park, Ulriksen, & Miller, 2004).

En la práctica el proceso consta en variar V_R, T , para una frecuencia dada ω , numéricamente evaluando la integral en la ecuación (22) y determinar el máximo para $\bar{v}(\omega, V_R, T)$. La velocidad de fase cambia en incrementos pequeños dentro de un intervalo especificado:

$$V_R, T, \min \leq V_R, T \leq V_R, T, \max \quad (26)$$

Utilizando la ecuación (21), la ecuación (22) puede escribir de forma discreta como (Ólafsdóttir, 2014):

$$\bar{vS}(\omega, V_R, T) = \sum_{j=1}^n e^{-i\Phi x_j} * \bar{u}_j, \text{norm}(\omega) = \sum_{j=1}^n e^{-i\Phi x_j} * P_j(\omega) \quad (27)$$

Donde:

$$\Phi x_j = \frac{\omega x_j}{V_R, T} = \frac{\omega x_j (x_1 + (j-1)dx)}{V_R, T} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (28)$$

Los valores de $\bar{vS}(\omega, V_R, T)$ obtenidos son números complejos que tienen como valor absoluto $\overline{AS}(\omega, V_R, T) = |\bar{vS}(\omega, V_R, T)|$ es el mismo que la suma (apilamiento inclinado) de amplitudes para la velocidad de fase de prueba V_R, T que entrega el valor máximo de AS . Si los modos más altos (dos o más), tienen suficiente energía surgirán para una frecuencia dada, es decir correspondiente a diferentes valores de V_R, T (Park, C B; Miller, R D; Xia, J, 1998).

El valor máximo posible de As depende del número de geófonos usados en la adquisición de datos, por lo que As debe ser normalizado sobre todo el rango de V_R, T y ω , de este modo el valor pico para todos los casos es 1, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$As, \text{norm}(\omega, V_R, T) = \frac{As(\omega, V_R, T)}{\max_{\omega, V_R, T} \{As(\omega, V_R, T)\}} \quad (29)$$

Los resultados obtenidos de la ecuación (28), para una frecuencia dada ω y diferentes valores de V_R, T pueden ser representados por una gráfica en función de V_R, T y As, norm como se muestra en la figura 3-11(b).

Sin embargo, los resultados son generalmente presentados en una curva de dispersión bidimensional obtenida de graficar los valores de As, norm en el dominio de la frecuencia-velocidad de fase- amplitud sumada normalizada.

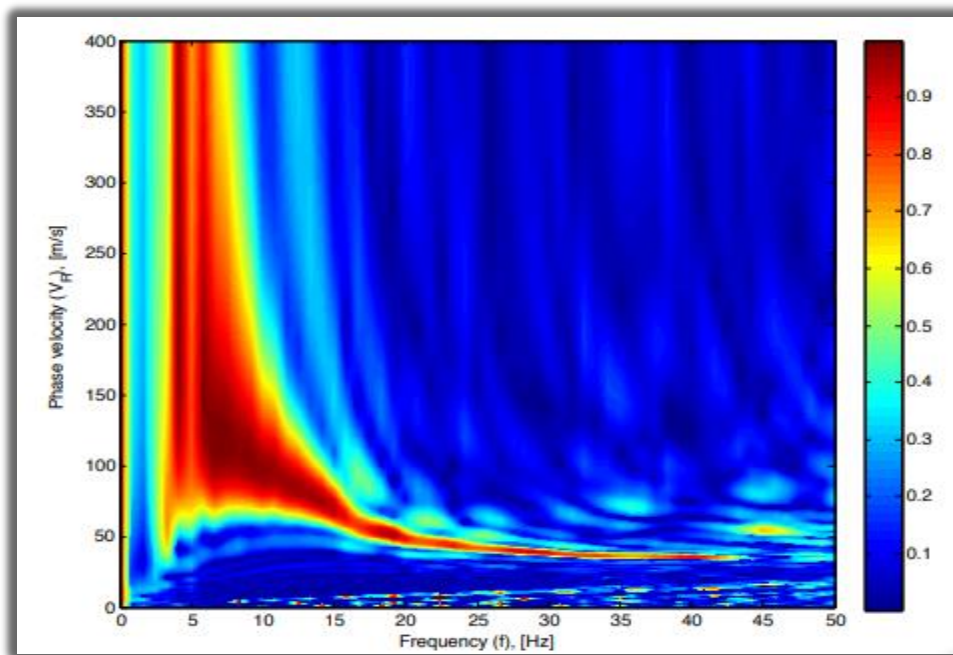


Figura 3-12 Imagen de dispersión bidimensional obtenida mediante el método del cambio de fase. Tomado de (Ólafsdóttir, 2014)

3.8.2.7. Extracción de curvas de dispersión

Dependiendo del contenido de energía de las ondas superficiales registradas, se puede extraer una o múltiples curvas de dispersión del espectro de velocidad de fase. Las características modales fundamentales de dispersión son generalmente de mayor interés ya que son comúnmente utilizadas en los métodos de inversión utilizando solamente el modo fundamental de las curvas de dispersión.

El espectro de velocidad se reduce estableciendo límites de longitud de onda, antes que se extraiga la curva de dispersión del modo fundamental. Esto es, el menor valor correspondiente a las velocidades de fase (V_R) y las menores frecuencias (f) son removidas con el objetivo de minimizar la interrupción de otras ondas sísmicas en la curva de dispersión resultante. Estos ajustes deben realizarse manualmente para cada sitio investigado (Ólafsdóttir, 2014).

La curva de dispersión es presentada por convención como la velocidad de fase vs. frecuencia. El eje de frecuencia de la curva de dispersión es transformado usando la relación entre longitud de onda, frecuencia y velocidad de fase de onda Rayleigh dado por la ecuación (Ólafsdóttir, 2014):

$$\lambda(f) = \frac{V_R(f)}{f} \quad (30)$$

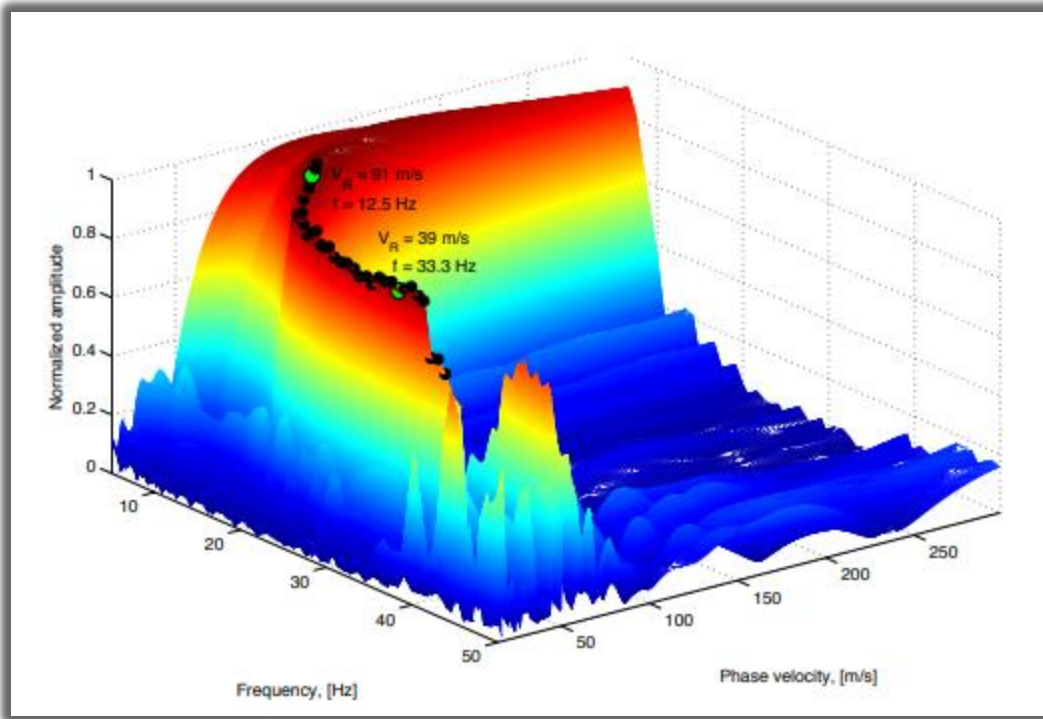


Figura 3-13 Espectro de velocidad de fase en función de la frecuencia y la normalización de la amplitud tridimensional. Extracción de la curva de dispersión mediante picking manual (puntos negros). Tomado de (Ólafsdóttir, 2014).

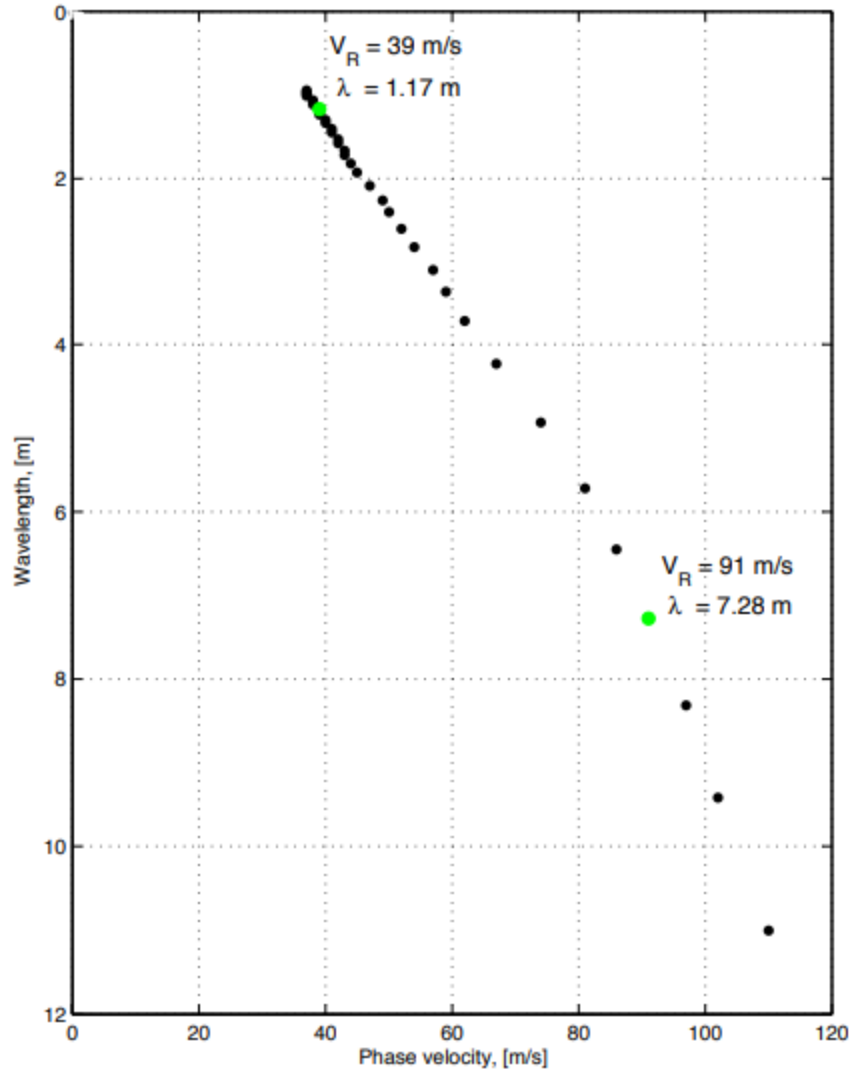


Figura 3-14 Curva de dispersión de modo fundamental obtenida de la imagen de dispersión mostrada en la figura 3-13.

3.8.2.8. Selección manual de curvas de dispersión (Picking)

Al obtener el espectro de velocidad de fase-frecuencia, se procede a realizar el picking, el cual consiste en escoger punto a punto aquellos sitios que presenten una mayor concentración de colores, que corresponden a las máximas amplitudes asociadas a la velocidad de fase y frecuencia, sobre los diferentes modos de vibración para lograr la confección de la curva de dispersión. La acción de seleccionar varios puntos se denomina picking.

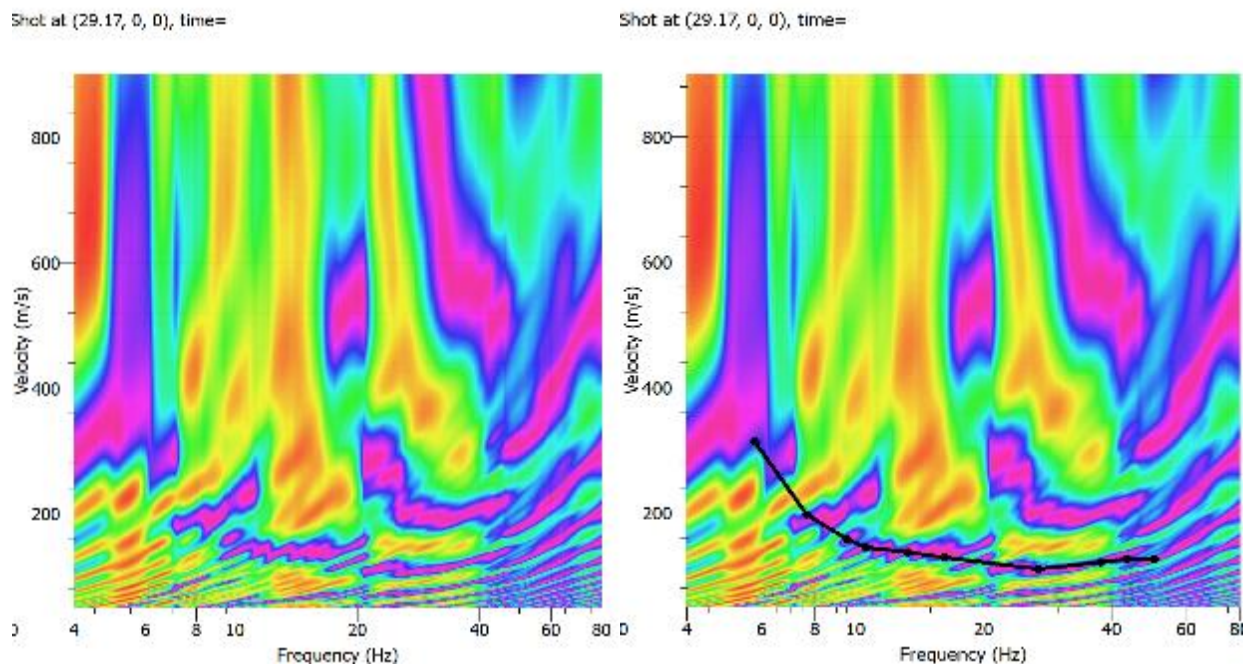


Figura 3-15 Ejemplo del proceso manual de picking sobre el espectro de velocidad de fase-frecuencia para generar la curva de dispersión.

3.8.2.9. Geopsy

Para lograr el procesamiento, visualización e interpretación tanto del método de cambio de fase y del espectro de dispersión aplicado al análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) de fuente activa se contó con la ayuda del software Geopsy. Geopsy es un software de código libre para el procesamiento de diversos métodos de ondas superficiales, utilizado para procesar datos de ruido sísmico ambiental, generar registros de fuentes virtuales y espectros de dispersión (Geopsy, 2020).

3.8.2.10. Inversión.

El tercero y último paso del método MASW es derivar un perfil de velocidad de onda de corte, generalmente utilizando la inversión de los modos de vibración de la curva de dispersión de la onda Rayleigh, donde los cálculos se basan en la teoría de propagación de ondas, asumiendo un

modelo de estratos del suelo (Xia, Miller, & Park, 1999). En general, un problema de inversión consiste en estimar un conjunto de parámetros que describen el subsuelo, basado en una curva de dispersión experimental (Ryden, N; Park, C B, 2006)

3.8.2.10.1. Modelo del suelo por estratos y parámetros del modelo.

Las características dispersivas de un modelo del suelo por estratos dependen de varias propiedades del subsuelo, tales como el número y el espesor de los estratos del suelo y las propiedades elásticas de cada estrato. Las propiedades elásticas de cada estrato generalmente son representadas por un conjunto de propiedades físicas como: velocidad de onda primaria, velocidad de onda de corte y la densidad. Las propiedades entre cada estrato son tomadas como constantes y se asume que el último estrato es un medio espacio.

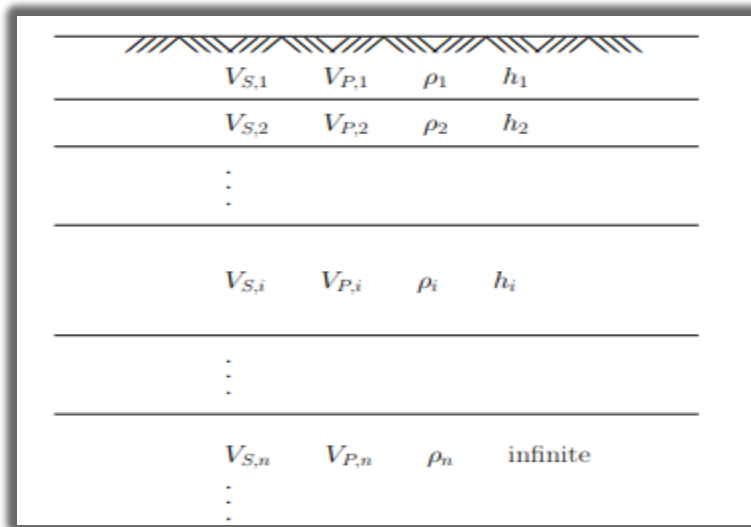


Figura 3-16 Ejemplo generalizado de un modelo de suelo por estratos. Tomado de (Ólafsdóttir, 2014).

3.8.2.10.2. Algoritmos generales de inversión.

Un modelo matemático es usado para determinar una curva teórica de dispersión para materiales elásticos estratificados basado en un conjunto dado de parámetro de entrada. Otros grupos de parámetros son introducidos en el modelo de una manera iterativa en busca de una curva de

dispersión teórica que es la más consistente con las características dispersivas observadas. El problema de obtener un perfil de velocidad de corte aceptable puede ser identificado como una optimización multiparamétrica donde el objetivo es minimizar la diferencia entre la curva de dispersión experimental y la teórica (Xia, Miller, & Park, 1999). Varios algoritmos han sido desarrollados y usados para la inversión de datos experimentales de ondas superficiales. Los posibles procedimientos de inversión pueden ser divididos en dos categorías; búsqueda local y búsqueda global. La división está basada en cómo los parámetros del modelo son actualizados entre iteraciones durante la búsqueda del conjunto más probable de parámetros (Orozco, 2003).

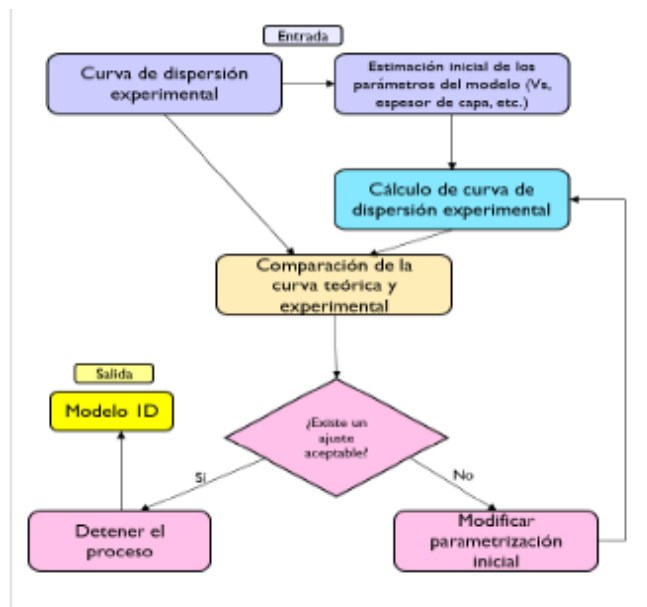


Figura 3-17 Visión general de un típico algoritmo de inversión local a partir de curvas de dispersión. Modificado de (Ólafsdóttir, 2014)

El primer paso de un algoritmo de inversión local es realizar una estimación inicial del modelo de parámetro requerido. Una suposición inicial razonable es esencial porque la convergencia solamente puede ser garantizada si la suposición inicial es lo suficientemente cercana a la solución final. Basado en la estimación inicial, una curva de dispersión teórica es determinada. Si la

diferencia entre la curva experimental y la teórica es aceptable, el problema es considerado resuelto. Si esto no sucede, el conjunto de parámetros del modelo debe ser actualizado. Una nueva curva de dispersión teórica es determinada y comparada con las características de dispersión experimentales. Las iteraciones continúan hasta que se encuentre una semejanza razonable o hasta que se alcanza el número máximo de iteraciones. Si el método no converge, las condiciones iniciales deben ser cambiadas (Orozco, 2003; Park, Miller, & Xia, 1999).

En procedimientos globales, se intenta buscar el espacio de la solución para el mínimo global de la diferencia entre una curva de dispersión teórica y los datos experimentales. El conjunto de parámetros que genera la curva de dispersión teórica que mejor se ajuste a los datos experimentales es considerado como el resultado del estudio.

3.8.2.9.3. Algoritmo del vecino más próximo (Neighbourhood Algorithm)

El algoritmo del vecino más próximo es una popular técnica de inversión directa usada para invertir las curvas de dispersión, donde las condiciones físicas entre los parámetros V_s y V_p (enlazados por la relación del coeficiente de Poisson) pueden restringir el espacio de acción de los parámetros con limitaciones complejas. Otras condiciones pueden provenir a partir de información previa de la estructura geológica y geotécnica del lugar de estudio con lo que se busca reducir la ambigüedad de los modelos generados (Wathelet, 2008). Es un método de búsqueda estocástico y es el algoritmo de inversión del software Dinver, empleado en esta disertación de grado. Los parámetros utilizados por el software describen un modelo de subsuelo de capas homogéneas y planas, que dependen de 5 parámetros: Velocidad de ondas de corte (V_s), velocidad de ondas P (V_p), espesores, densidades y el coeficiente de Poisson. A su vez el algoritmo necesita de cuatro parámetros de ajuste: itmax (número máximo de iteraciones a ejecutarse), ns0 (número de modelos seleccionados

aleatoriamente en el espacio de parámetros al inicio de la inversión), n_s (número de modelos generados en cada iteración) y n_r (número de las mejores celdas, de menor misfit, donde se generan n_s modelos).

Una vez que la curva de dispersión se ha calculado a partir de los parámetros introducidos por el algoritmo, el valor misfit debe ser evaluado para analizar el ajuste. El valor de incertidumbre o misfit está dado por la expresión (Whathelet, Jongmans, & Ohrnberger, 2004)

$$misfit = \sqrt{\sum_{i=0}^{n_F} \frac{(x_{di} - x_{ci})^2}{\sigma_i^2 n_F}}$$

Donde x_{di} es la velocidad de la curva teórica para una frecuencia f_i , x_{ci} es la velocidad de la curva experimental para una frecuencia f_i , σ_i es la incertidumbre de las muestras de frecuencias consideradas y n_F es el número de frecuencia consideradas.

3.8.2.9.4. Inversión Multimodal

Deseando aumentar la exactitud de la obtención del perfil de velocidad de onda de corte mediante el método MASW se han desarrollado métodos alternos de inversión donde la inversión no solamente se basa en las curvas de dispersión de modo fundamental. Esto incluye a la inversión multimodal, la misma que consiste en usar curvas de dispersión de modo mayores junto con la curva de modo fundamental. Con esto se logra aumentar la profundidad de investigación y un mejor y estable proceso de inversión, resultando en un aumento de la resolución del perfil de velocidad de onda corte (Ryden, N; Park, C B, 2006; Xia, J; Miller, R D; Park, C B; Ivanov, J, 2000).

3.8.2.10. Dinver

Para lograr el procesamiento, visualización, interpretación y entendimiento del proceso de la inversión de curvas de dispersión aplicado al análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) de fuente activa se contó con la ayuda del software Dinver. Dinver es un módulo de Geopsy, utilizado para realizar las inversiones, a partir de la curva de dispersión experimental extraída de Geopsy y un modelo del subsuelo con una parametrización.

4. Capítulo 4

MARCO METODOLÓGICO

La metodología de esta disertación de grado se basó en el procesamiento de datos de ruido sísmico de fuente activa mediante el método MASW. El método utilizado se define con más detalle en este capítulo. A continuación, se presenta un esquema resumen de la secuencia del procesamiento de un conjunto de datos para generar los perfiles de velocidad de onda secundaria.

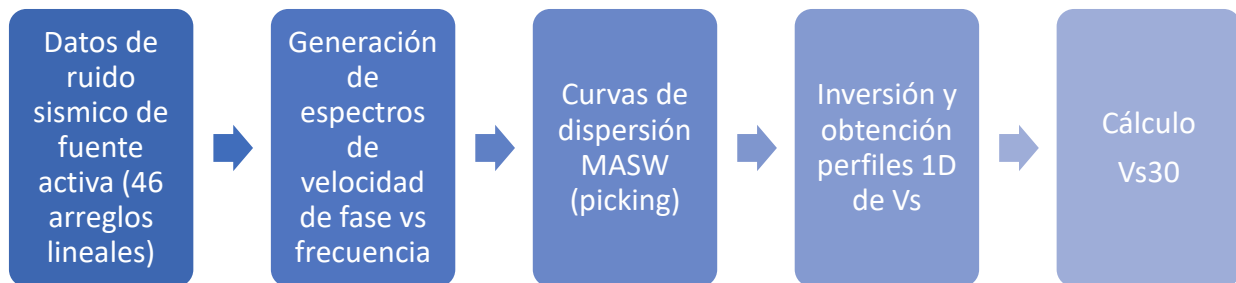


Figura 4-1 Esquema resumen de la secuencia del procesamiento de datos utilizando el método MASW.

4.1 Revisión Bibliográfica

Previo a la adquisición de datos en campo se realizó una etapa de recolección de información y análisis de los procedimientos posibles a utilizarse en la disertación de grado. Entre los temas que se revisó se encuentra la familiarización con el equipo e instrumentación-estudio de la ubicación de la zona de interés y su marco geológico, con la finalidad de tener un amplio y preciso conocimiento de la zona; datos adquiridos de ensayos de suelo previamente realizados (DMT, SDMT y SPT) en las perforaciones P-01, P-02, P-03 y P-04, los mismos que fueron necesarios

dentro de la metodología de investigación para definir los parámetros de entrada del modelo del subsuelo.

4.2 Fase de pre-adquisición

La fase de pre-adquisición permitió la correcta planificación y distribución de arreglos lineales sísmicos, previo a la adquisición de datos en campo, con el objetivo de tener una mejor logística y de cubrir la mayor área posible del terreno de interés obteniendo resultados significantes.

Se realizaron 46 líneas sísmicas de 16 geófonos que en su gran mayoría alcanzan longitudes de 125m cada uno, con lo que se asegura información precisa a 30 metros de profundidad, lo cual es dependiente de la frecuencia natural de los geófonos. Se debe aclarar que los arreglos sísmicos en las zonas donde existen perforaciones (P-01, P-02, P-03 y P-04) poseen longitudes que se adaptan al espacio disponible pero que son de gran importancia para lograr una mayor confianza en la curva de dispersión calculada.

LÍNEAS SÍSMICA ENTRE PERFORACIONES P03-P02

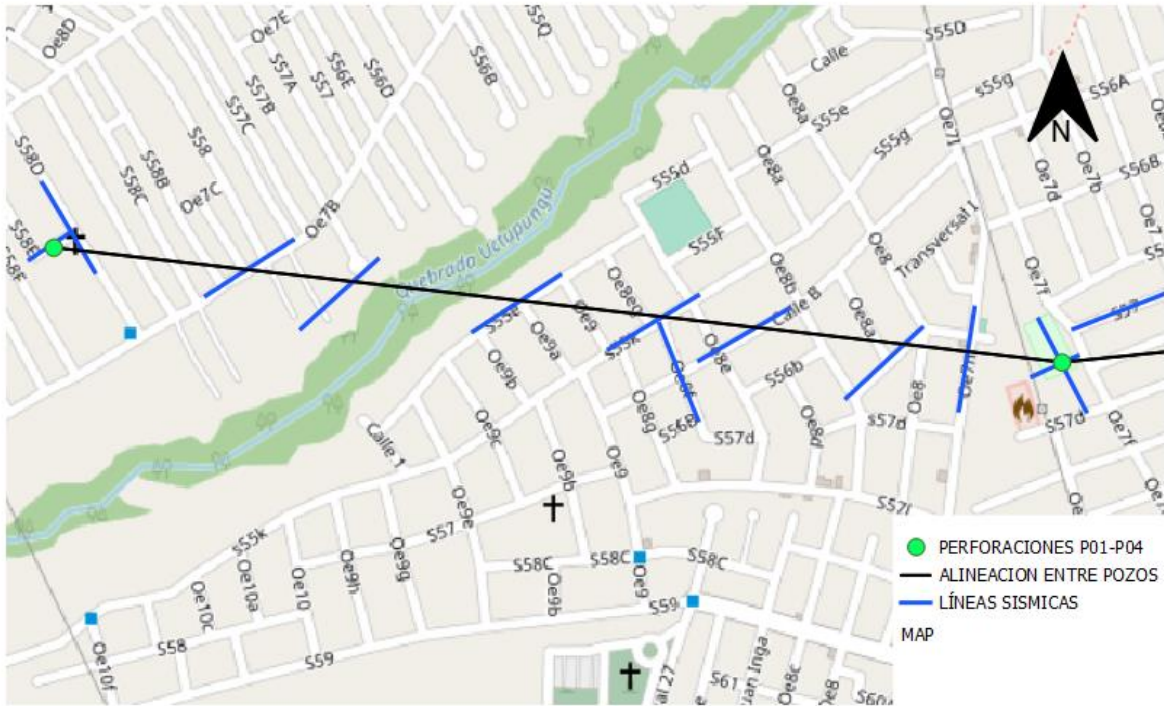


Figura 4-2 Vista satelital de la distribución de arreglos sísmicos lineales entre P-03 y P-02.

LÍNEAS SÍSMICAS ENTRE PERFORACIONES P02-P01

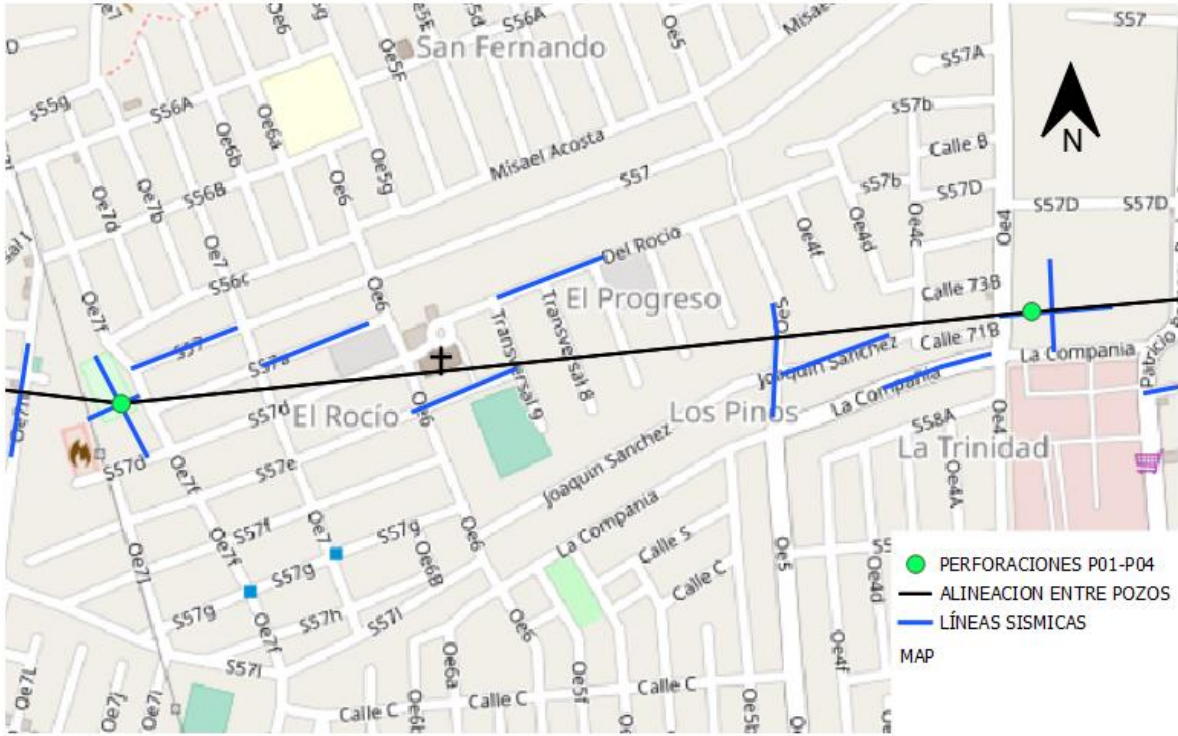


Figura 4-3 Vista satelital de la distribución de arreglos sísmicos lineales entre P-02 y P-01.

LÍNEAS SÍSMICAS ENTRE PERFORACIONES P01-P04

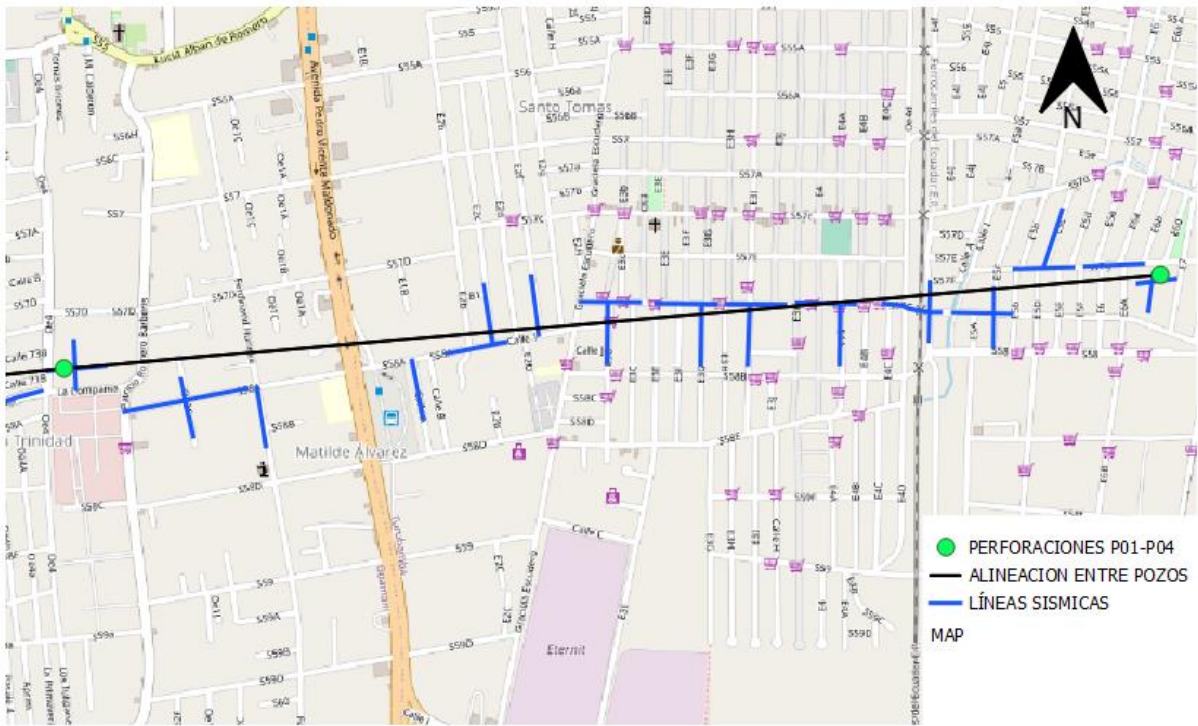


Figura 4-4 Vista satelital de la distribución de arreglos sísmicos lineales entre P-01 y P-04.

4.3 Adquisición de datos en campo.

Las adquisiciones sísmicas registradas se realizaron utilizando el equipo Seismex16 y consistieron en registros de ondas superficiales generadas por una fuente activa controlada, las cuales fueron captadas mediante el uso de un sistema de arreglos lineales de geófonos de componente vertical.

4.3.1 Equipos de adquisición

- Consola principal Seismex16.
- Geófonos receptores de vibraciones de frecuencia 4.5Hz. (Suelos blandos)
- Cable de señal para la conexión de los geófonos con la consola principal.
- Geófono Trigger.

- Cable que conecta el geófono Trigger con la consola principal.
- Cable de conexión entre la batería y la consola principal.
- Laptop con el programa del sismógrafo, Seismex16 A1.
- Cable USB entre consola principal y laptop.
- Martillo o mandarina de 12kg.
- Batería de 12V.
- Hojas de Campo.

4.3.2 Parámetros de adquisición

Para iniciar con una correcta obtención de datos se debe establecer parámetros de entrada, los que ayudaran a tener información precisa y de calidad. El primero de los parámetros es la longitud de registro o tiempo de grabación, el mismo que se encuentra definido por defecto en el programa y es de 1seg, sin embargo, para longitudes de arreglos mayores a 100m se recomienda tiempos iguales a 2seg. (Ólafsdóttir, 2014).

El segundo parámetro es el intervalo de muestreo que se define como el tiempo que debe transcurrir para adquirir una muestra de señal y por defecto el programa Seismex16 determina el tiempo de 0.25 milisegundos.

4.3.3 Metodología de adquisición

Se procedió a realizar los arreglos lineales sísmicos siguiendo la planificación establecida a lo largo de la zona de interés, la misma que consistió en 46 líneas sísmicas en su mayoría de 125m con 16 canales receptores, con una separación de 8.33m entre ellos. Una vez conformadas las líneas sísmicas se realizó 9 disparos por línea sísmica, las ubicaciones de los disparos a lo largo del arreglo lineal fueron: -8.33m, 12.50m, 29.17m, 45.83m, 62.5m, 79.17m, 95.83m, 112.50m,

133.33m en donde en cada posición de disparo se realizaron a su vez 6 golpes, teniendo así un total de 54 registros por tendido con lo que se pretende apilar dichas señales en el dominio del tiempo.

4.4 Procesamiento de datos por el método MASW

Para el procesamiento de datos por el método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) se utilizó el software Geopsy. Donde se cargó las señales apiladas (stacking) correspondientes a cada golpe (6 shots) en cada una de las 9 posiciones de disparo a lo largo de cada uno de los tendidos, obteniéndose de esta forma un total de nueve espectros de velocidad de fase-frecuencia y curvas de dispersión para cada tendido.

4.4.1 Preparación de la información

Al iniciar el programa Geopsy, para lograr una visualización de señales adecuada y óptima se debe configurar en la opción Edit - Preferences – No common time references (leave T0 as is) y seleccionar la opción Set “Rxxx” as name where xxx is the receiver number (figura 4-4).

Se procede a importar las señales con la opción File – Import signals – seleccionar los datos en formato .dat (figura 4-5).

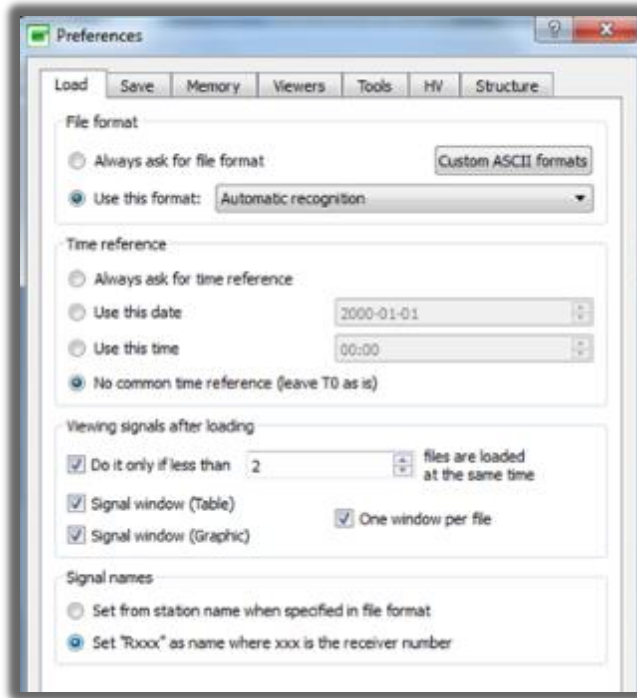


Figura 4-5 Parámetros para procesamiento de datos, GEOPSY.

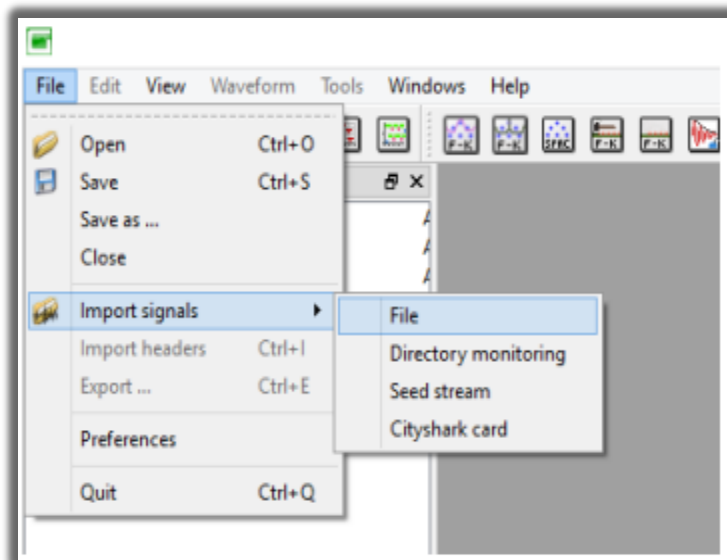


Figura 4-6 Importar señales en GEOPSY.

4.4.2 Generación de espectro de velocidad de fase-frecuencia

Una vez cargadas las señales en el programa se debe seleccionar la tabla de datos que se obtiene como resultado de la importación de las señales y se arrastra al ícono Graphic para obtener una gráfica similar a la mostrada en la figura 4-7.

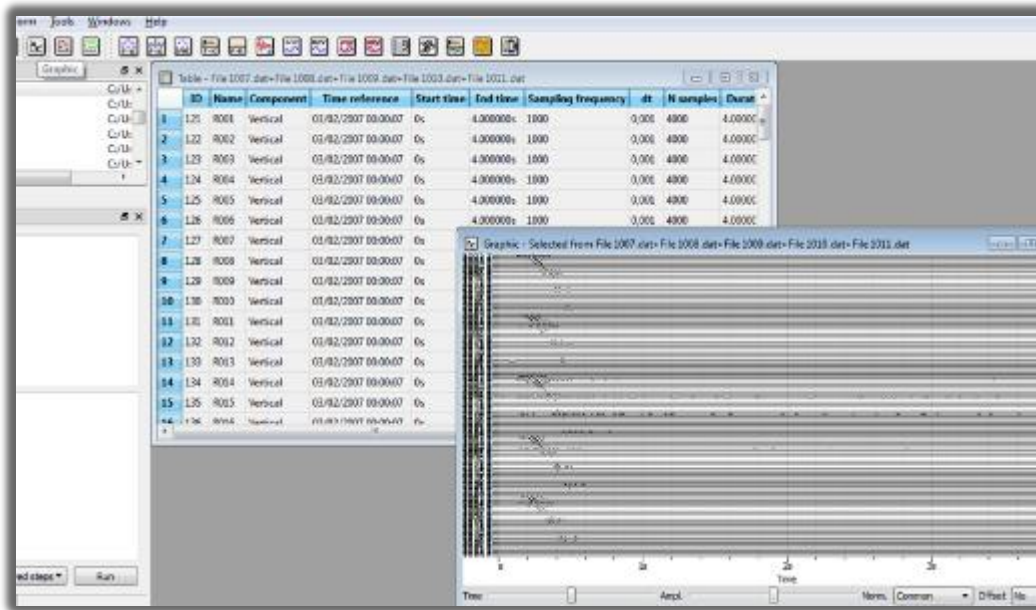


Figura 4-7 Ejemplo de gráfica de señales obtenidas.

Seguido se arrastran las señales obtenidas al ícono de F-K for active experiments (figura 4-8) donde se desplegará una ventana de herramientas para ingresar los datos del preprocesamiento y procesamiento (figura 4-9).

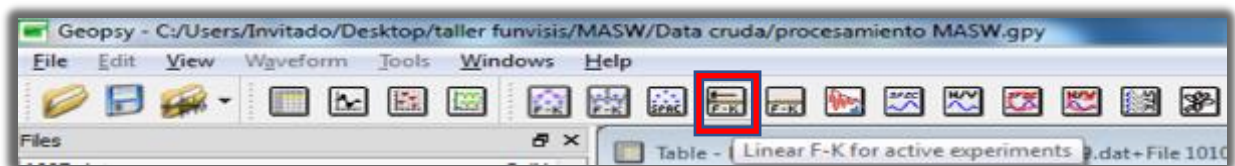


Figura 4-8 Ícono F-K for active experiments.

En la ventana de herramientas, en la pestaña con el nombre Pre-processing se deben ingresar los datos de la configuración geométrica del arreglo lineal, como lo es la distancia mínima y máxima de fuente-receptor. Además, se debe señalar que para la normalización de los datos la opción que muestre de mejor manera los gráficos de velocidad de fase-frecuencia (figura 4-9).

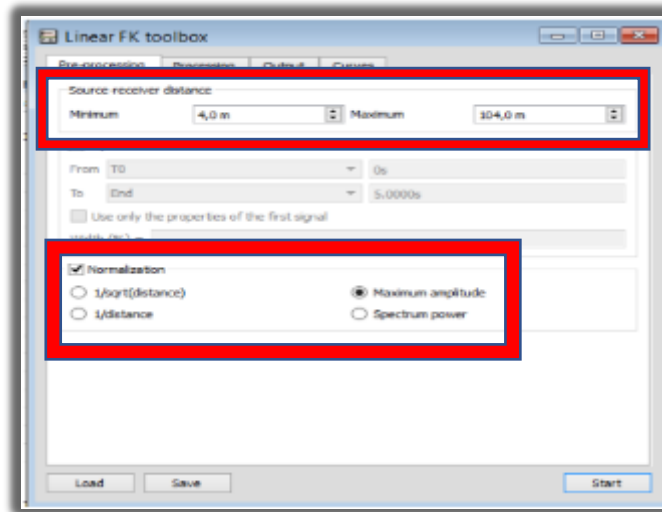


Figura 4-9 Ventana de herramientas de F-K para el proceso de datos, pestaña Pre-processing.

Seguidamente, se modifican los parámetros en la pestaña Output donde se ingresarán los rangos esperados que se mostrarán en las gráficas de velocidad de fase vs frecuencia, tomando en cuenta la frecuencia fundamental de los geófonos utilizados que tienen un valor de 4.5 Hz (figura 4-10).

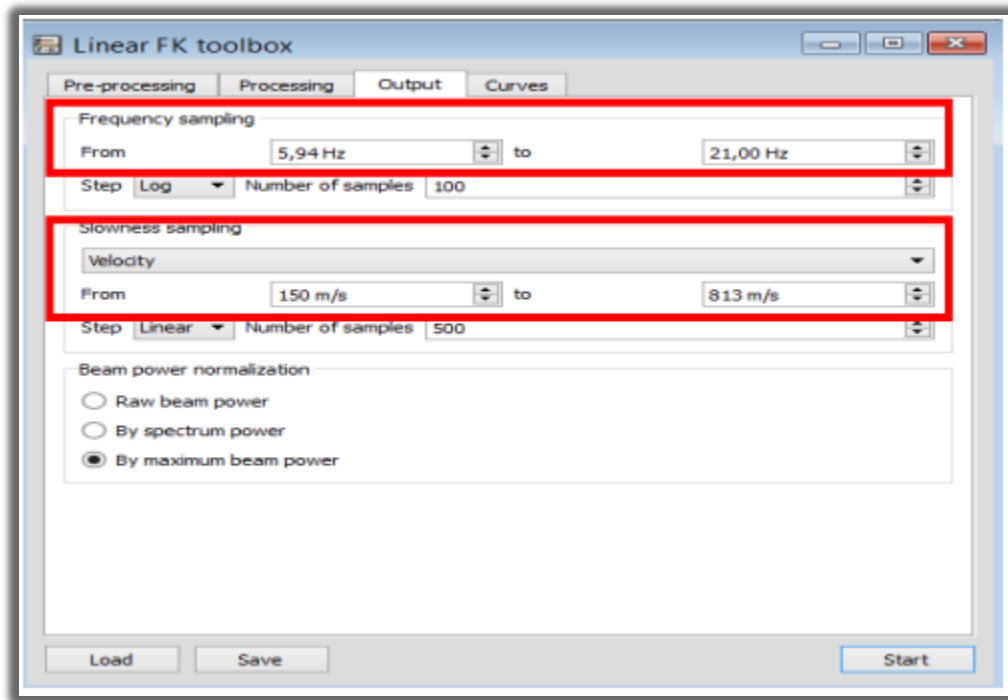


Figura 4-10 Ventana de herramientas de F-K para el proceso de datos, pestaña Output.

Haciendo uso de la transformada rápida de Fourier se obtiene el espectro de velocidad de fase. La transformada de Fourier permite expresar señales periódicas como una suma infinita (serie) de senos y cosenos facilitando el manejo de señales, es necesario expresarlas como una combinación lineal de términos lo cual no se logra si las señales dependen del tiempo ya que es una variable susceptible de ser evaluada en todos los puntos de la recta real. (Carrizo, 2014)

Una vez generadas las gráficas de velocidad de fase vs frecuencia se debe realizar lo que se conoce como picking, un proceso que consiste en la selección de varios puntos consecutivos siguiendo la tendencia de la curva, entre más puntos se seleccione más datos se van a tener de lo que se conoce como la curva de dispersión, la cual es la derivación de las máximas amplitudes asociadas la velocidad de fase y la frecuencia (figura 4-11).

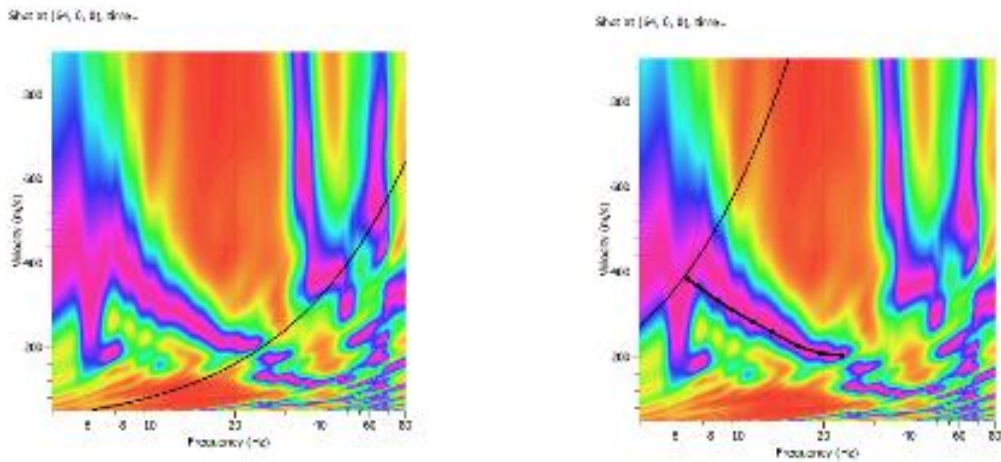


Figura 4-11 Ejemplo del proceso de picking en graficas de velocidad de fase vs frecuencia, obteniendo curvas de dispersión teóricas. (Las líneas negras continuas corresponden a los límites inferior y superior respectivamente de longitud de onda de acuerdo con la geometría del arreglo).

4.4.3 Inversión de curvas de dispersión

Para la inversión de las curvas de dispersión obtenidas se utilizó el software Dinver, donde se cargaron las curvas de dispersión teóricas correspondientes a cada espectro de velocidad de fase-frecuencia obtenido, es decir que por cada posición de disparo a lo largo del tendido se obtuvo un modelo 1D de velocidad de corte-profundidad.

Cada tendido posee su propia parametrización para realizar la inversión, las mismas que fueron determinadas a partir del perfil geotécnico correspondiente al perfil 1-1 que enlaza los sondeos de interés.

PERFIL GEOTÉCNICO
EJE 1: PCQ0003 - PCQ0002 - PCQ0001 - PCQ0004

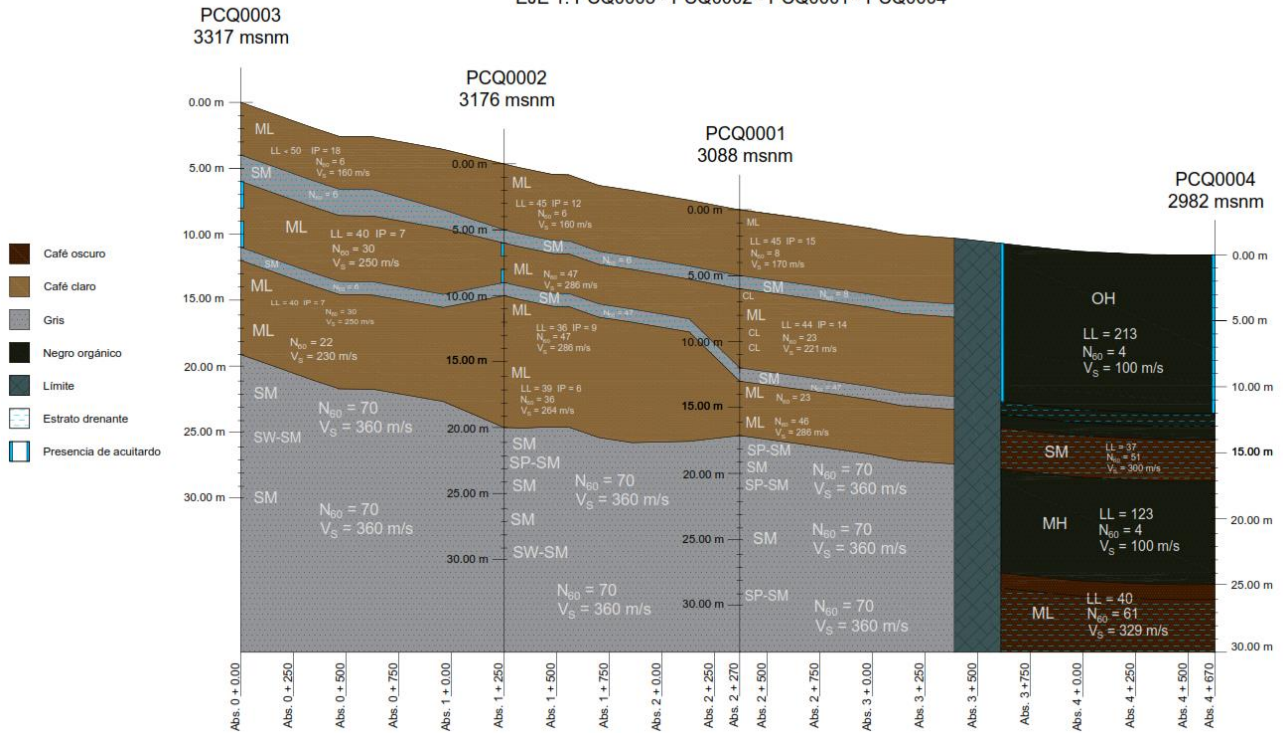


Figura 4-12 Perfil geotécnico correspondiente al perfil 1-1 del polígono de la microzonificación geotécnica del sur de Quito. Tomada de (Realpe R., 2020)

4.4.3.1. Aproximación de parámetros de inversión

Tomando en cuenta el marco geológico de la zona de estudio, descrito en el capítulo 2, y además la información geotécnica registrada gracias a los ensayos realizados (DMT, SDMT y SPT) en los pozos perforados P-01, P-02, P-03 y P-04, se logró realizar una serie de modelos con parámetros geotécnicos para la inversión de las curvas. Cabe destacar que la parametrización que exige el programa Dinver es personalizada para cada uno de los diferentes arreglos lineales que se realizaron, ya que se basa en la ubicación del tendido, en las unidades geológicas adyacentes y la topografía, los cuales dan un mejor ajuste al proceso de inversión.

4.4.3.2. Herramienta Dinver

Una vez realizado el picking obteniendo a partir de las curvas de dispersión generadas en el programa Geopsy, se guardan las curvas y se procede a cargar en el programa Dinver para realizar

la inversión a partir de los parámetros asociado a un modelo geológico inicial basada en capas horizontales con variaciones en función de la profundidad. Para realizar la inversión se generan iteraciones estableciendo valores para los parámetros de ajuste: Itmax es el número de iteraciones a realizar; Ns0 es el número de modelos generados aleatoriamente antes de iniciar las iteraciones mediante el algoritmo del vecino más cercano; Ns es el número de modelos a generar por cada iteración; Nr es el número de modelos generados con mayor semejanza a la parametrización sobre las que se generan las Ns muestras. Este conjunto de modelos se actualiza después de cada iteración. (Sambridge, 1999)

Cabe destacar que para la presente investigación se utilizaron los valores mínimos de 100,100, 100 y 100 para los parámetros Itmax, Ns0, Ns, Nr respectivamente, para generar una cantidad mínima de modelos de 10100 ($\text{modelos generados} = (\text{Itmax} * \text{Ns}) + \text{Ns0}$), y contar con las iteraciones necesarias para obtener un resultado confiable.

Estos valores están sujetos a cambio dependiendo en la calidad y error de los modelos de onda de corte generados. El proceso de inversión se puede resumir en la siguiente figura:



Figura 4-13 Esquema básico del proceso de inversión de curvas de dispersión para obtener modelos 1D de Vs. Modificado de (Mijares Armas, 2019)

Para cargar las curvas de dispersión en el programa se elige la opción Dispersion curves y se selecciona set y load, cargando el archivo de la curva guardada (figura 4-14).

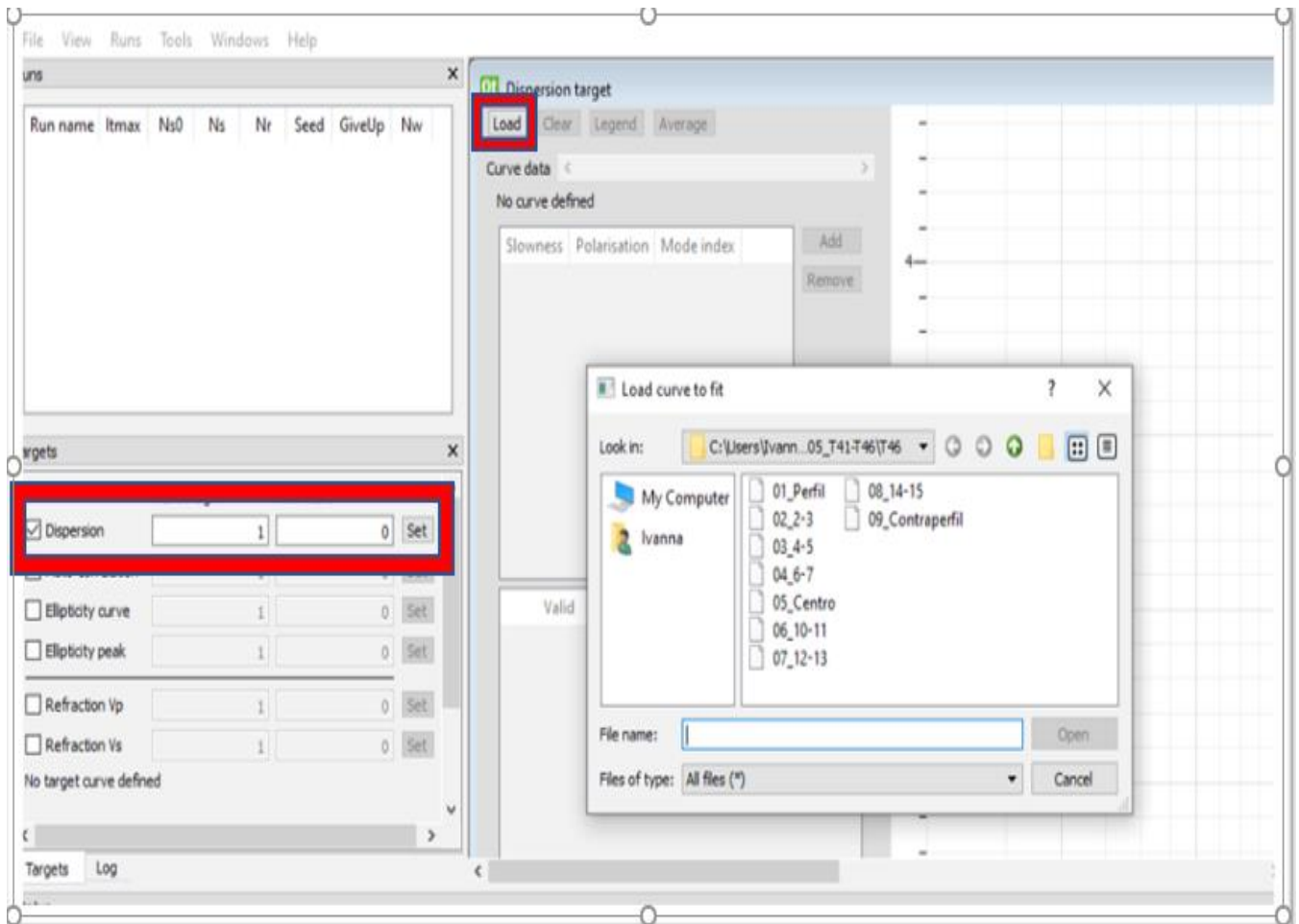


Figura 4-14 Proceso de carga de curvas de dispersión Dinver.

Los datos obtenidos con el método MASW arrojan frecuencias mucho más altas lo que indica profundidades más someras, en este caso de 30m aproximadamente.

A continuación, el programa exigirá una parametrización de velocidades de onda P, velocidades de onda S, profundidades, densidades y coeficiente de Poisson para hacer una modelación aproximada del suelo. Estos datos serán colocados basados en el perfil geotécnico (figura 4-12), y en los resultados de los ensayos previamente realizados en cada uno de los pozos de perforación, obteniendo un resultado más aproximado a la realidad.

Así se obtendrá los modelos 1D entre la variación de la onda Vs con la profundidad, permitiendo realizar el cálculo de Vs30 en el suelo. (figura 4-15)

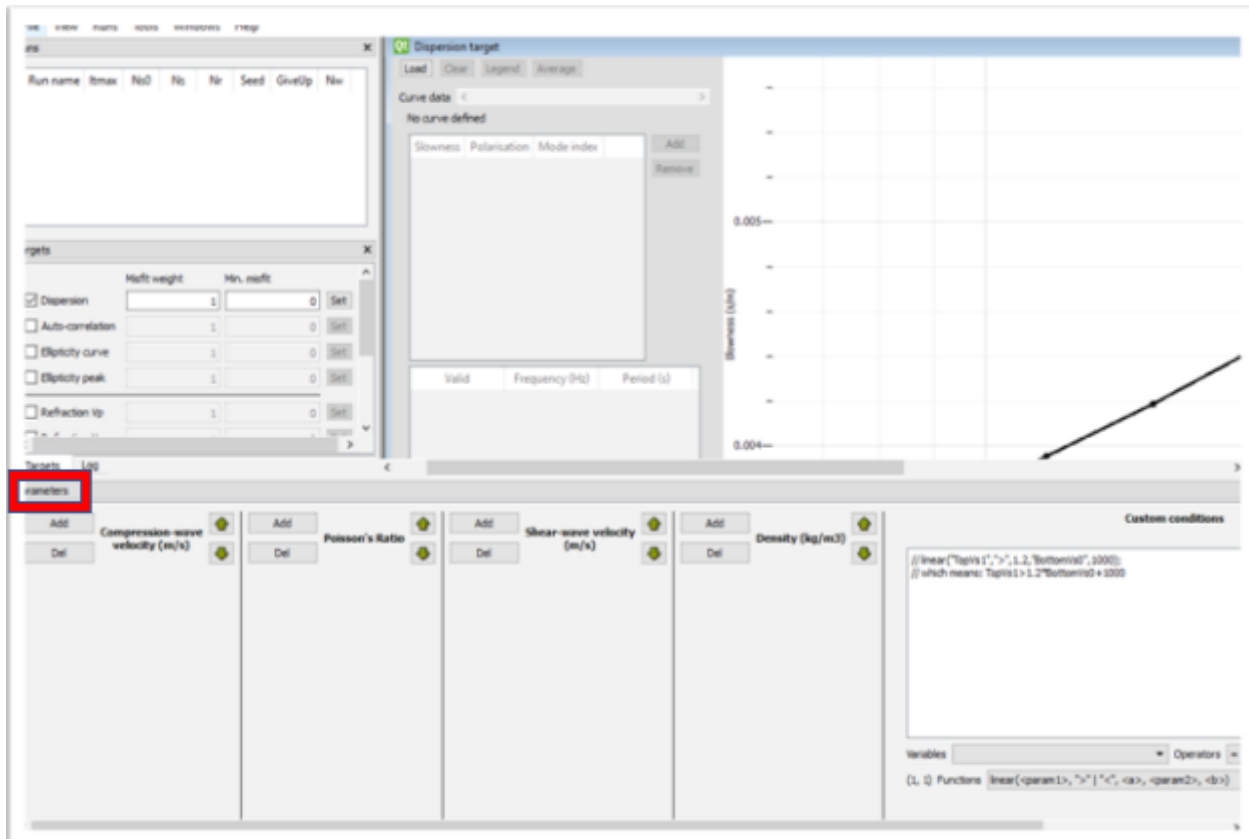


Figura 4-15 Parametrización necesaria para la inversión

Después de cargar la curva de dispersión e ingresar la parametrización correspondiente, procedemos a añadir una corrida eligiendo la opción Runs – Add e ingresando los valores Itmax=100, Ns0=100, Ns=100 y Nr=100, obteniendo un mínimo de 10100 modelos, en caso de

necesitar una mejor definición de modelos los valores serán de 100, 100, 200 y 200 generando 20100 modelos.

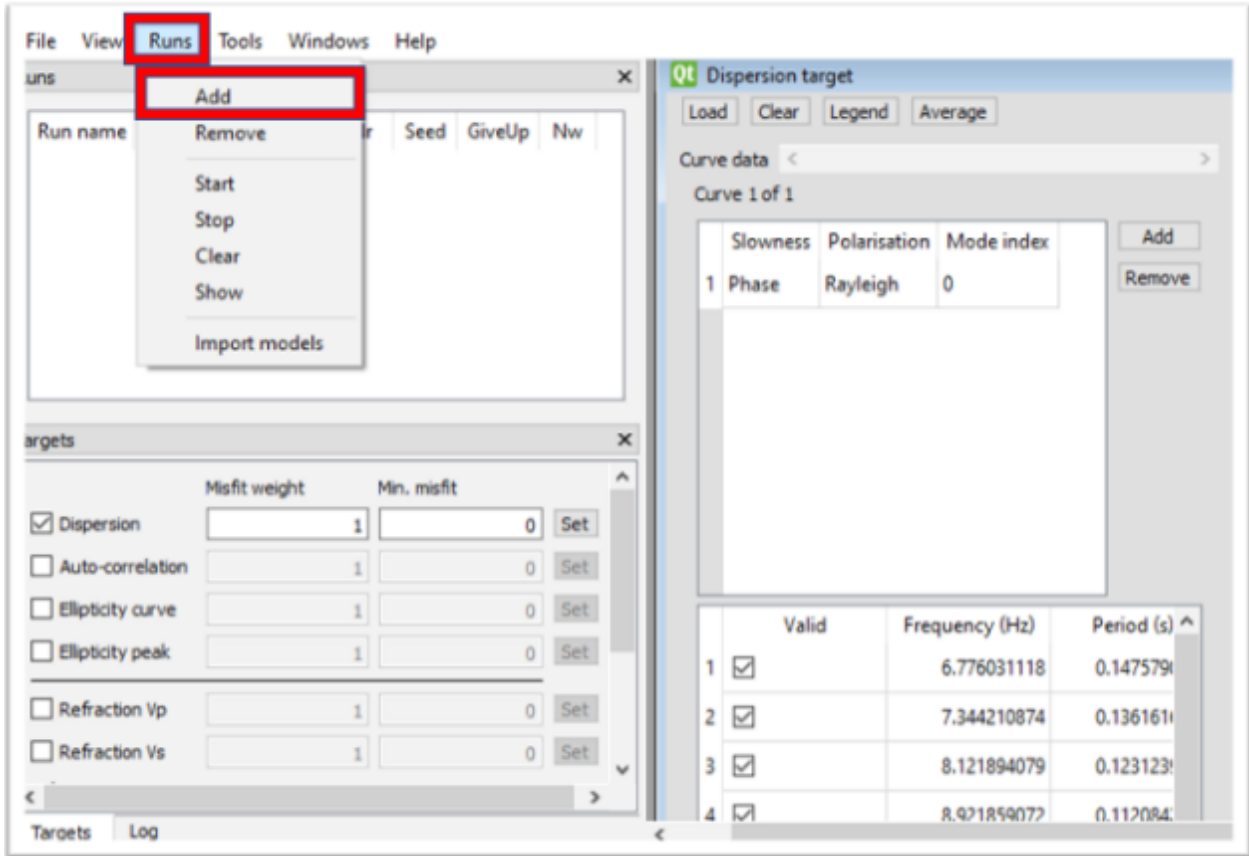


Figura 4-16 Proceso para añadir una nueva corrida de inversión.

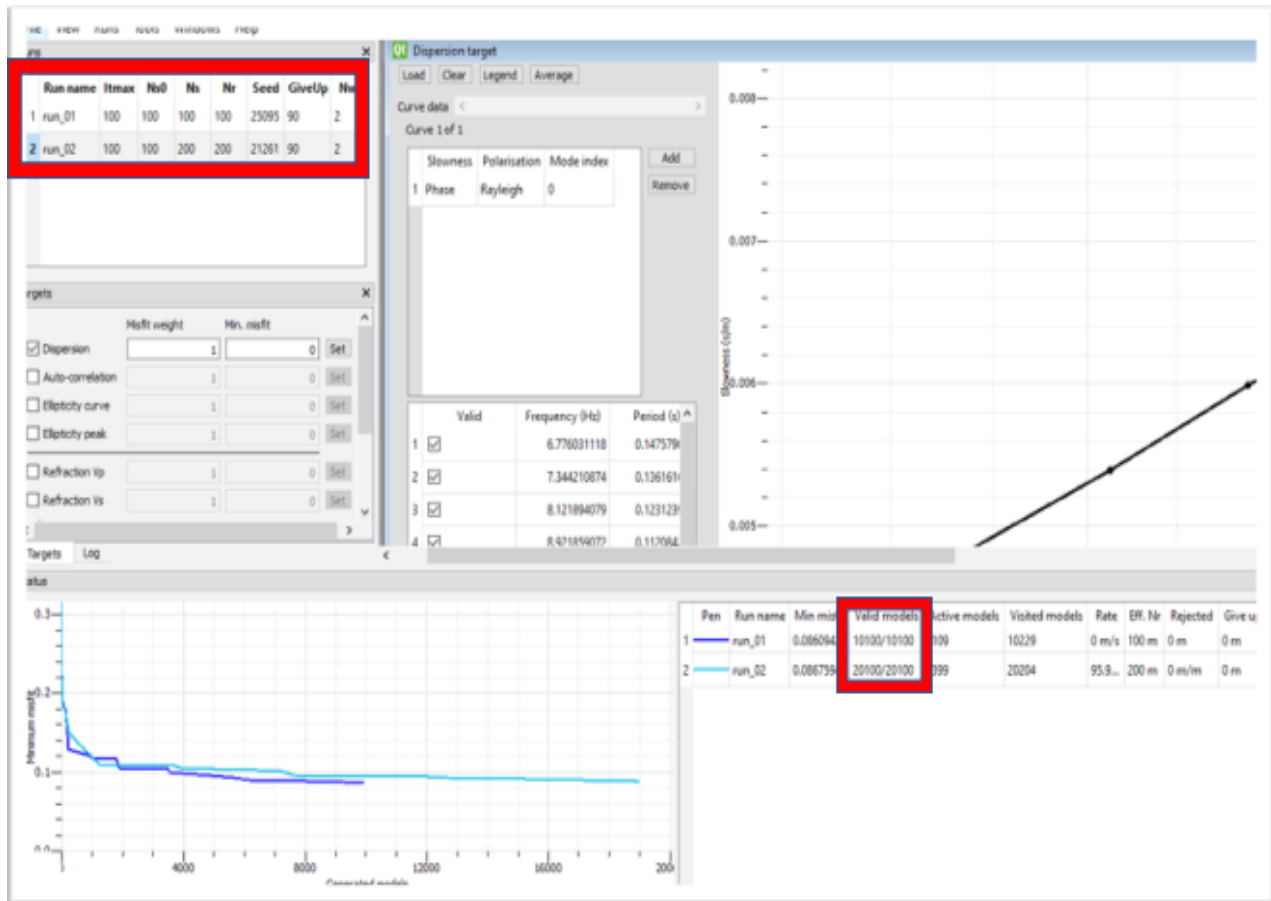


Figura 4-17 Generación de corridas con valores de iteraciones correspondientes

Finalizada la corrida y una vez generada la totalidad de modelos válidos, procedemos a observar la curva de dispersión teórica y experimental además del modelo 1D de Vs a 30m eligiendo la opción View, Dispersion y View, Ground profiles como se muestra a continuación;

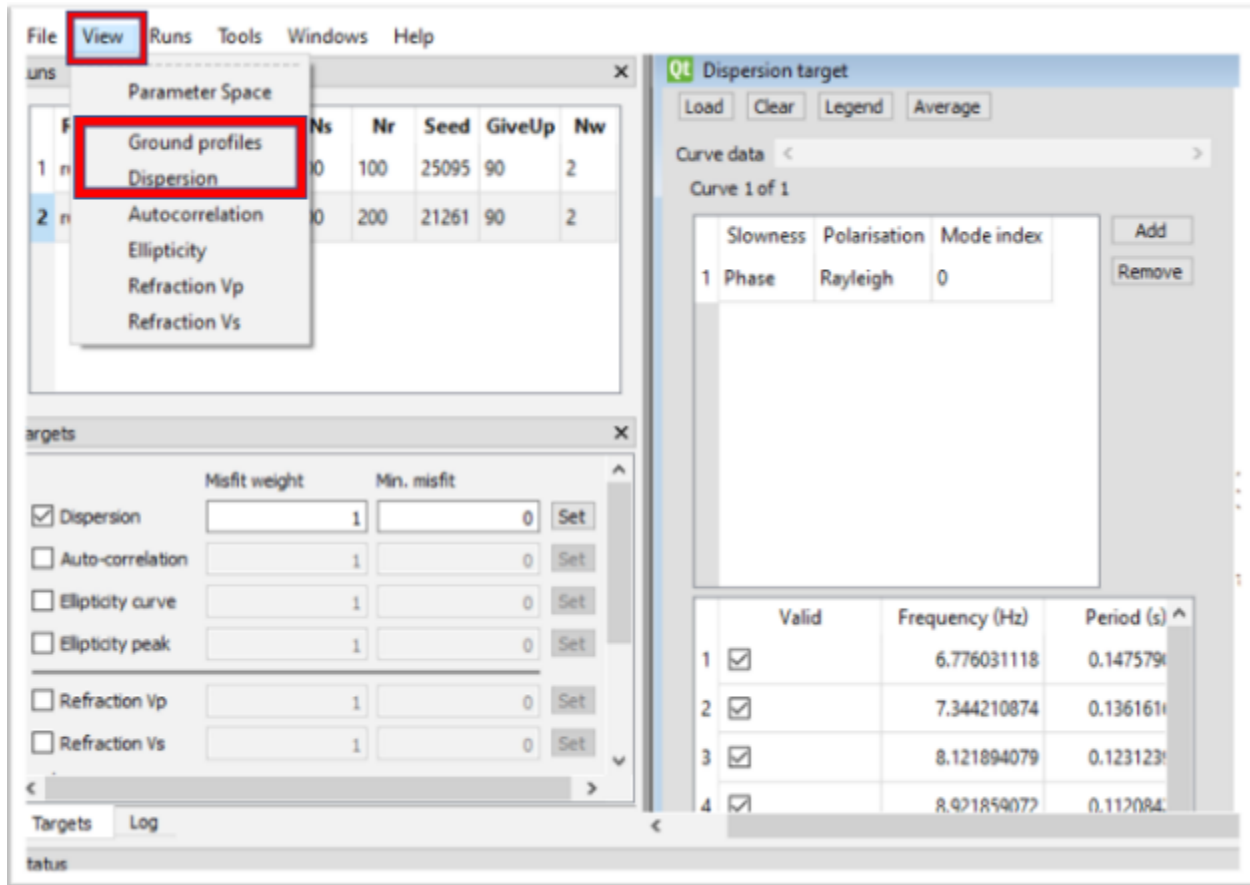


Figura 4-18 Proceso para visualizar la curva de dispersión teórica y experimental y el modelo 1D de Vs a 30m.

4.5 Cálculo Vs30

Una vez obtenidos todos los modelos 1D de velocidad de onda de corte en función de la profundidad de los 46 arreglos lineales, se procede a realizar el cálculo de las velocidades de onda de corte en los primeros 30m.

4.6 Ejemplo de procesamiento de datos obtenidos en campo

En esta subdivisión del capítulo se presenta dos ejemplos seleccionados estratégicamente de líneas sísmicas utilizando el procesamiento previamente descrito. El primer ejemplo corresponde a la línea sísmica (T12) ejecutada en el lugar donde se realizó la perforación P002 debido a que los sitios de perforaciones son lugares de calibración que cuentan con datos reales de las propiedades

mecánicas y dinámicas del suelo para realizar el procesamiento de las líneas sísmicas intermedias. El segundo modelo concierne a la línea sísmica T30, la cual está ubicada en la zona donde el perfil geotécnico se torna muy heterogéneo.

La selección de los ejemplos tiene como finalidad definir una metodología para realizar un correcto procesamiento de las señales sísmicas que varía dependiendo de las condiciones específicas del lugar de estudio. El cual contempla la depuración de la curva de dispersión teórica y la parametrización óptima de inversión para generar modelos 1D (V_s -profundidad).

4.6.1 Ejemplo de procesamiento en zona de calibración P002.

4.6.1.1 Trazas sísmicas tendido 12.

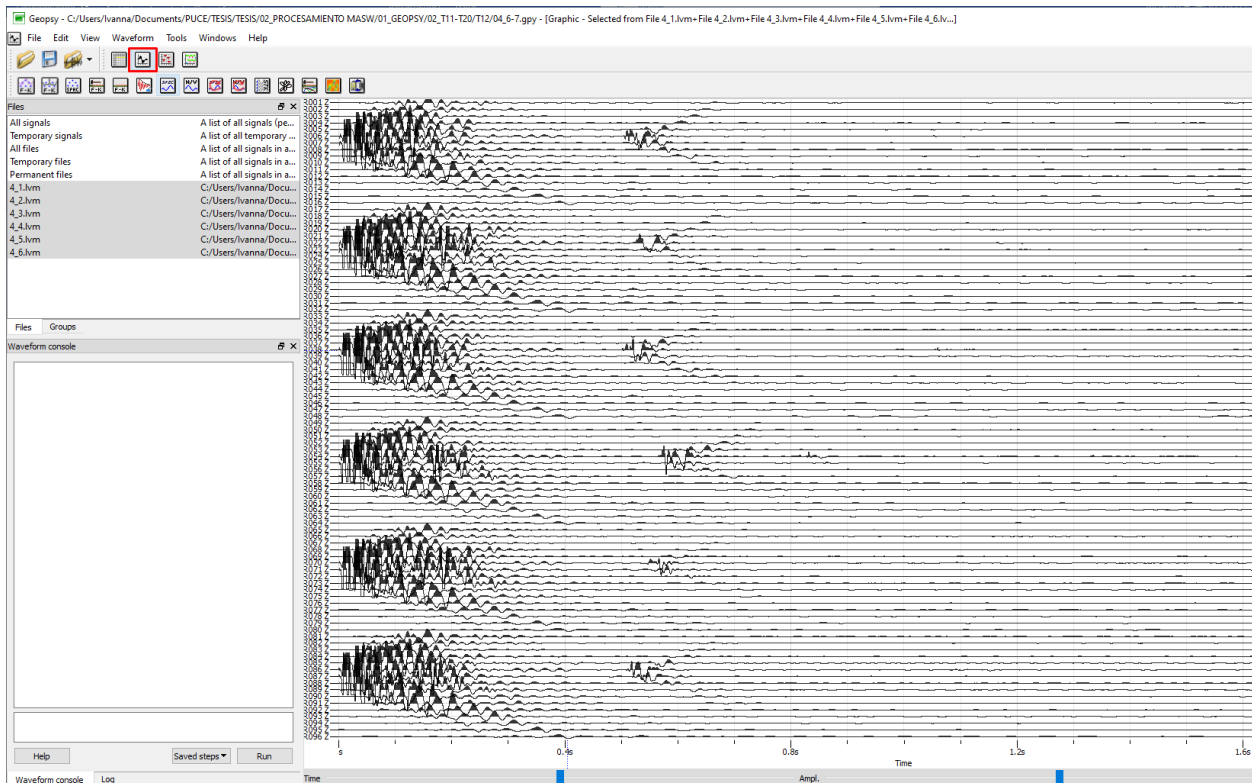


Figura 4-19 Trazas sísmicas tendido 12, disparo realizado entre geófonos 6-7.

4.6.1.2 Espectro de velocidad de fase en función de la frecuencia.

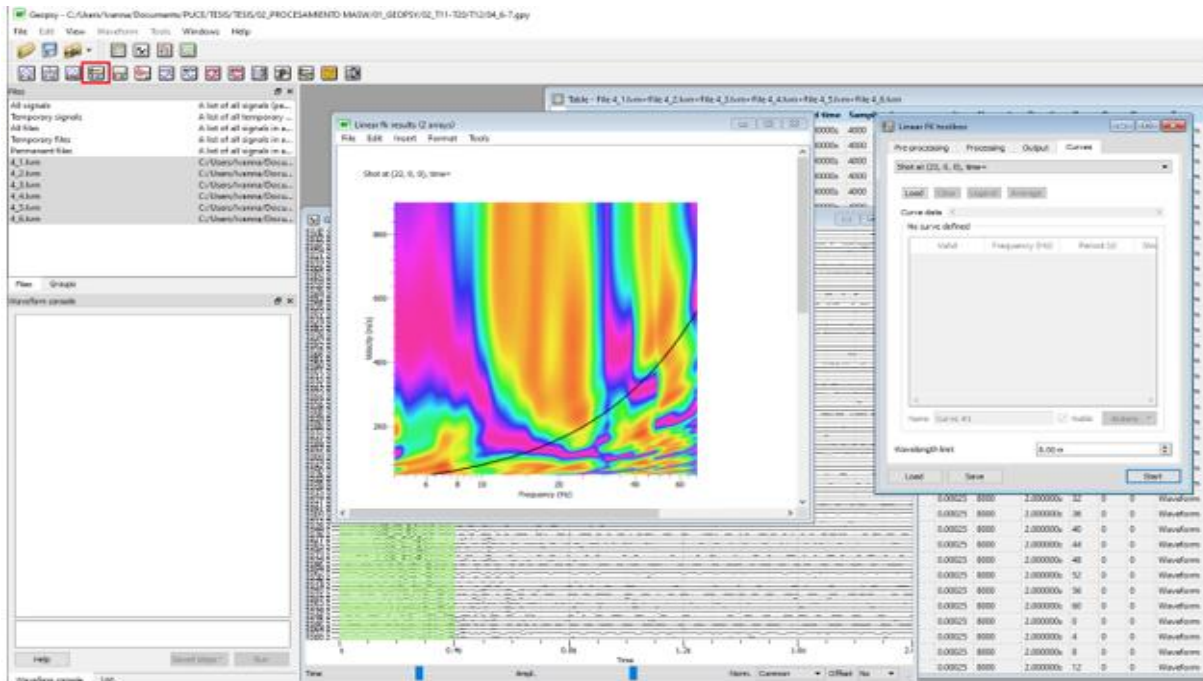


Figura 4-20 Espectro de velocidad de fase en función de la frecuencia. La línea continua negra representa el límite mínimo de longitud de onda.

4.6.1.3 Selección de puntos para generar la curva de dispersión teórica.

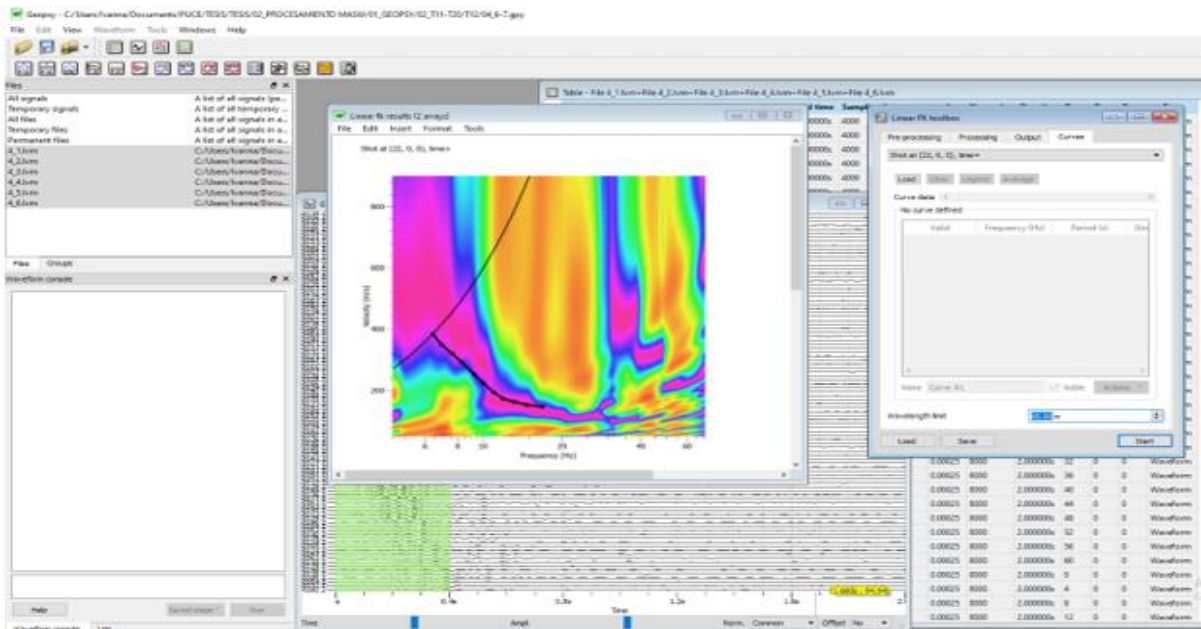


Figura 4-21 Espectro de velocidad de fase en función de la frecuencia. La línea continua negra representa el límite máximo de longitud de onda y la línea negra punteada corresponde a la selección de la curva de dispersión.

4.6.1.4 Inversión de curva de dispersión

En este paso del procesamiento se puede evidenciar la importancia de la inclusión de este ejemplo debido a que la parametrización utilizada corresponde a las propiedades mecánicas y dinámicas entregados en el perfil geotécnico (Figura 4-12), las cuales son utilizadas como base o punto de partida para generar los modelos 1D en el resto del perfil.

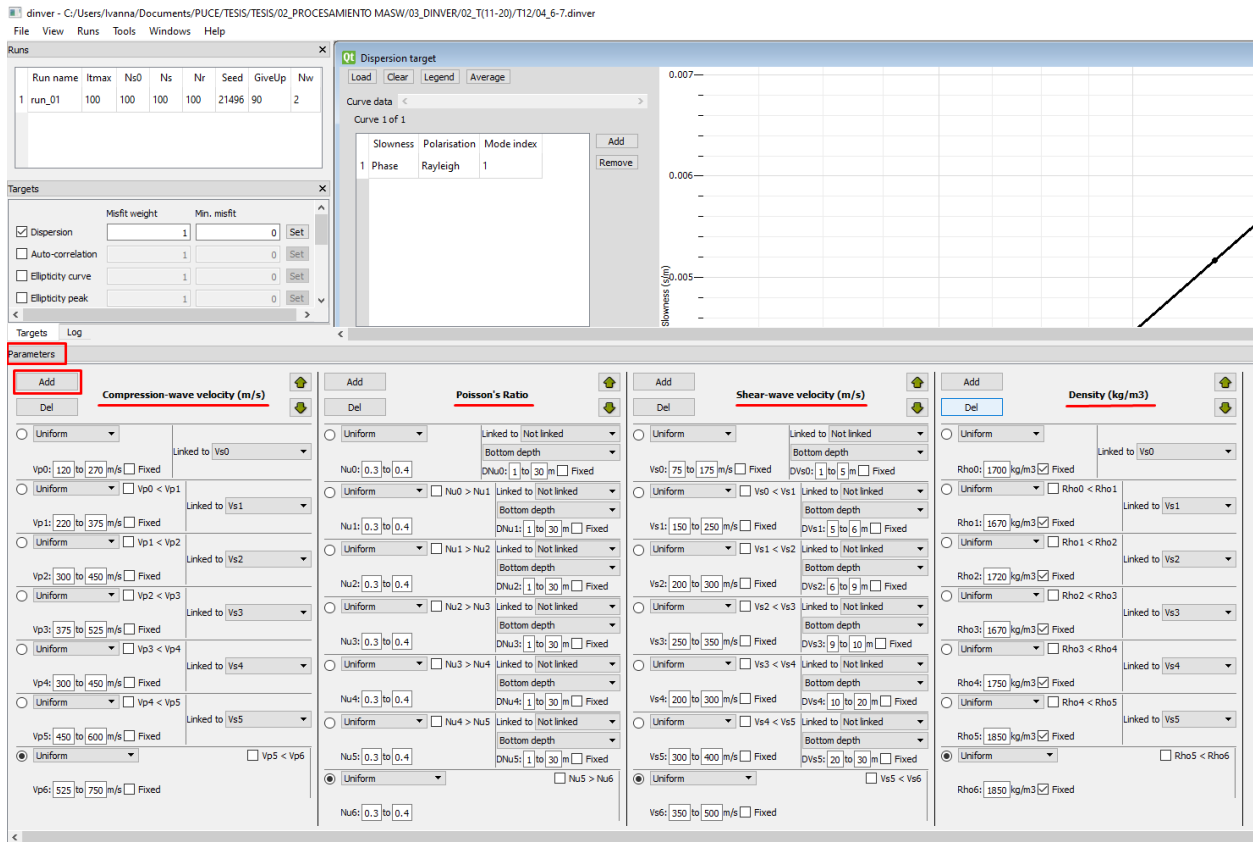


Figura 4-22 Parametrización con propiedades mecánicas y dinámicas del pozo P002.

4.6.1.5 Curva de dispersión experimental y teórica

La curva de dispersión experimental se genera a partir de la parametrización ingresada y es comparada con la curva de dispersión teórica, dicha comparación indica si la parametrización es óptima o deberá ser modificada. Para el caso mostrado se aprecia la similitud de las curvas lo cual

denota la concordancia entre el método geofísico aplicado y la perforación geotécnica ejecutada (P002).

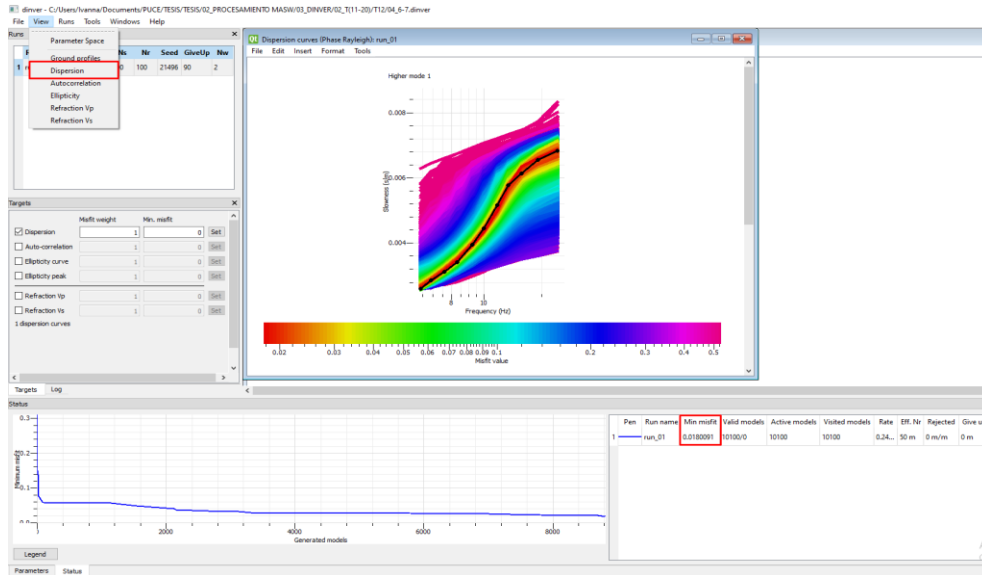


Figura 4-23 Comparación de la curva de dispersión experimental y teórica.

4.6.1.6 Modelo 1D (Vs-profundidad)

El modelo 1D (Vs-profundidad) obtenido coincide con las propiedades mecánicas y dinámicas de la perforación geotécnica en la zona estudiada.

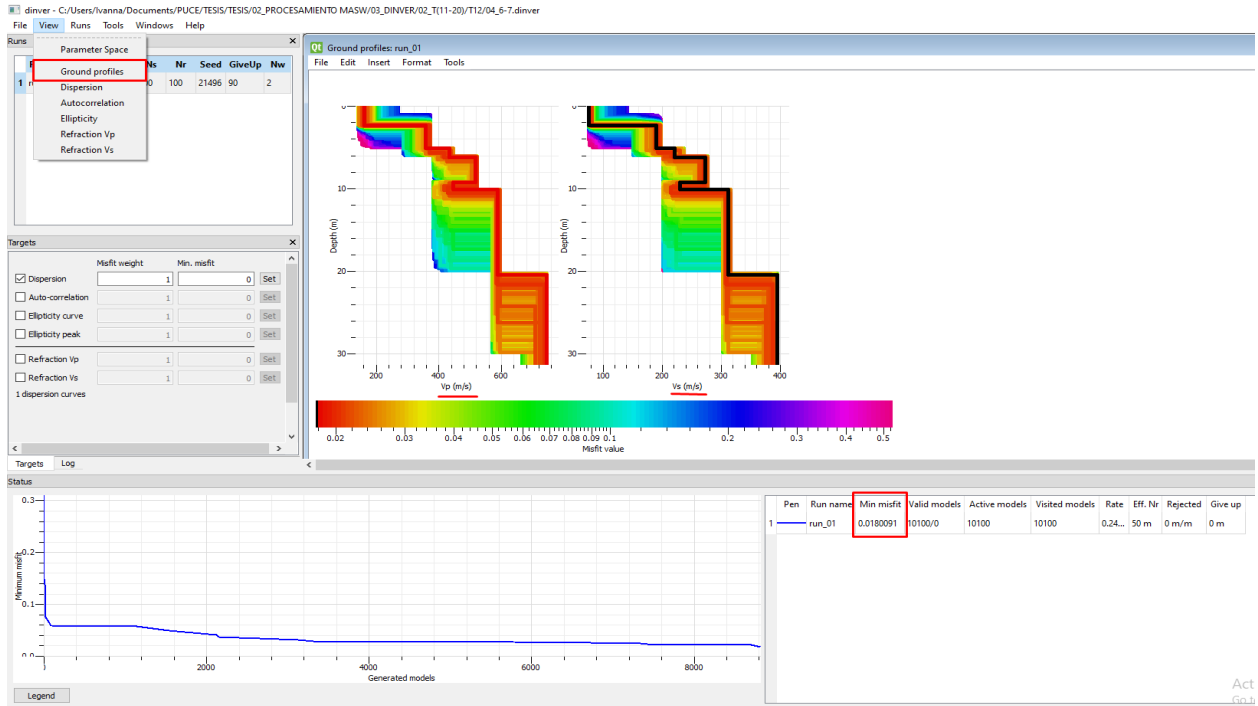


Figura 4-24 Modelo 1D (Vs-profundidad) correspondiente al tendido 12.

4.6.2 Ejemplo de procesamiento en la zona heterogénea del perfil geotécnico.

A continuación, se presenta el procesamiento de una línea sísmica en un sector donde no se cuenta con datos representativos de toda la zona de interés. Esta metodología nos proporciona un punto de partida para generar iteraciones hasta llegar a un modelo Vs-profundidad confiable. Particularmente hablando de este ejemplo, se cuenta con dos perforaciones (P001-P004) separadas por aproximadamente 2.4 kilómetros, con la particularidad de que la composición del subsuelo presente varia notablemente entre los dos pozos.

4.6.2.1 Trazas sísmicas tendido 30

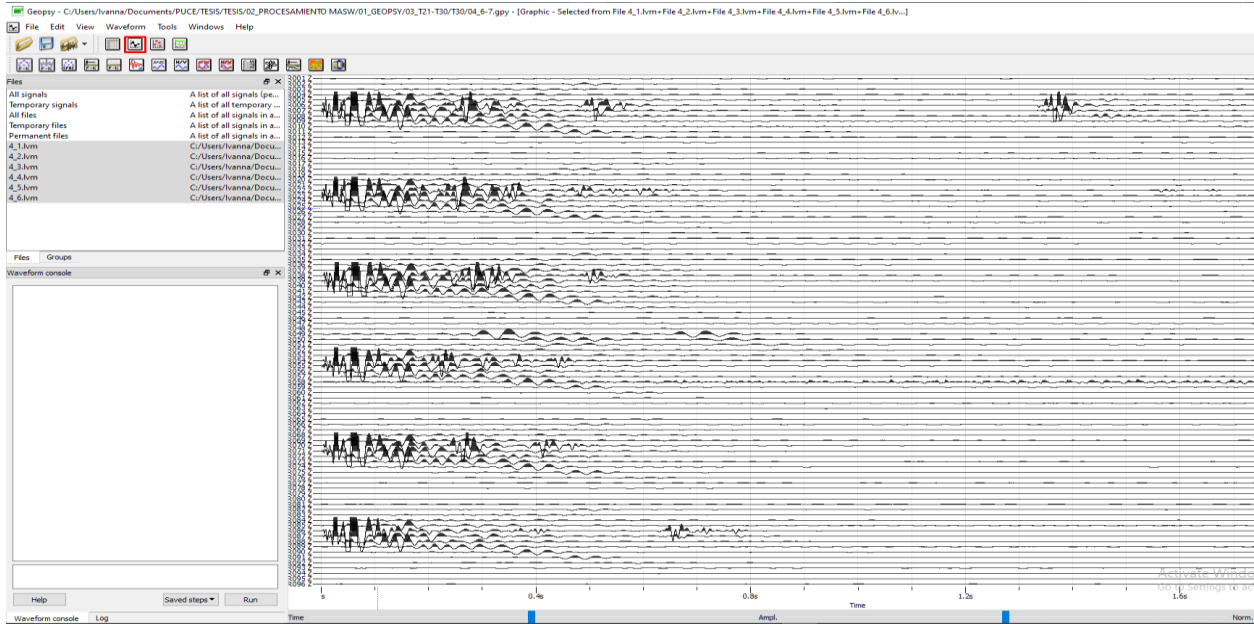


Figura 4-25 Trazas sísmicas tendido 30, disparo realizado entre geófono 6 y 7.

4.6.2.2 Espectro de velocidad de fase en función de la frecuencia

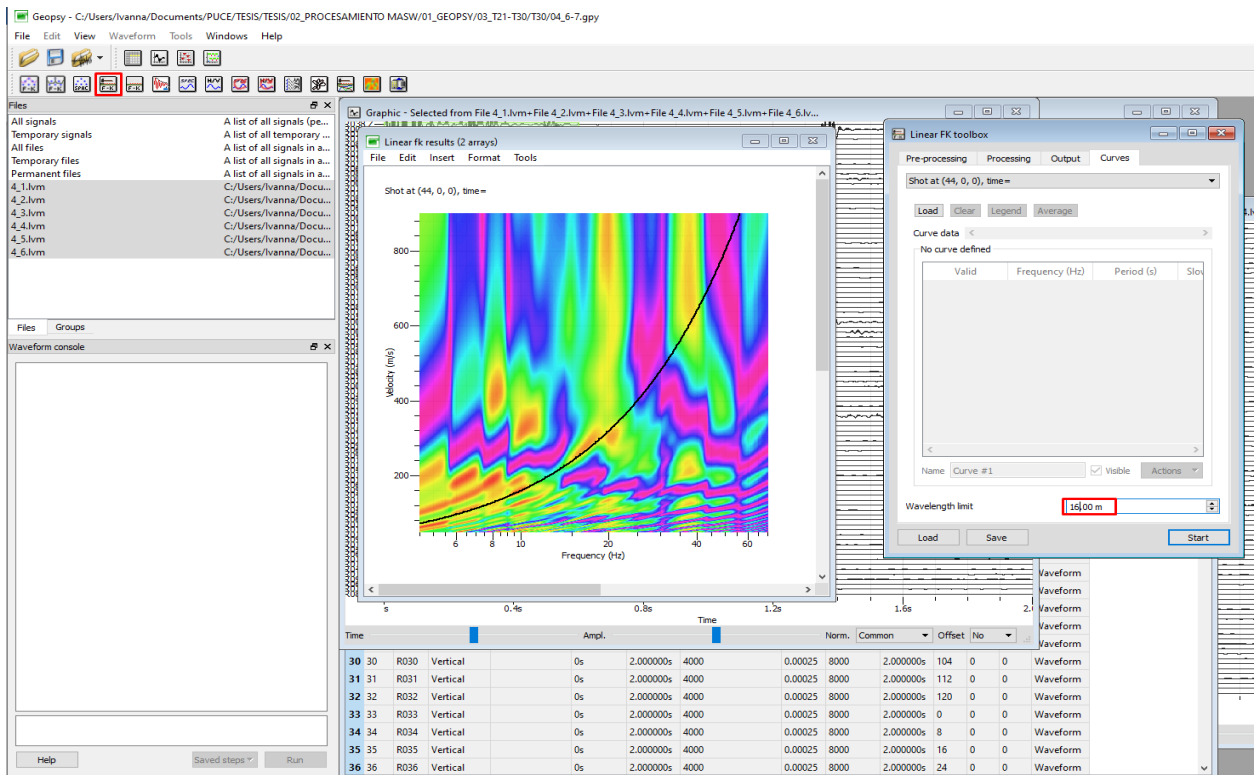


Figura 4-26 Espectro de velocidad de fase en función a la frecuencia. La línea continua negra representa el límite mínimo de longitud de onda.

4.6.2.3 Selección de puntos para generar la curva de dispersión teórica.

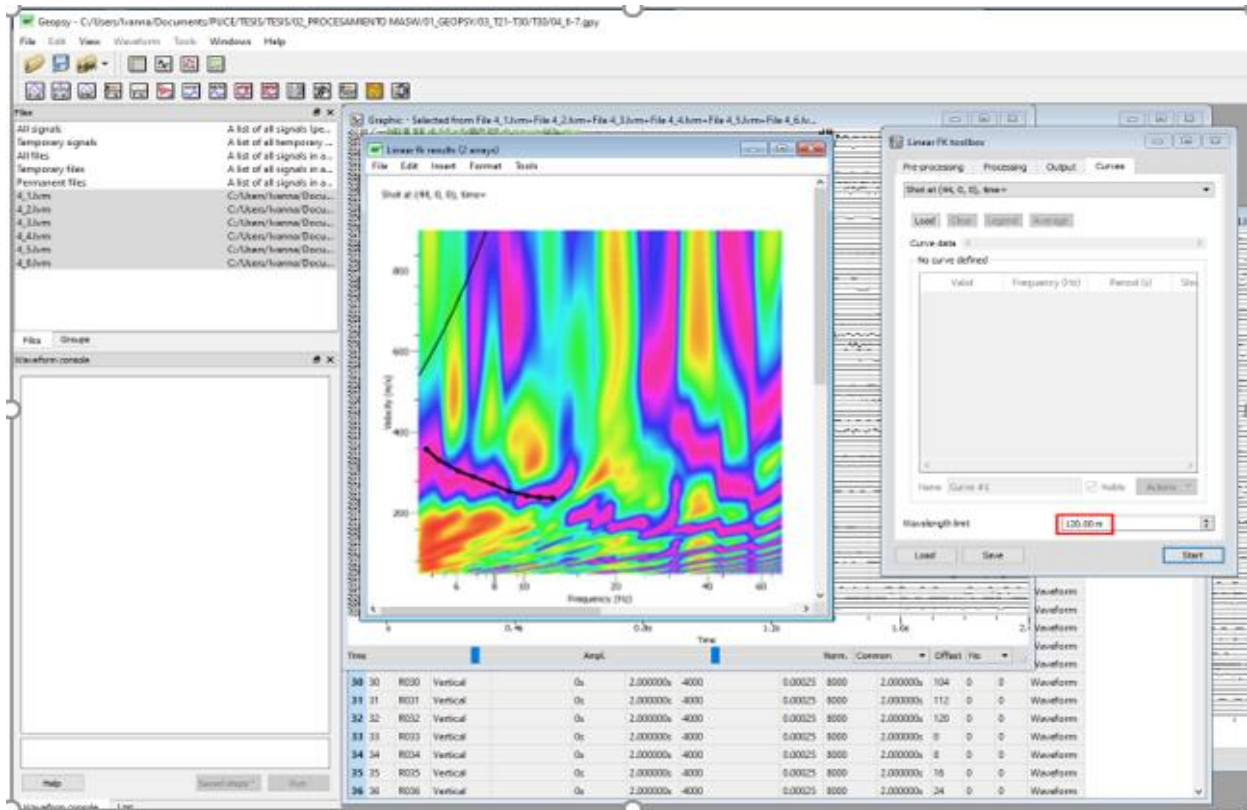


Figura 4-27 Espectro de velocidad de fase en función de la frecuencia. La línea continua negra representa el límite máximo de longitud de onda y la línea negra punteada corresponde a la selección de la curva de dispersión.

4.6.2.4 Inversión de curva de dispersión.

A causa de la ausencia de información geotécnica propia de esta zona ha sido necesario realizar múltiples iteraciones variando la parametrización. La parametrización inicial consistió en un modelo de tres estratos, con rangos de velocidad V_s , V_p , relación de Poisson y densidad definidos a partir de la información extraída de las perforaciones P001y P004. La iteración final consistió en un modelo de 6 estratos con sus respectivos cambios en velocidad V_s , V_p , relación de Poisson y densidad. Con esta parametrización se logró el mejor ajuste entre las curvas teórica y experimental.

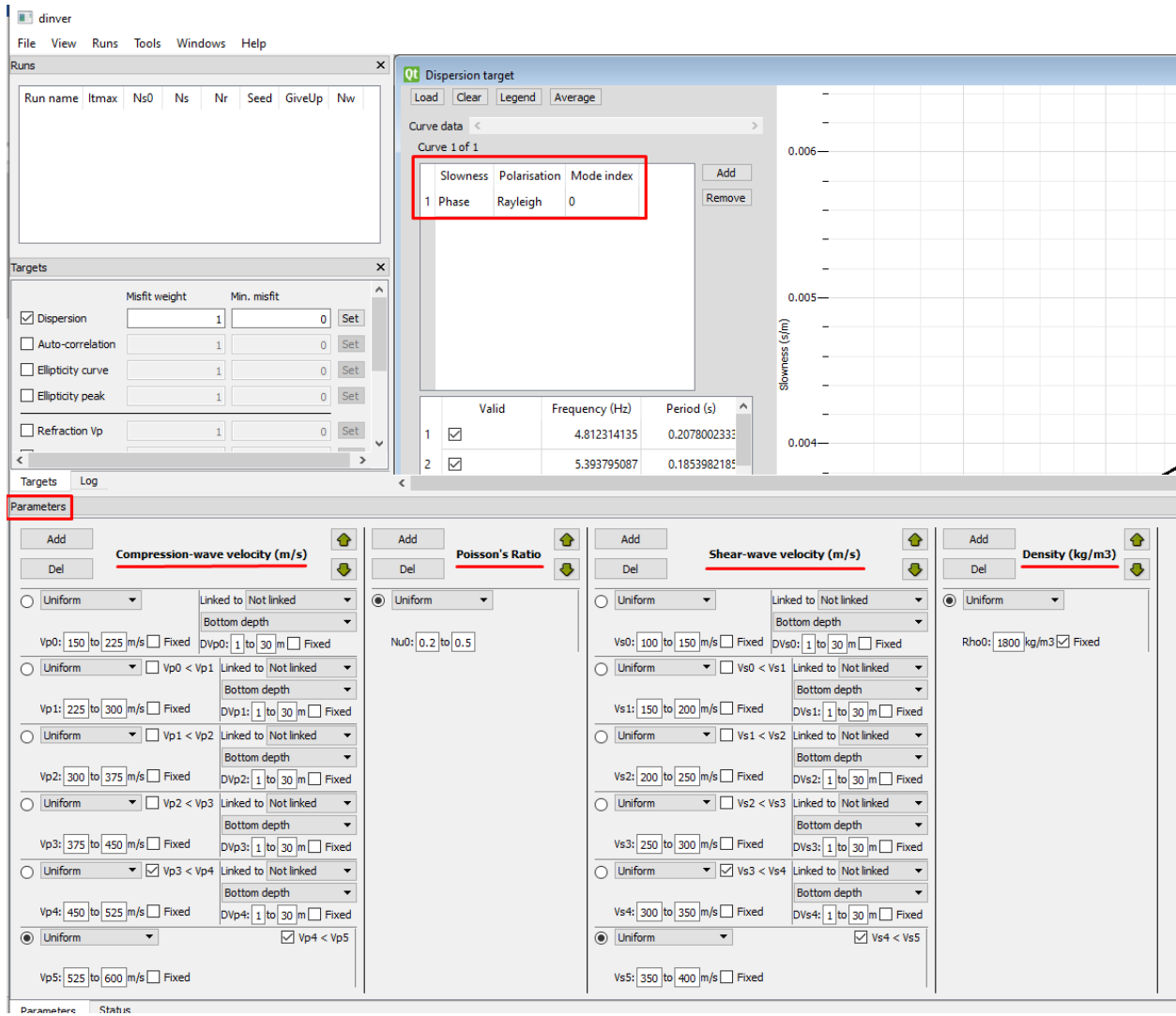


Figura 4-28 Parametrización utilizada en la iteración final para generar el modelo Vs-profundidad.

4.6.2.5 Curva de dispersión experimental y teórica.

Resulta conveniente la introducción de un caso donde la curva experimental y teórica no coinciden de forma adecuada a causa de que la parametrización empleada no es la óptima, los límites de longitud de onda no fueron considerados y la selección manual de la curva de dispersión teórica no representa en su totalidad al modelo deseado.

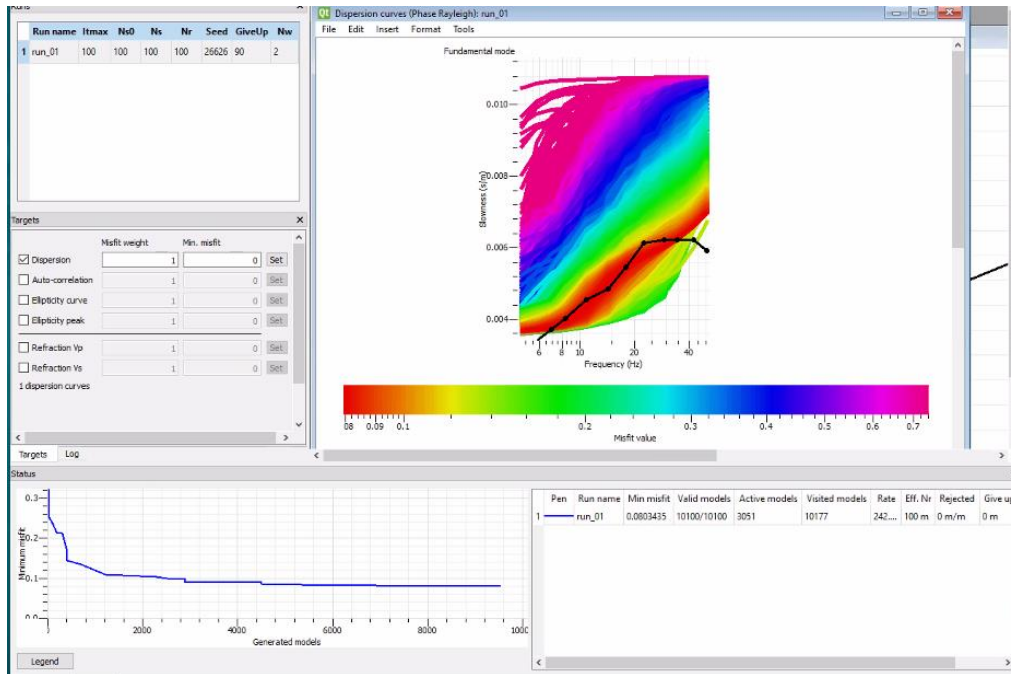


Figura 4-29 Diferencia entre curva experimental y teórica debido a un incorrecto procesamiento.

Para contrarrestar estos errores y lograr una similitud entre curvas (Figura 4-30) es necesario cambiar los parámetros de inversión y mejorar la selección manual de la curva de dispersión teórica. Es conveniente escoger puntos de la curva experimental de la zona que menor desajuste presente (franja roja) en términos de velocidad de fase y frecuencia para utilizarlos en la nueva selección manual de la curva teórica tomando en cuenta los límites de onda máximo y mínimo definidos a partir de la geometría del arreglo sísmico.

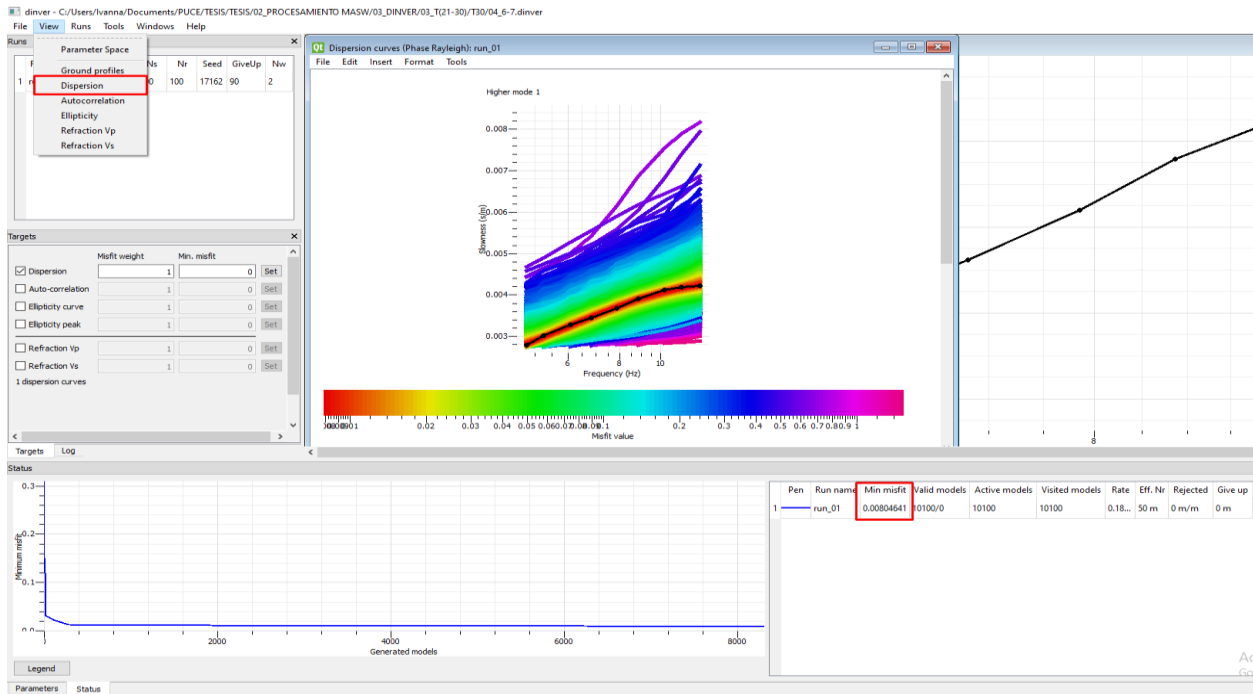


Figura 4-30 Relación de curvas de dispersión experimental y teórica con acciones correctivas.

4.6.2.6 Modelo 1D (Vs-profundidad)

Se presenta el modelo 1D (Vs-profundidad) obtenido con la última iteración realizada.

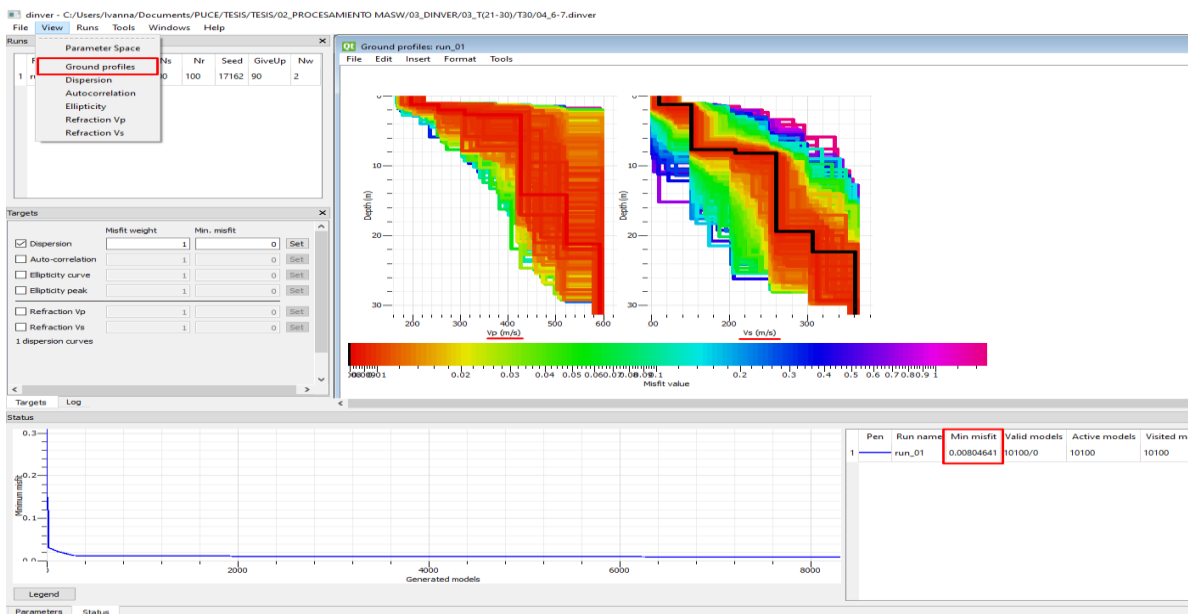


Figura 4-31 Modelo 1D (Vs-profundidad) correspondiente al T30.

5. Capítulo 5

RESULTADOS

Los resultados que se muestran a continuación fueron obtenidos a partir del método geofísico MASW donde se muestra un perfil estratigráfico y el cálculo de la velocidad de corte en los 30 primeros metros (V_{s30}).

5.1 Perfil estratigráfico.

El perfil está constituido por una estratificación generada por profundidades y valores de onda de corte en cada estrato.

Para cada línea sísmica se ejecutaron 9 disparos de adquisición a lo largo de toda su extensión, se obtuvieron 9 modelos 1D con su punto de atribución en la mitad de la línea sísmica, de los cuales se seleccionaron los de mayor similitud en cuanto a sus propiedades mecánicas y dinámicas, en base a este criterio se elaboró la interpolación conservando los datos de adquisición real que verifica la trayectoria e interpretación del perfil en función de la velocidad de onda y profundidad. Se establecieron rangos de velocidad que definen los estratos identificados en la generación del perfil.

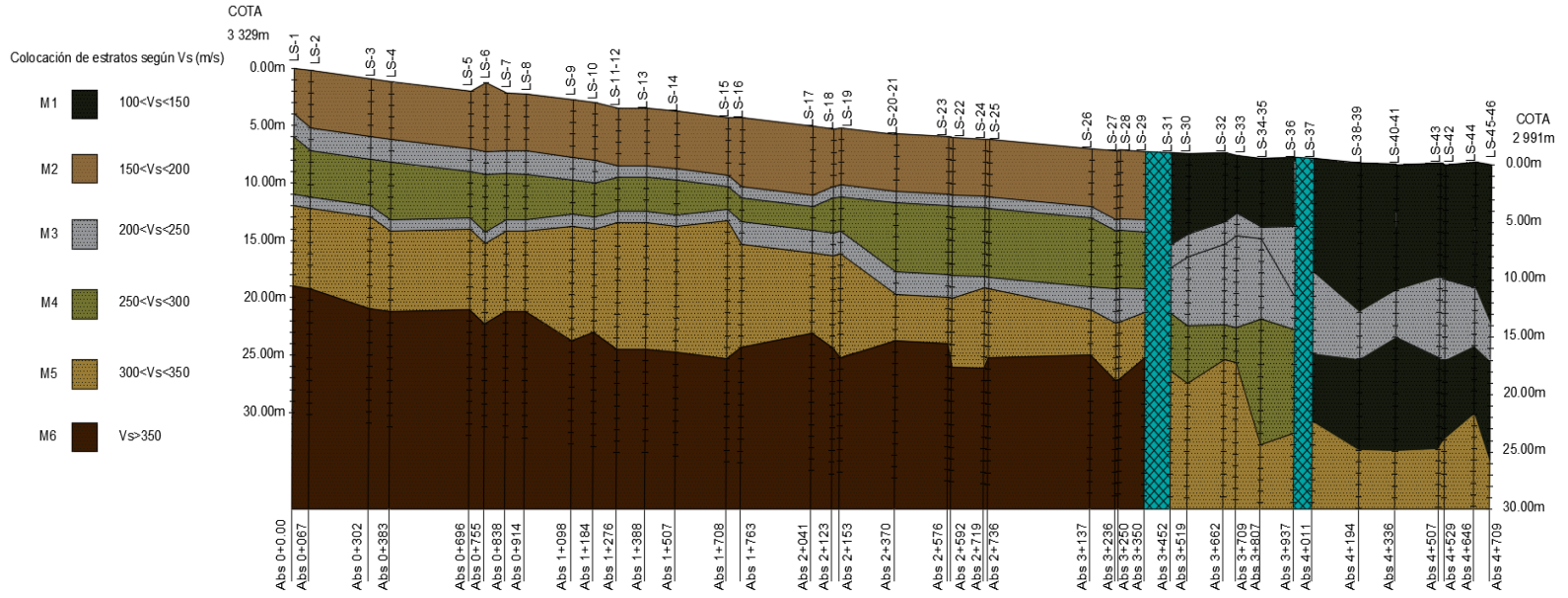


Figura 5-1 Perfil geofísico generado a partir de la interpolación de líneas sísmicas.

5.2 Vs30

A lo largo de cada línea sísmica se ejecutaron 9 disparos de adquisición, para cada posición de disparo a lo largo de la línea sísmica se obtuvo un modelo 1D, se realizó el cálculo Vs30 para cada uno de los modelos generados. A partir de los resultados de Vs30 se localizó tres zonas definidas por cambios marcados en la estratificación y las propiedades dinámicas subsuelo a lo largo del perfil 1-1.

Con el objetivo de generar rangos de velocidades Vs30 para cada una de las 3 zonas determinadas se generaron medidas de tendencia central y dispersión (media aritmética y desviación estándar), suponiendo una distribución uniforme debido a similitud en la estratificación para cada zona definida.

Tener en cuenta que en una distribución normal aproximadamente el 65% de los valores estará dentro de ± 1 desviación estándar a partir de la media, este criterio es empleado para definir los rangos de velocidad de Vs30 que se usaran posteriormente para clasificar el suelo según la NEC.

5.2.1 Zona 1

Esta zona se extiende a lo largo de las líneas sísmicas 1 hasta la 29 que abarca las abscisas 0+000 y 3+350.

Tendidos	Observación (x)	Media $\mu = \sum x / 255$	Desviación (x- μ)	Desviación al cuadrado (x- μ) ²	Observación al cuadrado (x ²)
1	249.21	262.3431	-13.1331	172.478	62105.6241
	255.91	262.3431	-6.4331	41.385	65489.9281
	278.36	262.3431	16.0169	256.541	77484.2896
	274.7	262.3431	12.3569	152.693	75460.09
	259.44	262.3431	-2.9031	8.428	67309.1136
	237.58	262.3431	-24.7631	613.211	56444.2564
	253.11	262.3431	-9.2331	85.250	64064.6721
	266.77	262.3431	4.4269	19.597	71166.2329
	284.91	262.3431	22.5669	509.265	81173.7081
2	258.13	262.3431	-4.2131	17.750	66631.0969
	249.87	262.3431	-12.4731	155.578	62435.0169
	274.06	262.3431	11.7169	137.286	75108.8836
	260.72	262.3431	-1.6231	2.634	67974.9184
	254	262.3431	-8.3431	69.607	64516
	275.51	262.3431	13.1669	173.367	75905.7601
	253.67	262.3431	-8.6731	75.223	64348.4689
	254.29	262.3431	-8.0531	64.852	64663.4041
3	267.42	262.3431	5.0769	25.775	71513.4564
	273.03	262.3431	10.6869	114.210	74545.3809
	263.33	262.3431	0.9869	0.974	69342.6889
	262.33	262.3431	-0.0131	0.000	68817.0289
	269.29	262.3431	6.9469	48.259	72517.1041
	273.63	262.3431	11.2869	127.394	74873.3769
	269.55	262.3431	7.2069	51.939	72657.2025
	252.85	262.3431	-9.4931	90.119	63933.1225
	264.28	262.3431	1.9369	3.752	69843.9184
4	264.28	262.3431	1.9369	3.752	69843.9184

	251.42	262.3431	-10.9231	119.314	63212.0164
	250.54	262.3431	-11.8031	139.313	62770.2916
	239.33	262.3431	-23.0131	529.603	57278.8489
	255.39	262.3431	-6.9531	48.346	65224.0521
	267.17	262.3431	4.8269	23.299	71379.8089
	258.69	262.3431	-3.6531	13.345	66920.5161
	265.89	262.3431	3.5469	12.581	70697.4921
	259.14	262.3431	-3.2031	10.260	67153.5396
5	256.8	262.3431	-5.5431	30.726	65946.24
	266.18	262.3431	3.8369	14.722	70851.7924
	254.6	262.3431	-7.7431	59.956	64821.16
	266.85	262.3431	4.5069	20.312	71208.9225
	255.5	262.3431	-6.8431	46.828	65280.25
	262.86	262.3431	0.5169	0.267	69095.3796
	261.05	262.3431	-1.2931	1.672	68147.1025
	251.03	262.3431	-11.3131	127.986	63016.0609
	251.74	262.3431	-10.6031	112.426	63373.0276
6	222.69	262.3431	-39.6531	1572.368	49590.8361
	258.29	262.3431	-4.0531	16.428	66713.7241
	257.86	262.3431	-4.4831	20.098	66491.7796
	269.2	262.3431	6.8569	47.017	72468.64
	266.81	262.3431	4.4669	19.953	71187.5761
	273.71	262.3431	11.3669	129.206	74917.1641
	262.84	262.3431	0.4969	0.247	69084.8656
	261.58	262.3431	-0.7631	0.582	68424.0964
	257.1	262.3431	-5.2431	27.490	66100.41
7	241.13	262.3431	-21.2131	449.996	58143.6769
	261.13	262.3431	-1.2131	1.472	68188.8769
	248.6	262.3431	-13.7431	188.873	61801.96
	251.49	262.3431	-10.8531	117.790	63247.2201
	231.64	262.3431	-30.7031	942.680	53657.0896
	268.76	262.3431	6.4169	41.177	72231.9376
	254.19	262.3431	-8.1531	66.473	64612.5561
	270.06	262.3431	7.7169	59.551	72932.4036
	267.16	262.3431	4.8169	23.203	71374.4656
8	270.73	262.3431	8.3869	70.340	73294.7329
	248.69	262.3431	-13.6531	186.407	61846.7161
	270.05	262.3431	7.7069	59.396	72927.0025
	261.26	262.3431	-1.0831	1.173	68256.7876
	251.31	262.3431	-11.0331	121.729	63156.7161
	263.97	262.3431	1.6269	2.647	69680.1609

	268.07	262.3431	5.7269	32.797	71861.5249
	270.04	262.3431	7.6969	59.242	72921.6016
	265.22	262.3431	2.8769	8.277	70341.6484
9	253.95	262.3431	-8.3931	70.444	64490.6025
	261.21	262.3431	-1.1331	1.284	68230.6641
	242.5	262.3431	-19.8431	393.749	58806.25
	250.99	262.3431	-11.3531	128.893	62995.9801
	259.04	262.3431	-3.3031	10.910	67101.7216
	245.71	262.3431	-16.6331	276.660	60373.4041
	258.22	262.3431	-4.1231	17.000	66677.5684
	270.57	262.3431	8.2269	67.682	73208.1249
	271.56	262.3431	9.2169	84.951	73744.8336
	10	280.43	262.3431	18.0869	327.136
279.32		262.3431	16.9769	288.215	78019.6624
245.45		262.3431	-16.8931	285.377	60245.7025
280.13		262.3431	17.7869	316.374	78472.8169
252.35		262.3431	-9.9931	99.862	63680.5225
267.21		262.3431	4.8669	23.687	71401.1841
258.92		262.3431	-3.4231	11.718	67039.5664
233.9		262.3431	-28.4431	809.010	54709.21
11	239.91	262.3431	-22.4331	503.244	57556.8081
	275.83	262.3431	13.4869	181.897	76082.1889
	258.15	262.3431	-4.1931	17.582	66641.4225
	271.74	262.3431	9.3969	88.302	73842.6276
	280.12	262.3431	17.7769	316.018	78467.2144
	284.17	262.3431	21.8269	476.414	80752.5889
	278.89	262.3431	16.5469	273.800	77779.6321
	239.75	262.3431	-22.5931	510.448	57480.0625
	247.3	262.3431	-15.0431	226.295	61157.29
12	270.87	262.3431	8.5269	72.708	73370.5569
	265.72	262.3431	3.3769	11.403	70607.1184
	279.14	262.3431	16.7969	282.136	77919.1396
	278.75	262.3431	16.4069	269.186	77701.5625
	288.23	262.3431	25.8869	670.132	83076.5329
	273.81	262.3431	11.4669	131.490	74971.9161
	284.97	262.3431	22.6269	511.977	81207.9009
	280.48	262.3431	18.1369	328.947	78669.0304
	269.68	262.3431	7.3369	53.830	72727.3024
13	283.13	262.3431	20.7869	432.095	80162.5969
	278.58	262.3431	16.2369	263.637	77606.8164
	281.54	262.3431	19.1969	368.521	79264.7716

	235.87	262.3431	-26.4731	700.825	55634.6569
	262.11	262.3431	-0.2331	0.054	68701.6521
	255.14	262.3431	-7.2031	51.885	65096.4196
	274.6	262.3431	12.2569	150.232	75405.16
	254.2	262.3431	-8.1431	66.310	64617.64
	245.48	262.3431	-16.8631	284.364	60260.4304
	275.16	262.3431	12.8169	164.273	75713.0256
	277.05	262.3431	14.7069	216.293	76756.7025
14	264.32	262.3431	1.9769	3.908	69865.0624
	273.66	262.3431	11.3169	128.072	74889.7956
	253.27	262.3431	-9.0731	82.321	64145.6929
	256.8	262.3431	-5.5431	30.726	65946.24
	278.12	262.3431	15.7769	248.911	77350.7344
	263.34	262.3431	0.9969	0.994	69347.9556
	254.49	262.3431	-7.8531	61.671	64765.1601
	265.88	262.3431	3.5369	12.510	70692.1744
	256.15	262.3431	-6.1931	38.354	65612.8225
	241.16	262.3431	-21.1831	448.724	58158.1456
15	286.64	262.3431	24.2969	590.339	82162.4896
	236.66	262.3431	-25.6831	659.622	56007.9556
	242.09	262.3431	-20.2531	410.188	58607.5681
	282	262.3431	19.6569	386.394	79524
	274.75	262.3431	12.4069	153.931	75487.5625
	274.77	262.3431	12.4269	154.428	75498.5529
	284.19	262.3431	21.8469	477.287	80763.9561
	249.06	262.3431	-13.2831	176.441	62030.8836
	266.66	262.3431	4.3169	18.636	71107.5556
	258.65	262.3431	-3.6931	13.639	66899.8225
	267.26	262.3431	4.9169	24.176	71427.9076
16	247.46	262.3431	-14.8831	221.507	61236.4516
	253.58	262.3431	-8.7631	76.792	64302.8164
	263.6	262.3431	1.2569	1.580	69484.96
	257.23	262.3431	-5.1131	26.144	66167.2729
	255.29	262.3431	-7.0531	49.746	65172.9841
	271.25	262.3431	8.9069	79.333	73576.5625
	285.62	262.3431	23.2769	541.814	81578.7844
	274.15	262.3431	11.8069	139.403	75158.2225
17	261.39	262.3431	-0.9531	0.908	68324.7321
	275.62	262.3431	13.2769	176.276	75966.3844
	248.23	262.3431	-14.1131	199.180	61618.1329
	389.15	262.3431	126.8069	16079.990	151437.7225

	286.09	262.3431	23.7469	563.915	81847.4881
	283.8	262.3431	21.4569	460.399	80542.44
18	231.9	262.3431	-30.4431	926.782	53777.61
	250.17	262.3431	-12.1731	148.184	62585.0289
	267.76	262.3431	5.4169	29.343	71695.4176
	248.96	262.3431	-13.3831	179.107	61981.0816
	262.36	262.3431	0.0169	0.000	68832.7696
	276.37	262.3431	14.0269	196.754	76380.3769
	264.42	262.3431	2.0769	4.314	69917.9364
	254.74	262.3431	-7.6031	57.807	64892.4676
	248.51	262.3431	-13.8331	191.355	61757.2201
		263.41	262.3431	1.0669	1.138
19	264.66	262.3431	2.3169	5.368	70044.9156
	265.82	262.3431	3.4769	12.089	70660.2724
	265.85	262.3431	3.5069	12.298	70676.2225
	254.56	262.3431	-7.7831	60.577	64800.7936
	235.05	262.3431	-27.2931	744.913	55248.5025
	283.58	262.3431	21.2369	451.006	80417.6164
	246.1	262.3431	-16.2431	263.838	60565.21
	233.74	262.3431	-28.6031	818.137	54634.3876
20	282.38	262.3431	20.0369	401.477	79738.4644
	257.57	262.3431	-4.7731	22.782	66342.3049
	282.54	262.3431	20.1969	407.915	79828.8516
	281.07	262.3431	18.7269	350.697	79000.3449
	275.8	262.3431	13.4569	181.088	76065.64
	270.74	262.3431	8.3969	70.508	73300.1476
	277.27	262.3431	14.9269	222.812	76878.6529
	280.05	262.3431	17.7069	313.534	78428.0025
21	264.8	262.3431	2.4569	6.036	70119.04
	281.63	262.3431	19.2869	371.985	79315.4569
	279.82	262.3431	17.4769	305.442	78299.2324
	283.28	262.3431	20.9369	438.354	80247.5584
	263.04	262.3431	0.6969	0.486	69190.0416
	277.48	262.3431	15.1369	229.126	76995.1504
	284.32	262.3431	21.9769	482.984	80837.8624
	260.94	262.3431	-1.4031	1.969	68089.6836
	274.1	262.3431	11.7569	138.225	75130.81
22	248.42	262.3431	-13.9231	193.853	61712.4964
	261.11	262.3431	-1.2331	1.521	68178.4321
	237.34	262.3431	-25.0031	625.155	56330.2756
	250.89	262.3431	-11.4531	131.173	62945.7921

	255.85	262.3431	-6.4931	42.160	65459.2225
	229.79	262.3431	-32.5531	1059.704	52803.4441
	246.83	262.3431	-15.5131	240.656	60925.0489
23	254.43	262.3431	-7.9131	62.617	64734.6249
	275.03	262.3431	12.6869	160.957	75641.5009
	261.21	262.3431	-1.1331	1.284	68230.6641
	239.66	262.3431	-22.6831	514.523	57436.9156
	261.14	262.3431	-1.2031	1.447	68194.0996
	288.86	262.3431	26.5169	703.146	83440.0996
	254.58	262.3431	-7.7631	60.266	64810.9764
	251.45	262.3431	-10.8931	118.660	63227.1025
	279.6	262.3431	17.2569	297.801	78176.16
		252.01	262.3431	-10.3331	106.773
24	250.86	262.3431	-11.4831	131.862	62930.7396
	197.52	262.3431	-64.8231	4202.034	39014.1504
	283.82	262.3431	21.4769	461.257	80553.7924
	272.51	262.3431	10.1669	103.366	74261.7001
	264.74	262.3431	2.3969	5.745	70087.2676
	283.37	262.3431	21.0269	442.131	80298.5569
	273.99	262.3431	11.6469	135.650	75070.5201
	323.39	262.3431	61.0469	3726.724	104581.0921
25	263.01	262.3431	0.6669	0.445	69174.2601
	281.96	262.3431	19.6169	384.823	79501.4416
	276.87	262.3431	14.5269	211.031	76656.9969
	273.16	262.3431	10.8169	117.005	74616.3856
	285.83	262.3431	23.4869	551.635	81698.7889
	255.65	262.3431	-6.6931	44.798	65356.9225
	258.66	262.3431	-3.6831	13.565	66904.9956
	267.85	262.3431	5.5069	30.326	71743.6225
	260.13	262.3431	-2.2131	4.898	67667.6169
26	248.88	262.3431	-13.4631	181.255	61941.2544
	213.8	262.3431	-48.5431	2356.432	45710.44
	266.18	262.3431	3.8369	14.722	70851.7924
	271.87	262.3431	9.5269	90.762	73913.2969
	281.98	262.3431	19.6369	385.608	79512.7204
	279.99	262.3431	17.6469	311.413	78394.4001
	235.08	262.3431	-27.2631	743.277	55262.6064
	264.23	262.3431	1.8869	3.560	69817.4929
		262.74	262.3431	0.3969	0.158
27	271.85	262.3431	9.5069	90.381	73902.4225
	249.18	262.3431	-13.1631	173.267	62090.6724

	268.62	262.3431	6.2769	39.399	72156.7044
	275.51	262.3431	13.1669	173.367	75905.7601
	270.17	262.3431	7.8269	61.260	72991.8289
	281.94	262.3431	19.5969	384.039	79490.1636
	241.9	262.3431	-20.4431	417.920	58515.61
	260.55	262.3431	-1.7931	3.215	67886.3025
28	271.4	262.3431	9.0569	82.027	73657.96
	252.86	262.3431	-9.4831	89.929	63938.1796
	260.73	262.3431	-1.6131	2.602	67980.1329
	243.31	262.3431	-19.0331	362.259	59199.7561
	269.06	262.3431	6.7169	45.117	72393.2836
	248.27	262.3431	-14.0731	198.052	61637.9929
	273.38	262.3431	11.0369	121.813	74736.6244
	272.06	262.3431	9.7169	94.418	74016.6436
	220.21	262.3431	-42.1331	1775.198	48492.4441
29	247.45	262.3431	-14.8931	221.804	61231.5025
	231.04	262.3431	-31.3031	979.884	53379.4816
	245.53	262.3431	-16.8131	282.680	60284.9809
	224.39	262.3431	-37.9531	1440.438	50350.8721
	237.61	262.3431	-24.7331	611.726	56458.5121
	239.79	262.3431	-22.5531	508.642	57499.2441
	239.43	262.3431	-22.9131	525.010	57326.7249
	237.81	262.3431	-24.5331	601.873	56553.5961
	234.46	262.3431	-27.8831	777.467	54971.4916
Σx	66897.49			79259.040	17629353.82

$\sigma^2 = \frac{\Sigma(x - \mu)^2}{N}$		310.820
$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$		17.630 m/s
$\sigma^2 = \frac{\Sigma(x)^2}{N - \mu^2}$		310.820
65%	Límite inferior(m/s) Límite superior(m/s)	245.00 280.00

5.2.2 Zona 2

Esta zona se extiende a lo largo de las líneas sísmicas 30 hasta la 36 que abarca las abscisas 3+452 y 3+937.

Tendidos	Observación (x)	Media $\mu=\Sigma x/62$	Desviación (x- μ)	Desviación al cuadrado (x- μ) ²	Observación al cuadrado (x ²)
30	269.11	230.7358	38.3742	1472.579	72420.1921
	245.74	230.7358	15.0042	225.126	60388.1476
	234.9	230.7358	4.1642	17.341	55178.01
	256.57	230.7358	25.8342	667.406	65828.1649
	262.58	230.7358	31.8442	1014.053	68948.2564
	272.34	230.7358	41.6042	1730.909	74169.0756
	254.35	230.7358	23.6142	557.630	64693.9225
	226.96	230.7358	-3.7758	14.257	51510.8416
31	278.55	230.7358	47.8142	2286.197	77590.1025
	266.33	230.7358	35.5942	1266.947	70931.6689
	269.19	230.7358	38.4542	1478.725	72463.2561
	272.1	230.7358	41.3642	1710.997	74038.41
	212.1	230.7358	-18.6358	347.293	44986.41
	253.13	230.7358	22.3942	501.500	64074.7969
	266.26	230.7358	35.5242	1261.968	70894.3876
	274.53	230.7358	43.7942	1917.931	75366.7209
	259.5	230.7358	28.7642	827.379	67340.25
32	223.59	230.7358	-7.1458	51.063	49992.4881
	232.94	230.7358	2.2042	4.858	54261.0436
	243.4	230.7358	12.6642	160.382	59243.56
	211.23	230.7358	-19.5058	380.476	44618.1129
	237.66	230.7358	6.9242	47.944	56482.2756
	239.22	230.7358	8.4842	71.982	57226.2084
	258.7	230.7358	27.9642	781.996	66925.69
	233.42	230.7358	2.6842	7.205	54484.8964
	219.36	230.7358	-11.3758	129.409	48118.8096
33	207.94	230.7358	-22.7958	519.649	43239.0436
	269.84	230.7358	39.1042	1529.138	72813.6256
	201.94	230.7358	-28.7958	829.198	40779.7636
	181.94	230.7358	-48.7958	2381.031	33102.1636
	221.37	230.7358	-9.3658	87.718	49004.6769
	143.89	230.7358	-86.8458	7542.194	20704.3321

	209.92	230.7358	-20.8158	433.298	44066.4064
	204.55	230.7358	-26.1858	685.696	41840.7025
	296.39	230.7358	65.6542	4310.473	87847.0321
34	241.81	230.7358	11.0742	122.638	58472.0761
	234.78	230.7358	4.0442	16.356	55121.6484
	243.92	230.7358	13.1842	173.823	59496.9664
	207.11	230.7358	-23.6258	558.179	42894.5521
	216.93	230.7358	-13.8058	190.600	47058.6249
	249.9	230.7358	19.1642	367.266	62450.01
	231.45	230.7358	0.7142	0.510	53569.1025
	212.3	230.7358	-18.4358	339.879	45071.29
	231.1	230.7358	0.3642	0.133	53407.21
	35	219.18	230.7358	-11.5558	133.537
142.24		230.7358	-88.4958	7831.508	20232.2176
210.4		230.7358	-20.3358	413.545	44268.16
184.16		230.7358	-46.5758	2169.306	33914.9056
217.18		230.7358	-13.5558	183.760	47167.1524
220.29		230.7358	-10.4458	109.115	48527.6841
157.95		230.7358	-72.7858	5297.774	24948.2025
236.77		230.7358	6.0342	36.411	56060.0329
182.86		230.7358	-47.8758	2292.093	33437.7796
36	235.14	230.7358	4.4042	19.397	55290.8196
	210.14	230.7358	-20.5958	424.187	44158.8196
	218.54	230.7358	-12.1958	148.738	47759.7316
	206	230.7358	-24.7358	611.860	42436
	205.87	230.7358	-24.8658	618.308	42382.4569
	224.59	230.7358	-6.1458	37.771	50440.6681
	230.86	230.7358	0.1242	0.015	53296.3396
	253.65	230.7358	22.9142	525.060	64338.3225
	268.96	230.7358	38.2242	1461.089	72339.4816
Σ	14305.62			61334.804	3362153.572

$\sigma^2 = \frac{\sum(x - \mu)^2}{N}$	989.271
$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$	31.453 m/s
$\sigma^2 = \frac{\sum(x)^2}{N - \mu^2}$	989.271

65%	Límite inferior(m/s)	199.00
	Límite superior(m/s)	262.00

5.2.3 Zona 3

Esta zona se extiende a lo largo de las líneas sísmicas 37 hasta la 46 que abarca las abscisas 4+011 y 4+709.

Tendidos	Observación (x)	Media $\mu = \sum x / 89$	Desviación (x- μ)	Desviación al cuadrado (x- μ) ²	Observación al cuadrado (x ²)
37	160.51	169.6790	-9.1690	84.070	25763.4601
	233.76	169.6790	64.0810	4106.376	54643.7376
	216.18	169.6790	46.5010	2162.344	46733.7924
	208.58	169.6790	38.9010	1513.289	43505.6164
	145.64	169.6790	-24.0390	577.873	21211.0096
	136.99	169.6790	-32.6890	1068.570	18766.2601
	169.8	169.6790	0.1210	0.015	28832.04
	137.21	169.6790	-32.4690	1054.235	18826.5841
38	179.99	169.6790	10.3110	106.317	32396.4001
	167.07	169.6790	-2.6090	6.807	27912.3849
	180.67	169.6790	10.9910	120.802	32641.6489
	148.15	169.6790	-21.5290	463.497	21948.4225
	142.24	169.6790	-27.4390	752.898	20232.2176
	169.78	169.6790	0.1010	0.010	28825.2484
	134.23	169.6790	-35.4490	1256.631	18017.6929
	154.26	169.6790	-15.4190	237.745	23796.1476

	153.91	169.6790	-15.7690	248.661	23688.2881
39	214.36	169.6790	44.6810	1996.393	45950.2096
	148.16	169.6790	-21.5190	463.067	21951.3856
	135.07	169.6790	-34.6090	1197.782	18243.9049
	162.54	169.6790	-7.1390	50.965	26419.2516
	163.5	169.6790	-6.1790	38.180	26732.25
	144.5	169.6790	-25.1790	633.981	20880.25
	124.44	169.6790	-45.2390	2046.566	15485.3136
	185.39	169.6790	15.7110	246.836	34369.4521
	156.09	169.6790	-13.5890	184.661	24364.0881
40	167.84	169.6790	-1.8390	3.382	28170.2656
	169.44	169.6790	-0.2390	0.057	28709.9136
	190.52	169.6790	20.8410	434.348	36297.8704
	143.17	169.6790	-26.5090	702.726	20497.6489
	142.57	169.6790	-27.1090	734.897	20326.2049
	173.37	169.6790	3.6910	13.624	30057.1569
	173.83	169.6790	4.1510	17.231	30216.8689
	159.48	169.6790	-10.1990	104.019	25433.8704
	198.49	169.6790	28.8110	830.074	39398.2801
41	231.93	169.6790	62.2510	3875.188	53791.5249
	213.91	169.6790	44.2310	1956.382	45757.4881
	234.02	169.6790	64.3410	4139.766	54765.3604
	208.71	169.6790	39.0310	1523.420	43559.8641
	233.92	169.6790	64.2410	4126.908	54718.5664
	243.67	169.6790	73.9910	5474.670	59375.0689
	209.05	169.6790	39.3710	1550.077	43701.9025
	234.38	169.6790	64.7010	4186.221	54933.9844
	205.79	169.6790	36.1110	1304.005	42349.5241
42	172.9	169.6790	3.2210	10.375	29894.41
	151.17	169.6790	-18.5090	342.583	22852.3689
	157.19	169.6790	-12.4890	155.975	24708.6961
	156.97	169.6790	-12.7090	161.518	24639.5809
	146.58	169.6790	-23.0990	533.563	21485.6964
	190.05	169.6790	20.3710	414.978	36119.0025
	193.1	169.6790	23.4210	548.544	37287.61
	175.34	169.6790	5.6610	32.047	30744.1156
	166.42	169.6790	-3.2590	10.621	27695.6164
43	155.36	169.6790	-14.3190	205.033	24136.7296
	146.92	169.6790	-22.7590	517.972	21585.4864
	145.18	169.6790	-24.4990	600.200	21077.2324
	184.52	169.6790	14.8410	220.256	34047.6304

	148.75	169.6790	-20.9290	438.023	22126.5625
	149.53	169.6790	-20.1490	405.982	22359.2209
	210.51	169.6790	40.8310	1667.171	44314.4601
	200.16	169.6790	30.4810	929.092	40064.0256
	179.64	169.6790	9.9610	99.222	32270.5296
44	208.07	169.6790	38.3910	1473.870	43293.1249
	165.44	169.6790	-4.2390	17.969	27370.3936
	167.41	169.6790	-2.2690	5.148	28026.1081
	151.85	169.6790	-17.8290	317.873	23058.4225
	176.94	169.6790	7.2610	52.722	31307.7636
	171.3	169.6790	1.6210	2.628	29343.69
	180.6	169.6790	10.9210	119.268	32616.36
	178.93	169.6790	9.2510	85.581	32015.9449
	162.4	169.6790	-7.2790	52.984	26373.76
45	137.24	169.6790	-32.4390	1052.288	18834.8176
	122.04	169.6790	-47.6390	2269.473	14893.7616
	128.76	169.6790	-40.9190	1674.364	16579.1376
	135.29	169.6790	-34.3890	1182.603	18303.3841
	118.55	169.6790	-51.1290	2614.173	14054.1025
	120.94	169.6790	-48.7390	2375.489	14626.4836
	141.96	169.6790	-27.7190	768.342	20152.6416
	133.35	169.6790	-36.3290	1319.795	17782.2225
	182.33	169.6790	12.6510	160.048	33244.2289
46	148.11	169.6790	-21.5690	465.221	21936.5721
	141.85	169.6790	-27.8290	774.453	20121.4225
	194.34	169.6790	24.6610	608.165	37768.0356
	189.54	169.6790	19.8610	394.460	35925.4116
	148.97	169.6790	-20.7090	428.862	22192.0609
	148.52	169.6790	-21.1590	447.703	22058.1904
	150.61	169.6790	-19.0690	363.626	22683.3721
	176.03	169.6790	6.3510	40.335	30986.5609
	182.66	169.6790	12.9810	168.507	33364.6756
Σ	15101.43			78124.673	2640520.044

$\sigma^2 = \frac{\Sigma(x - \mu)^2}{N}$		877.805
$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$		29.628
$\sigma^2 = \frac{\Sigma(x)^2}{N - \mu^2}$		877.805
65%	Límite inferior(m/s)	140.00
	Límite superior(m/s)	199.00

6. Capítulo 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Con base en la presente investigación de grado cuyo objetivo fundamental se enfocaba en la aplicación del método geofísico MASW para la caracterización y cálculo del Vs30 del subsuelo mediante la adquisición de datos, inversión y elaboración de perfiles 1D de velocidad de onda de corte y profundidad a lo largo del perfil 1-1, se puede concluir lo siguiente:

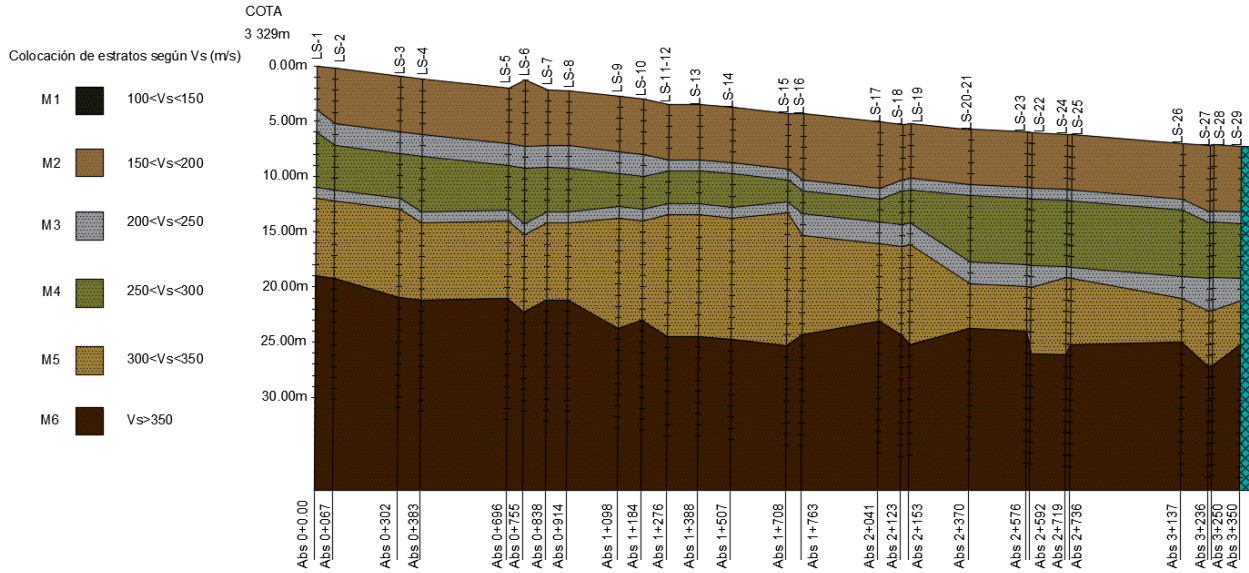
- A partir de la aplicación del método geofísico MASW y la generación de modelos 1D velocidad de onda-profundidad ha sido posible la determinación de la estratigrafía como del Vs30. Mediante el uso de las propiedades dispersivas de ondas superficiales que utiliza el MASW se comprueba contundentemente la coincidencia entre la curva de dispersión teórica y experimental comprobando las dos modalidades de cálculo que corresponden a inversiones con una estratigrafía preliminar conocida e inversiones basadas en iteraciones debido a la falta de información previa.
- A partir del perfil generado se localizó tres cambios marcados en la estratificación y valor de Vs30 del subsuelo a lo largo del perfil 1-1(4.7 kilómetros aproximadamente), los cuales son comparados con el perfil geotécnico generado por (Realpe R., 2020).

Debido a la similitud entre la estratificación del subsuelo y los valores de la velocidad de onda de corte se aumenta la confiabilidad de la información en comparación con el perfil geotécnico obtenido por (Realpe R., 2020) que enlaza los pozos P003-P001. La zona 1 se encuentra comprendida entre tendido 1 al tendido 29, que abarcan las abscisas 0+0.00 hasta 3+350, donde el Vs30 se encuentra entre 245 m/s-280m/s lo que clasifica la zona como un perfil tipo D (suelos rígidos;180-360 m/s). (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014). Observando que el rango de velocidad obtenido se ubica en la mitad del rango de velocidad

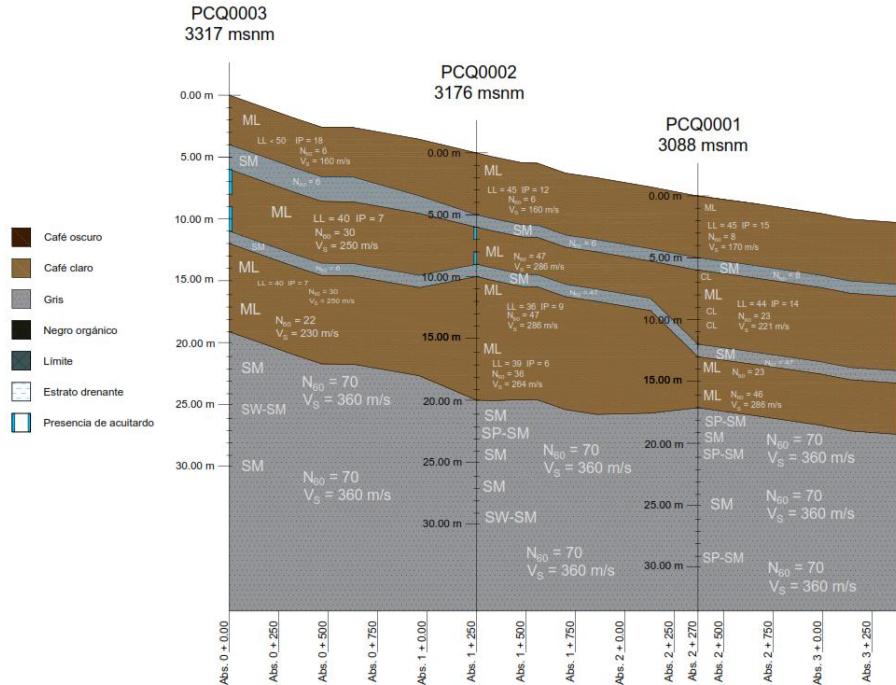
dato por la NEC se puede catalogar con seguridad al suelo presente en esta zona como tipo

D.

PERFIL GEOFÍSICO - ZONA 1



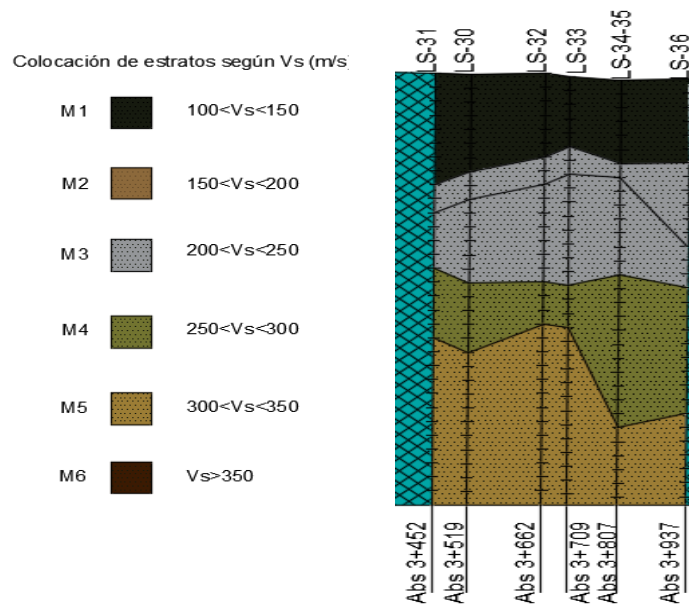
PERFIL GEOTÉCNICO - ZONA 1



Esta zona abarca los tendidos 30 y 36 contenidos dentro de las abscisas 3+452 y 3+937, donde la caracterización del subsuelo presenta una zona que no se ve representado en el perfil geotécnico. Está constituida por 4 estratos donde valor de Vs30 se encuentra entre 199 m/s-262 m/s lo que clasifica la zona con un perfil tipo D (suelos rígidos;180-360 m/s). (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014). Observando que el rango de velocidad obtenido limita con la frontera inferior del rango de velocidad dado por la NEC la confiabilidad de catalogar al suelo como tipo D decrece. Sin embargo, debido a la presencia de estratos de arcillas blandas de espesores mayores a tres metros el subsuelo corresponde a un perfil tipo E.

El cambio de estratigrafía para la zona 2 se basa en la hipótesis de la existencia de una gran concentración de depósitos fluvio-lacustre que conforman una interfaz de estratos bien definidos a causa de la topografía, geología y composición hidrológica de la zona.

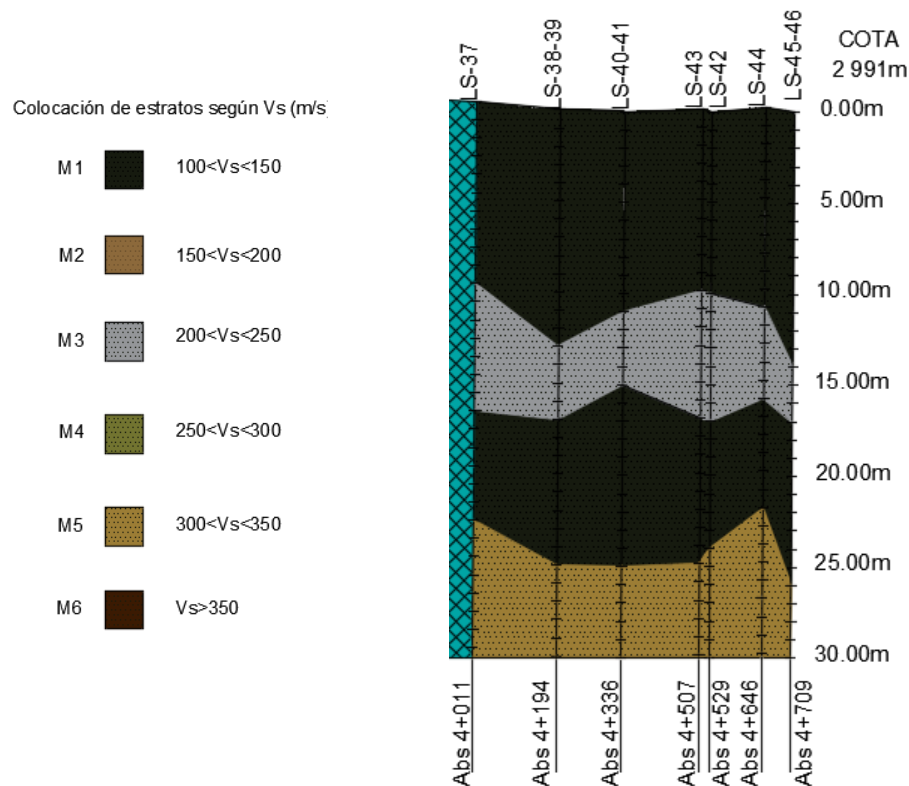
PERFIL GEOFÍSICO – ZONA 2



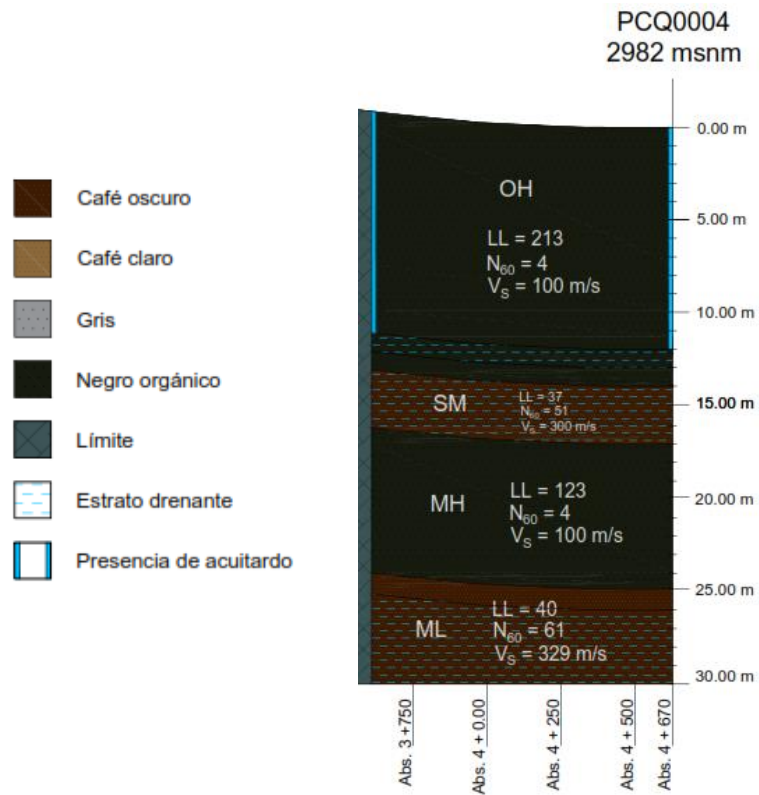
La última zona abarca las líneas sísmicas 37 al 46 ubicadas entre las abscisas 4+011 y 4+709, donde los modelos son congruentes en su gran mayoría con el perfil geotécnico (V_s y espesores). El V_{s30} para esta zona se encuentra entre 140m/s-199m/s lo que corresponde a un perfil tipo E (suelos blandos; <180) (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014). Sin embargo, debido a la presencia de estratos de turbas y limos de alta plasticidad de espesor mayor a 3 metros el subsuelo corresponde a un perfil tipo F-F2 (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014).

Se ha logrado comprobar la concordancia de estratos, espesores y velocidades de onda de corte entre el perfil geotécnico y geofísico con la diferencia de que en la presente investigación la zona 3 abarca una menor área de emplazamiento.

PERFIL GEOFÍSICO – ZONA 3



PERFIL GEOTÉCNICO – ZONA 3



- El método MASW es una técnica eficiente en tiempo para evaluar la velocidad de onda de corte en los primeros metros del subsuelo que recurre a las propiedades dispersivas de las ondas Rayleigh. Esta propiedad depende en particular de la geología y geotecnia del lugar de estudio debido a la alta influencia de las propiedades mecánicas del suelo en la modelación de perfiles Vs-profundidad. Sin embargo, un análisis sin conocimiento previo de la zona direcciona a una cantidad de tiempo muy grande de análisis donde podría ser prácticamente imposible lograr la adecuada coincidencia entre la curva de dispersión teórica y experimental.
- Las curvas de dispersión generadas a partir de la parametrización dependen principalmente de la velocidad de onda de corte lo cual es fiel indicativo al fundamento

teórico del método y a las características dispersivas del subsuelo. Se ha comprobado en esta investigación que para las condiciones trabajadas el número de estratos y los espesores tienen una alta influencia en el tiempo de ajuste mientras que la velocidad de onda compresional al igual que la densidad y el radio de Poisson tienen menor influencia.

- Una correcta adquisición de datos en campo requiere la definición de parámetros óptimos como; longitud del arreglo sísmico, apertura entre geófonos, frecuencia natural de geófonos, tiempo de adquisición, tipo, dirección y energía de la fuente, proporcionando veracidad en los resultados obtenidos.

En base en lo anteriormente concluido y con el objetivo de mejorar tanto la investigación y la metodología como una base de futuros proyectos, se recomienda lo siguiente:

- Al ser el subsuelo muy heterogéneo en la zona que abarca las abscisas 3+350 y 4+011, se recomienda realizar exploraciones geotécnicas adicionales entre dichos puntos para caracterizar el subsuelo y comparar con los modelos de velocidad de onda de corte generados con el método geofísico MASW.
- Aumentar la profundidad de estudio implementando métodos geofísicos que abarquen menores frecuencias debido a que el basamento de la ciudad se encuentra por debajo de los 100 metros de profundidad y por consiguiente calcular el v_s100 nos dará una idea más clara de las condiciones del subsuelo.
- Trabajar a la par dos o más métodos geofísicos para poder comparar y aumentar la confiabilidad de los modelos generados a lo largo del polígono definido para trabajar la microzonificación sísmica en el sur de Quito.
- Se sugiere a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador emprender y brindar apoyo en el campo de la geofísica para continuar trabajando en mejoras en la metodología y

equipamiento para métodos geofísicos, ya que estos abarcan un gran campo de aplicación en la geotecnia y mecánica de suelos lo que podría fortalecer el servicio de docencia, investigación y consultoría del laboratorio de suelos de la universidad.

Referencias

- Aguiar Falconí, R. (2013). *MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE QUITO*. Quito: Centro de Investigaciones Científicas. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Alvarado , A. (1996). *Evolución geológica cuaternaria y paleosismicidad de la cuenca de Quito*. Quito: Escuela Politécnica Nacional .
- Alvarado Alcívar, K. G. (2017). *Mapa de Microzonificación Geotécnico y Modelo Geológico-Geotécnico 3D de la Ciudad de Portoviejo*. Quito: Escuela Nacional Politécnica.
- Avilés Ponce , L. (2013). *Caracterización geológica-geotécnica del sur de la ciudad de Quito*. Quito, Ecuador.
- Bonifaz García, H., & Haro Lescano, J. (2017). *Tipos de perfil de suelo para diseño sísmico en Manta, Portoviejo, Chone y Bahía de Caráquez ciudades afectadas por el sismo del 16 Abril del 2016*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Borcherdt, R. (2012). Vs30–A site-characterization parameter for use in building codes, simplified earthquake resistant design, GMPEs, and ShakeMaps. *Conference: 15th World Conf. on Earthquake Engineering* (págs. 1-10). Lisboa: 15 WCEE Lisboa.
- Carrizo, M. (2014). *Fourier y el procesamiento digital de señales*. Bahía Blanca, Argentina.
- Castrechini Rodríguez, A. F. (2009). *COMBINACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA ESTUDIOS DE SUELO EN UN SECTOR DE QUITO, ECUADOR*. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar.
- Chunga, K., Soloviev, A., Martillo, C., Gorshklov, A., Panza, G., & Michetti, A. (01 de 01 de 2010). *Aplicación del método de zonación morfo-estructural para identificar nudos sismogénicos en la región costera y cadenas montañosas de los andes septentrionales del Ecuador*. Acta Oceanográfica del Pacífico. Obtenido de [estructural_para_identificar_nudos_sismogenicos_en_la_region_costera_y_cadenas_montañosas_de_los_andes_septentrionales_del_Ecuador](#)
- Dal Moro, G. (2015). *SURFACE WAVE ANALYSIS FOR NEAR SURFACE APPLICATIONS*. Udine, Italia: Elsevier.
- De Berc, S., Soula, J., Baby, P., Souris, M., Christophoul , F., & Rosero, J. (2005). *Geomorphic evidence of active deformation and uplift in a modern continental wedge-top-foredeep transition: Example of the eastern Ecuadorian Andes*. Tectonophysics.
- EMAAP-Q. (2006). *Informe de Perforaciones Exploratorias, Acuífero sur de Quito* . Quito, Ecuador.

- Everett, M. (2013). *Near-Surface Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Feininger, T. (1983). *The metamorphic basement of Ecuador*. Quebec, Canada.
- Ferrari, L., & Tibaldi, A. (1992). *Recent and Active Tectonic of the North-Eastern Ecuadorian Andes*. J. Geodynamics.
- FUNVISIS. (23 de Abril de 2020). *Fundación Venezolana de Investigaciones Sísmológicas*. Obtenido de FUNVISIS: <http://www.funvisis.gob.ve/old/glosario.php#O>
- Geopsy. (13 de Mayo de 2020). *Geopsy*. Obtenido de Geopsy project: <http://www.geopsy.org/>
- Geotérmica Italiana. (1989). *Mitigación del riesgo volcánico en el área metropolitana de Quito*. Quito, Ecuador.
- Hall, M., Samaniego, P., Le Pennec, J., & Johnson, J. (2008). *Ecuadorian Andes Vulcanism: A review of Late Pliocene to present activity*. Journal of Volcanology and Geothermal.
- Hidalgo, S. (2006). *Le interactions entre magmas calco-alcalins "Classiques" et adakitiques: exemple du Complexe Volcanique Atacazo - Ninahuilca (Equateur)*. France.
- Instituto Geográfico Militar. (21 de Abril de 2021). *Geoportal*. Obtenido de Geoportal: <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall International Series.
- Kreyszig, E. (2011). *Advanced Engineering Mathematics. (10th Edition, International Student Edition)*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Lavenu, A. (2006). *Neotectónica de los andes entre 1°N y 47° S (Ecuador, Bolivia y Chile): Una revisión*. Revista de la Asociación Geológica Argentina.
- Litherland, M., Aspen, J., & Jamielita, R. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador* (Vol. 11). British geological Survey.
- Mamberti, M., Lapierre, H., Bosch, D., Jaillard, E., Ethien, R., Hernandez, J., & Polvé, M. (2003). *Accreted fragments of the Late Cretaceous Caribbean-Colombian Plateau in Ecuador*. Lithos.
- Mijares Armas, M. M. (2019). *Estudio del parámetro Vs30 mediante el análisis multicanal de ondas superficiales en la ciudad de Valencia*. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar.
- Norma Ecuatorian de Construcción. (Diciembre de 2014). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-4.pdf>
- Ólafsdóttir, E. (2014). *Multichannel Analysis of Surface Waves-Methods for dispersion analysis of surface wave data*. Islandia: University of Iceland.

- Ólafsdóttir, E. Á. (2014). *Multichannel Analysis of Surface Waves. Methods for dispersion analysis of surface wave data*. University of Iceland.
- Orozco, M. (2003). *Inversion Method for Spectral Analysis of Surface Waves (SASW)*. Atlanta, GA: Georgia Institute of Technology.
- Park, C B; Miller, R D; Xia, J. (1998). *Imaging dispersion curves of surface waves*. 68th Annual International Meeting Society of Exploration Geophysicists, Expanded Abstracts.
- Park, C B; Shawver, J B. (2009). *Multi-source offset MASW survey. Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP 2009)*. Fort Worth, Texas.
- Park, C. B., & Carnevale, M. (2010). *Optimum MASW Survey - Revisit after a Decade of Use*. In Fratta, D. O., Puppala, A. J. & Muhunthan, B (editors).
- Park, C., Miller, R., & Xia, J. (1999). *Multichannel Analysis of Surface Waves(MASW).A summary report of technical aspects, experimental results, and perspective*. GEOPHYSICS.
- Park, C., Miller, R., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). *Multichannel analysis of surface waves(MASW)- active and passive methods*. The Leading Edge.
- Peñafiel Aguiar, L. (2009). *Geología y análisis del recurso hídrico subterráneo de la subcuenca del sur de Quito*. Quito, Ecuador.
- Peñafiel Aguiar, L. A. (2009). *Geología y análisis del recurso hídrico subterráneo de la subcuenca del Sur de Quito*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Realpe R., G. (2020). *Microzonificación Geotécnica Quito-Sur*. Quito.
- Rondón, F., Ávila, J., Yegres, L., Schmitz, M., & Barros, J. (2017). *DETERMINATION OF THE BASEMENT DEPTH IN PORTOVIEJO, ECUADOR, USING ACTIVE SEISMIC METHODS*. Caracas: FUNVISIS.
- Ryden, N., Park, C. B., Ulriksen, P., & Miller, R. D. (2004). *Multimodal approach to seismic pavement testing*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- Ryden, N; Park, C B. (2006). *Fast Simulated Annealing Inversion of Surface Waves on Pavements using Phase Velocity Spectra*. Geophysics.
- Samaniego, P., Robin, M., Monzie, P., Mothes, B., Beate, & García, A. (2006). *Guagua Pichincha Volcano. Holocene and Late Pleistocene Activity. Cuarta Conferencia “Cities on Volcanoes IAVCEI Quito 2006”*. Quito, Ecuador.
- Sambridge, M. (1999). *Geophysical inversion with a neighbourhood algorithm—I. Searching a parameter space*. Canberra, Australia: Geophysical Journal International.
- Schlumberger. (27 de Abril de 2020). *Oilfield Glossary*. Obtenido de Velocidad de grupo: https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/g/group_velocity.aspx

- Spikings , R., Seward , D., Winkler , W., & Ruiz , G. (2000). *Low-temperature thermochronology of the northern Cordillera Real, Ecuador: Tectonic insights from zircon and apatite fission track analysis: Tectonics* .
- Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R., & Luzieux, L. (2007). *Evolución Geodinámica de la Cordillera Occidental (Cretácico Tardió-Paleógeno)*. Zürich: Institute of Geology, ETH Zürich.
- Valverde, J., Fernandez , J., Jimenez, E., Vaca, T., & Alarcon, F. (s.f.). *MICROZONIFICACION SÍSMICA DE LOS SUELOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE LA CIUDAD DE QUITO* . Quito, Ecuador.
- Vargas, S. X. (2011). *Distribución de las cenizas volcánicas Holocénicas-tardías en la costa del Ecuador*. Quito.
- Villagómez , D., Egüez , A., Winkler , W., & Spikings , R. (2002). *Plio-Quaternary sedimentary and tectonic evolution of the Central Inter-Andean Valley in Ecuador*. Toulouse-France: Fourth ISAG.
- Villagómez Díaz, D. R. (2003). *Evolución Geológica Plio-Cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador (Zona de Quito-Guayllabamba-San Antonio)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Villarraga H, M. R., Pineda A, M., Ramírez R, A. F., Ramírez R, C. E., Arango R, J. D., Rodríguez A, R. A., & Valencia C, J. (s.f.). *ESTUDIO PARAMETRICO DE LOS EFECTOS DE LA INTERACCIÓN SÍSMICA SUELO*. Medellín, Colombia.
- Wathelet, M. (2008). *An improved neighborhood algorithm: parameter conditions and dynamic scaling*. Grenoble: GEOPHYSICAL RESEARCH LETTER.
- Whathelet, M., Jongmans, D., & Ohrnberger, M. (2004). *Surface wave inversion using a direct search algorithm and its application to ambient vibration measurements*. Near Surface Geophysics.
- Winkler, W., Villagomez, D., Spikings, R., Abegglen, P., & Eguez, A. (2005). *The Chota basin and its significance fro the inceotion and tectonic setting of the inter-Andean depression un Ecuador*. Juurnal of South American Earth Sciences.
- Xia, J., Miller, R. D., & Park, C. B. (1999). *Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves*. Geophysics.
- Xia, J; Miller, R D; Park, C B; Ivanov, J. (2000). *Construction of 2-D vertical shear-wave velocity field by the multichannel analysis of surface waves technique*. Arlington, VA: Proceeding of the Symposium of the Application of Geophysics to Engineering Environmental.
- Yepez Mora, F. (2002). Últimos avances en la evaluación del riesgo sísmico de Quito y futuros proyectos de mitigación. *Memorias del Seminario: gestión de riesgos y prevención de desastres*, 16-28.

- Yilmaz, Ö. (2008). *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of*. Tulsa, OK: Society of Exploration Geophysicsts.
- Yilmaz, Ö. (2015). *Engineering Seismology with Applications to Geotechnical Engineering*. Tulsa, Oklahoma, USA: Society of Exploration Geophysicists.
- Zeng, C., Xia, J., Miller, R. D., Tsoflias, G. P., & Wang, Z. (2012). *Numerical investigation of MASW applications in presence of surface topography*. *Journal of Applied Geophysics*.

ANEXOS.

1.1 Anexos 1.

En los anexos que se muestran a continuación se presentarán para cada línea sísmica realizada a lo largo del perfil 1-1 las siguientes graficas:

- **Espectro de velocidad de fase:** En esta gráfica se mostrará los espectros de velocidad de fase obtenidos para cada lugar de disparo a lo largo de cada línea sísmica. Para cada disparo se muestra dos gráficas, donde la gráfica de la izquierda nos indica el espectro de velocidad de fase con el límite mínimo de longitud de onda (línea negra continua) mientras que la gráfica de la derecha nos indica el mismo espectro de velocidad de fase, pero con la curva de dispersión seleccionada mediante el picking manual, adicional se muestra el límite máximo de longitud de onda (línea negra continua). Los límites de longitud de onda son de gran importancia ya que dentro de estos límites se debe localizar la curva de dispersión seleccionada, los criterios utilizados para la determinación de los límites de longitud de onda fueron propuestos por (Park, Miller, & Xia, 1999):

$$\lambda_{min} = 2 d_{min}$$

$$\lambda_{max} = D_{max}$$

Donde:

d_{min} : apertura mínima entre geófonos.

D_{max} : apertura total de la línea sísmica.

- **Curva de dispersión teórica y experimental:** La gráfica nos muestra el ajuste que posee la curva de dispersión seleccionada mediante el picking manual versus la curva de dispersión generada por la parametrización ingresada (V_p , coeficiente de Poisson, V_s y densidad) de cada golpe realizado a lo largo de cada línea sísmica.
- **Modelo V_s -Profundidad y Cálculo de V_{s30} :** En esta gráfica se presenta los modelos V_s -Profundidad generados a partir de la inversión de las curvas de dispersión con su respectiva parametrización y adicionalmente se presenta el cálculo de V_{s30} para cada disparo realizado a lo largo de todos los tendidos ejecutados.

1.1 Tendido 01

TENDIDO 1			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 769837 E	17M 769788 E	17M 769752 E
	9962587 N	9962670 N	9962732 N
	3328 m	3329 m	3329 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
	14-15	112.50	
Contraperfil	133.33		

1.1.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia

Figura A-1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia tendido 01

1.1.2 Curva de dispersión teórica y experimental

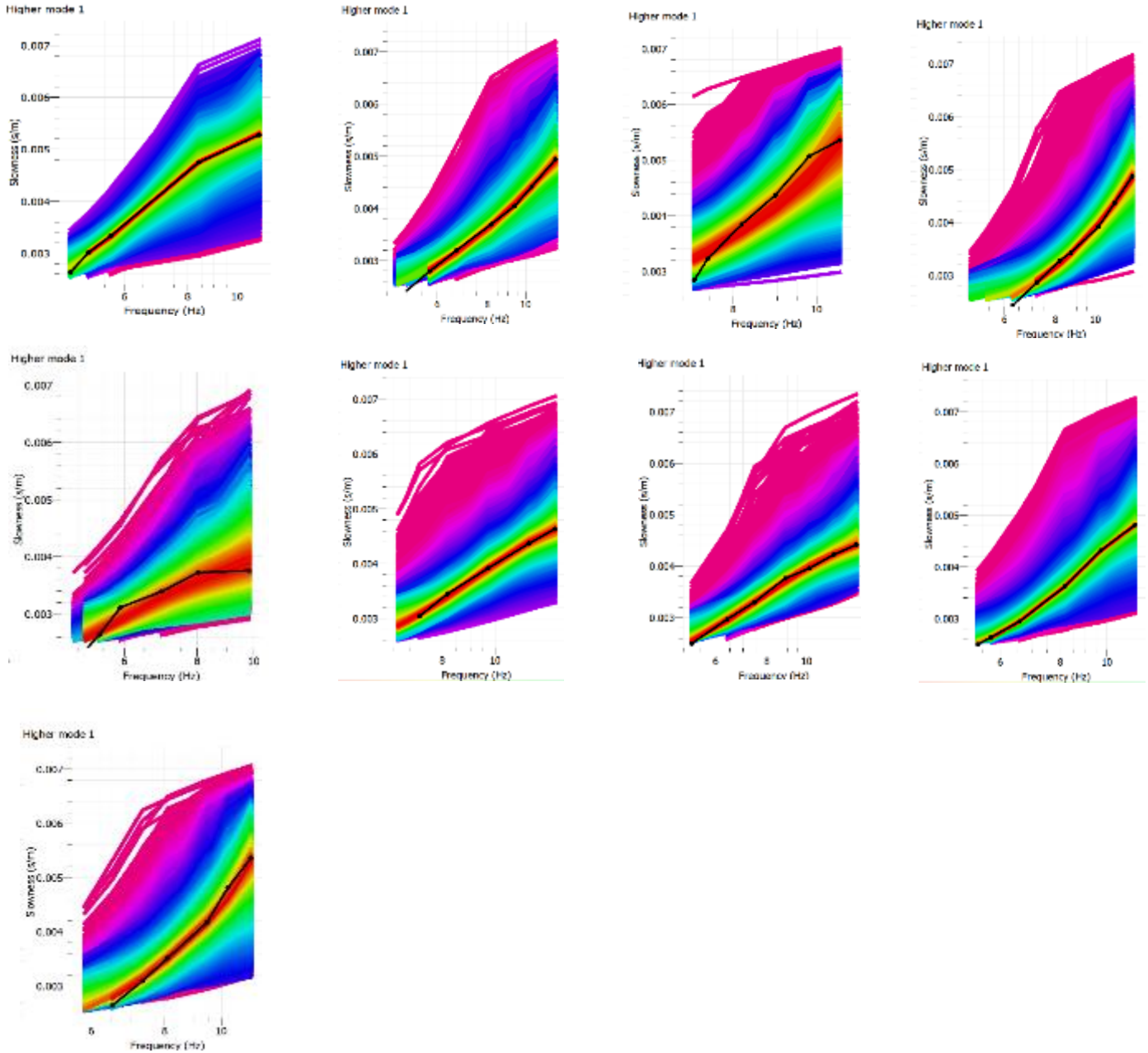


Figura A-2 Curva de dispersión teórica y experimental tendido 01

1.1.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

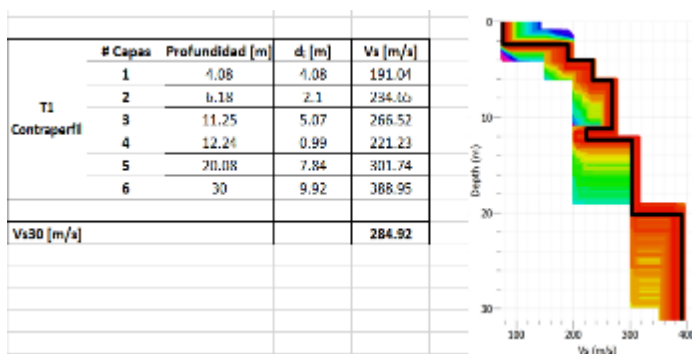
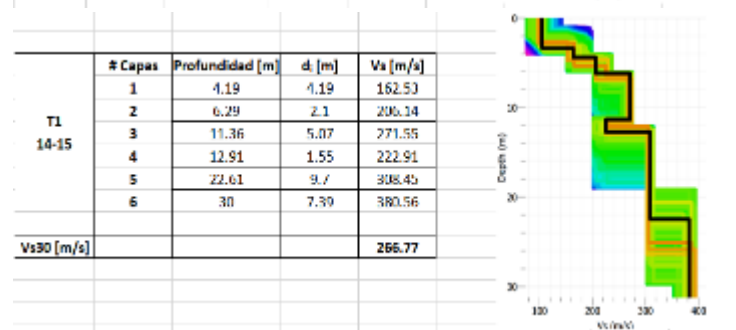
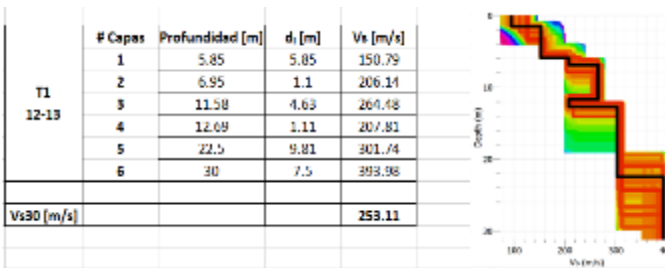
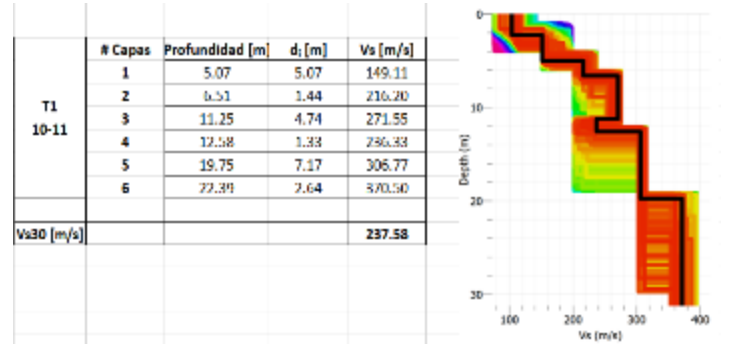
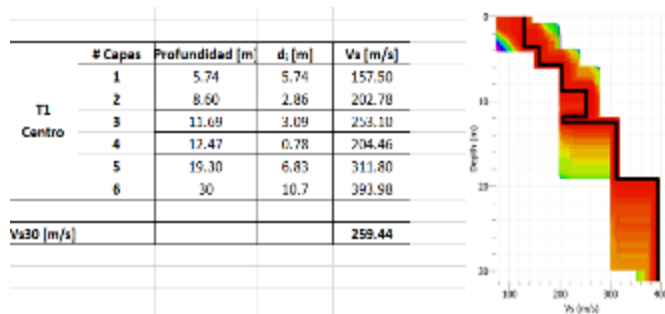
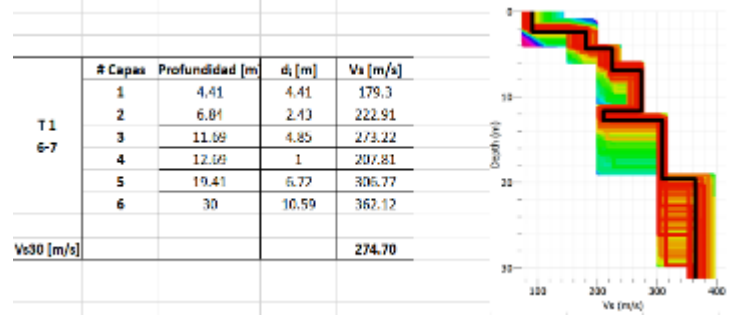
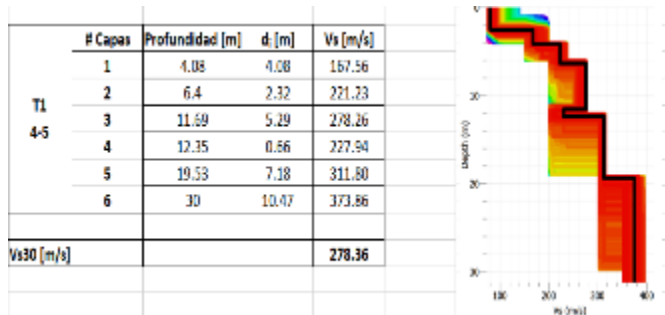
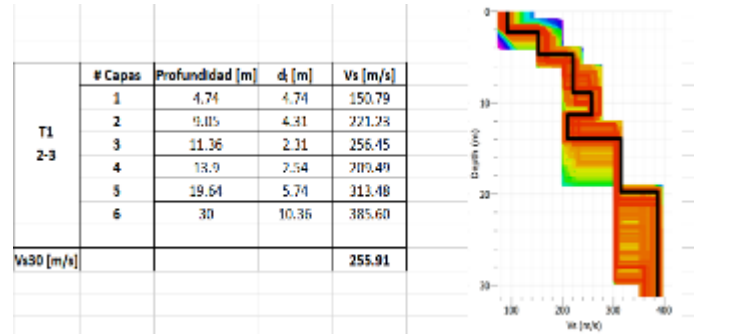
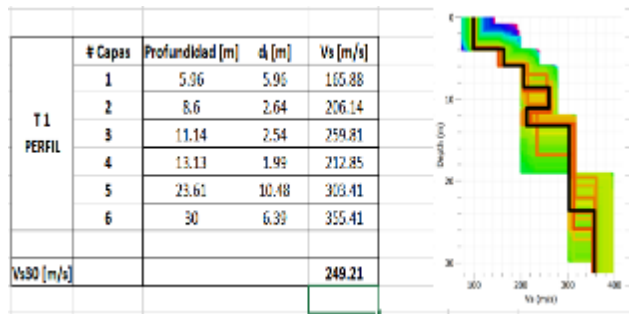
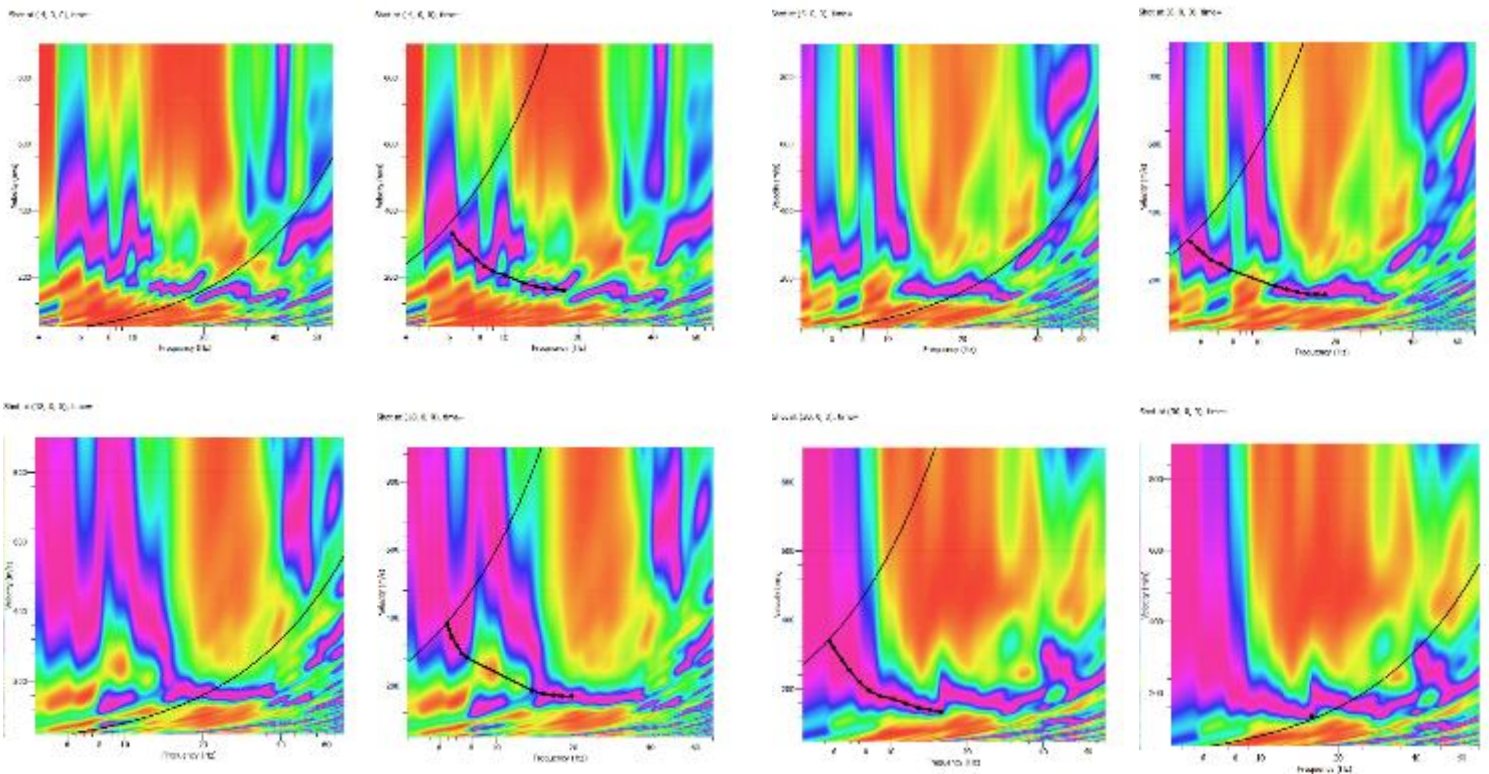


Figura A-3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 01.

1.2 Tendido 02

TENDIDO 2			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 769837 E	17M 769855 E	17M 769885 E
	9962587 N	9962602 N	9962618 N
	3328 m	3321 m	3315 m
LONGITUD	60 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-4.00	
	2-3	6.00	
	5-6	18.00	
	8-9	30.00	
	11-12	42.00	
	14-15	54.00	
Contraperfil	64.00		

1.2.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



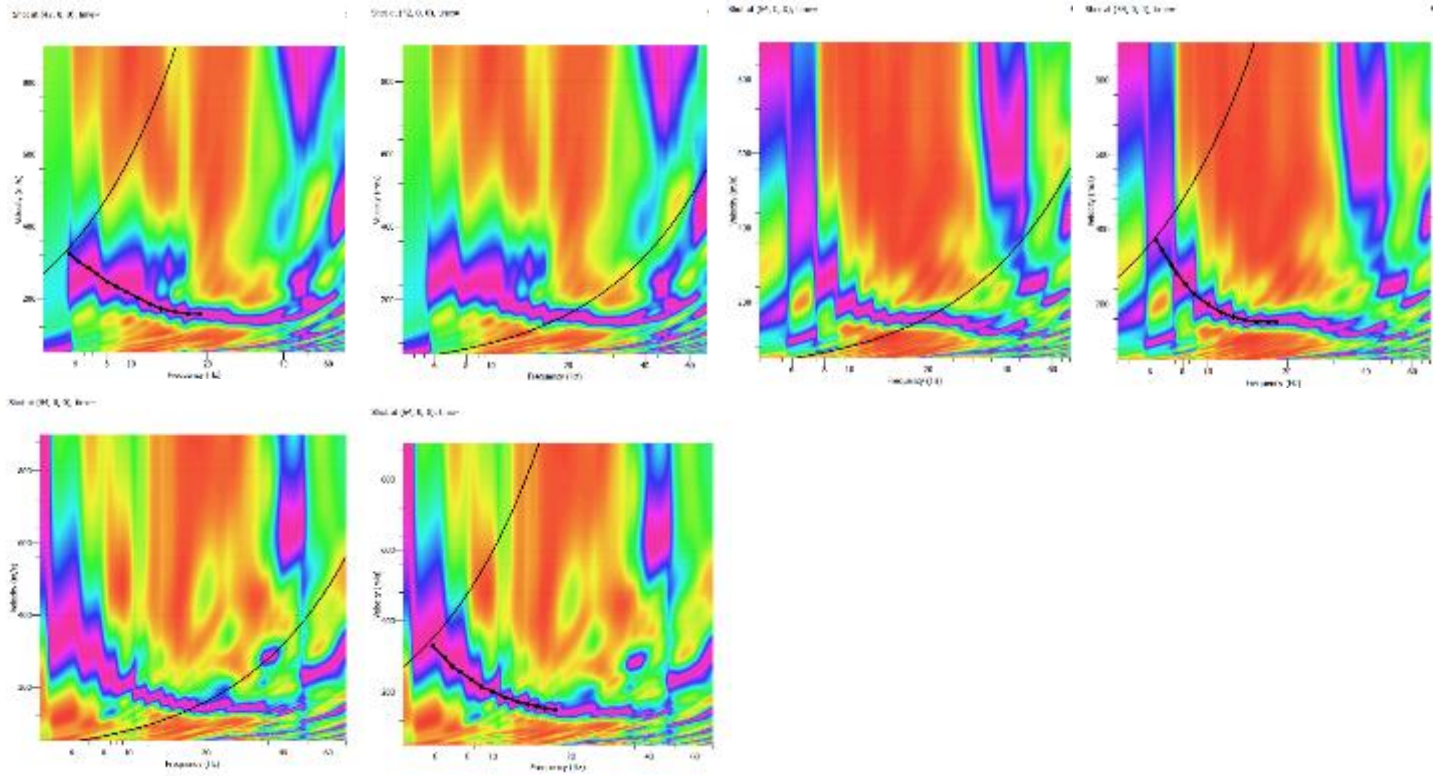
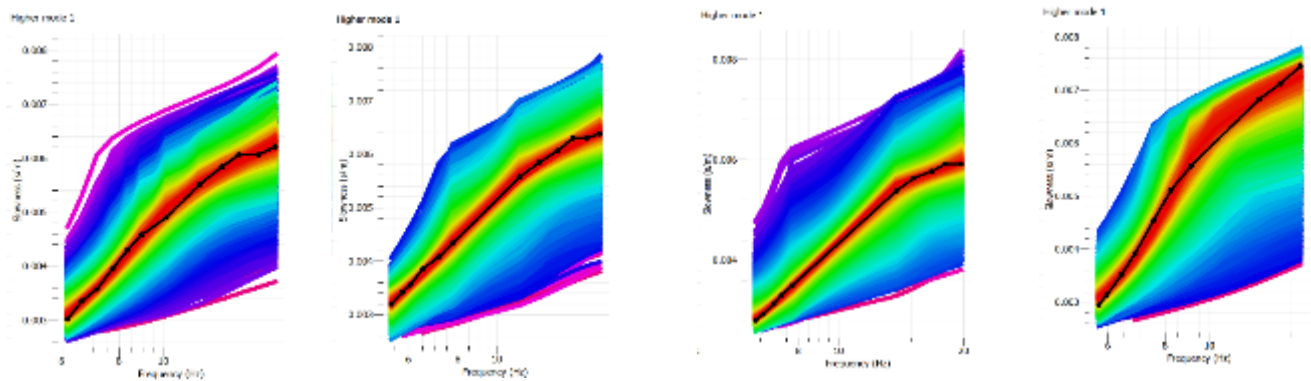


Figura A-4 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 02

1.2.2 Curva de dispersión teórica y experimental



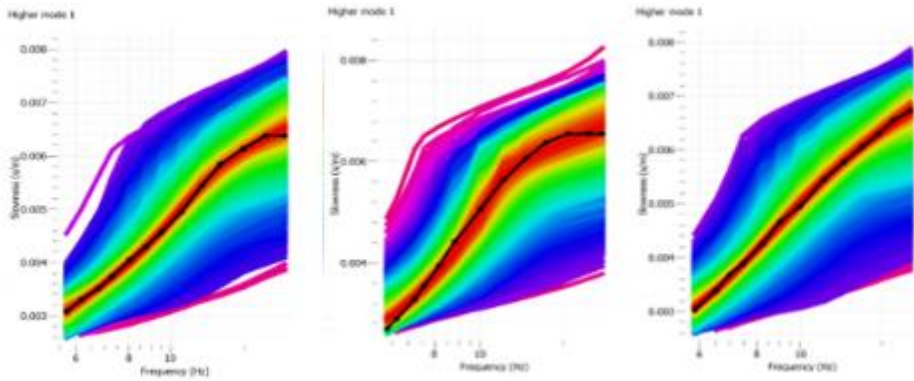
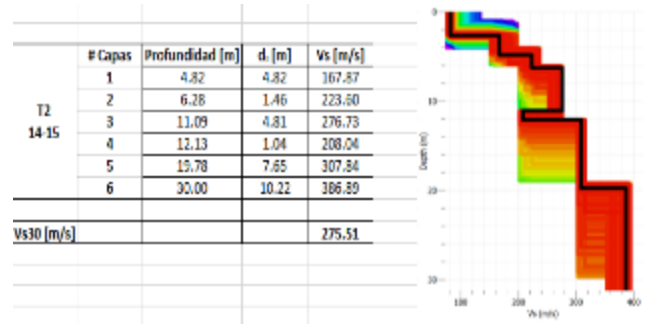
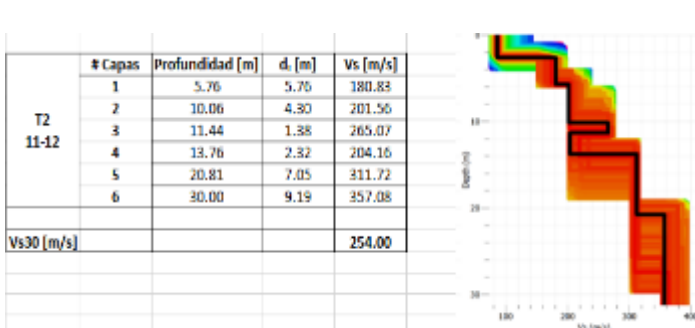
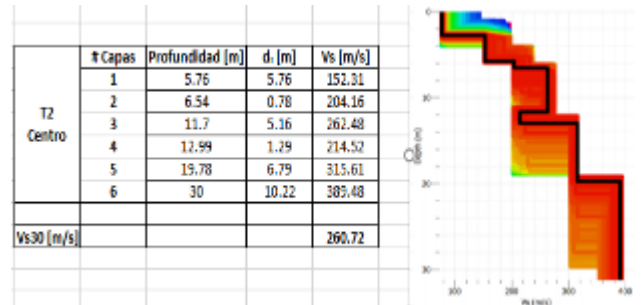
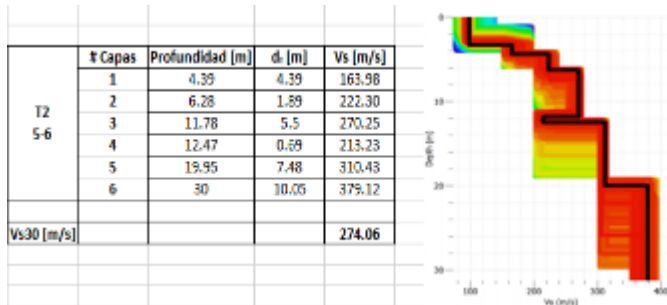
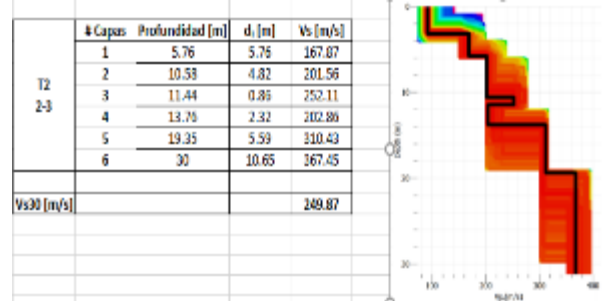
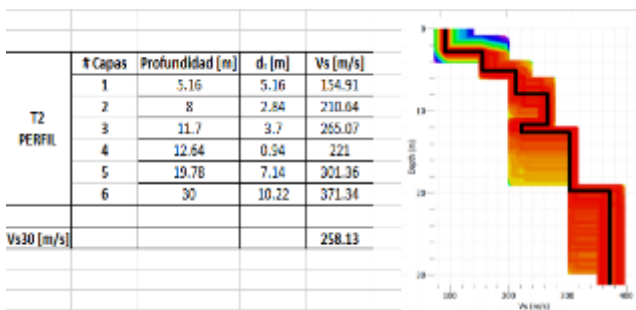


Figura A-5 Curva de dispersión teórica y experimental tendido 02.

1.2.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30



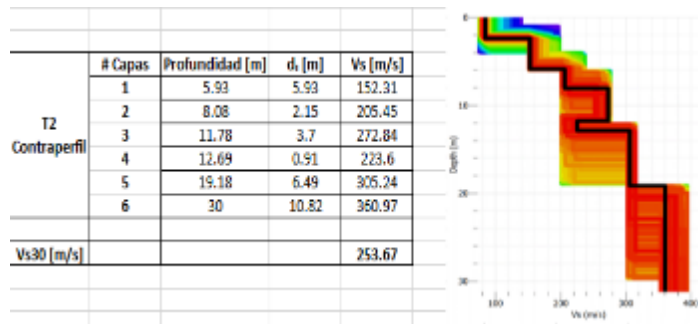
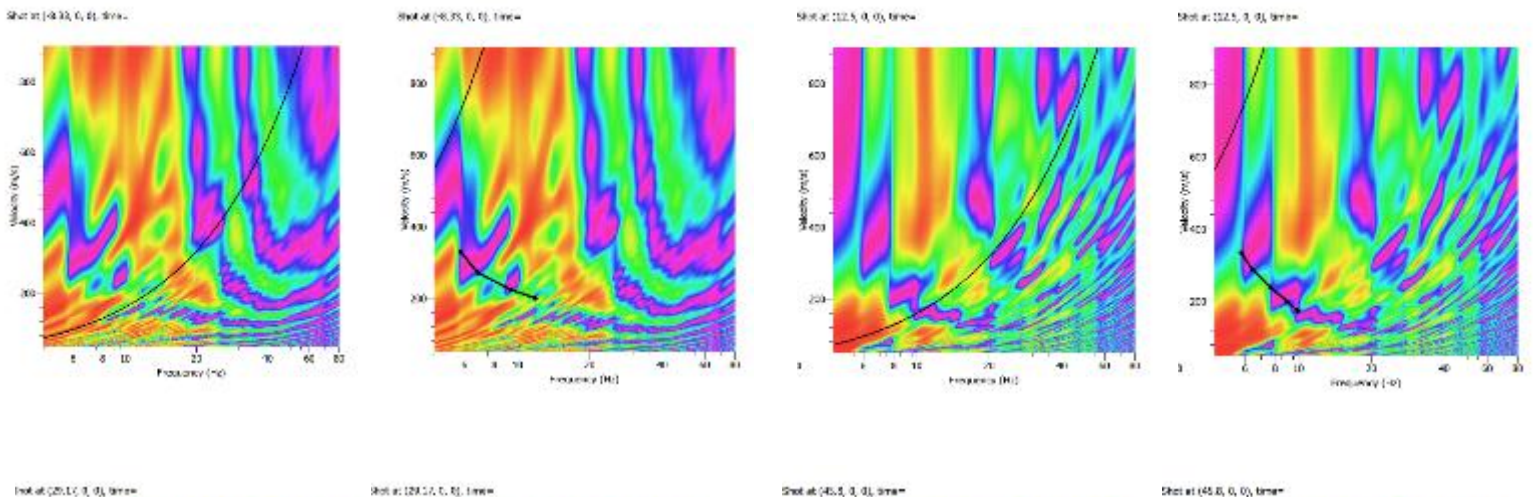


Figura A-6 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 02.

1.3 Tendido 03

TENDIDO 3			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 770034 E	17M 770090 E	17M 770138 E
	9962536 N	9962571 N	9962602 N
	3297 m	3291 m	3285 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
	14-15	112.50	
Contraperfil	133.33		

1.3.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



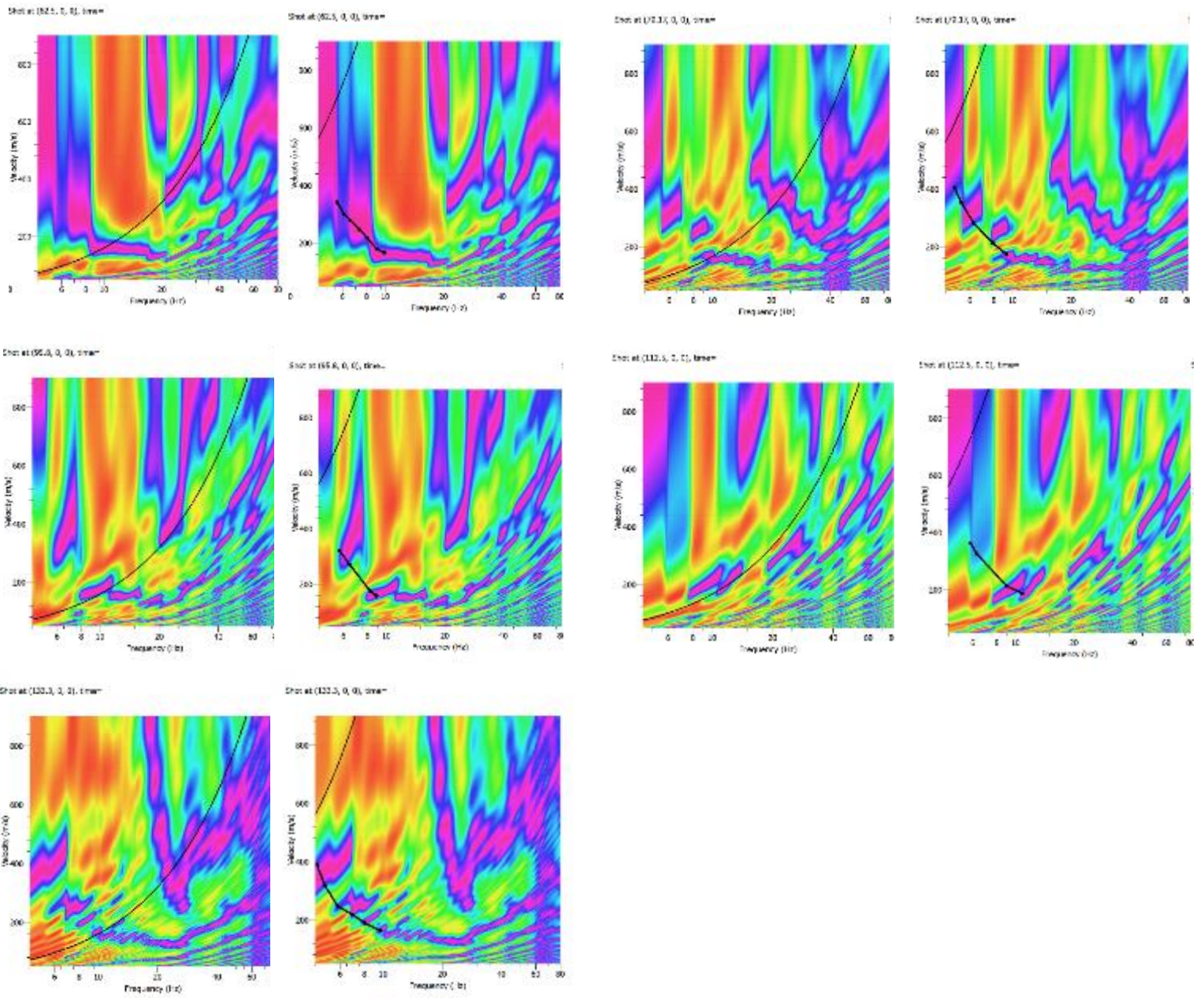


Figura A-7 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 03.

1.3.2 Curva de dispersión teórica y experimental

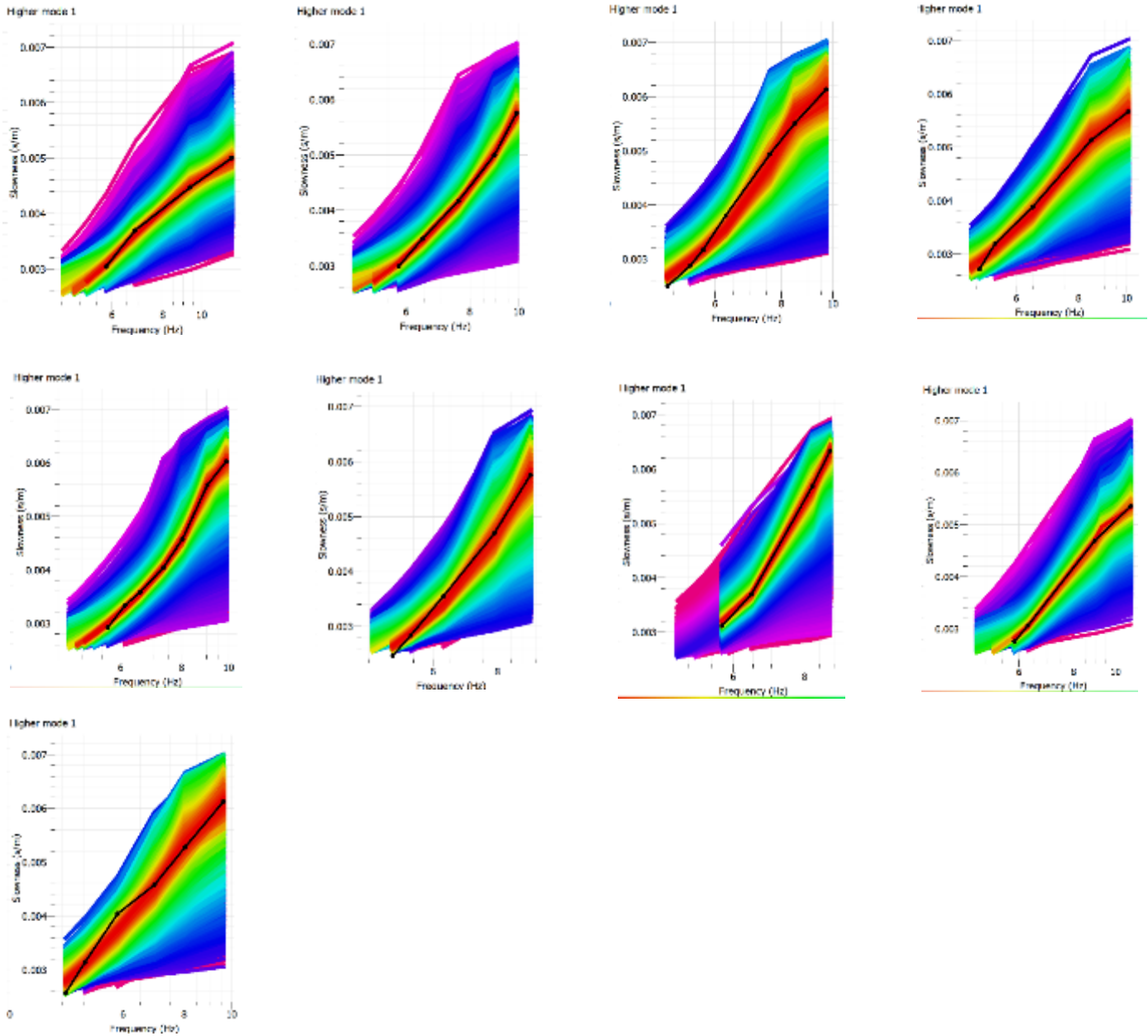


Figura A-8 Curva de dispersión teórica y experimental tendido 03.

1.3.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

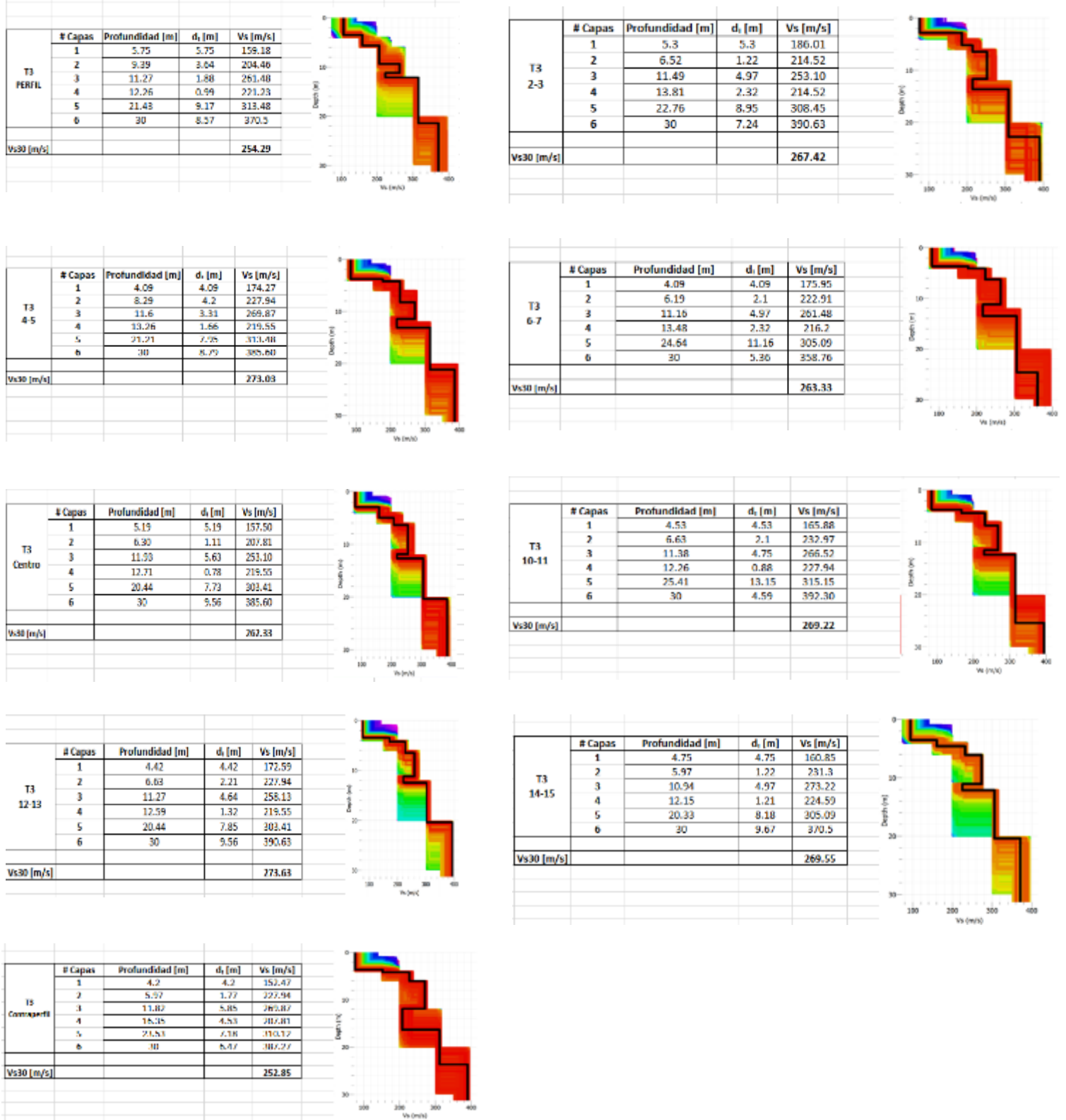
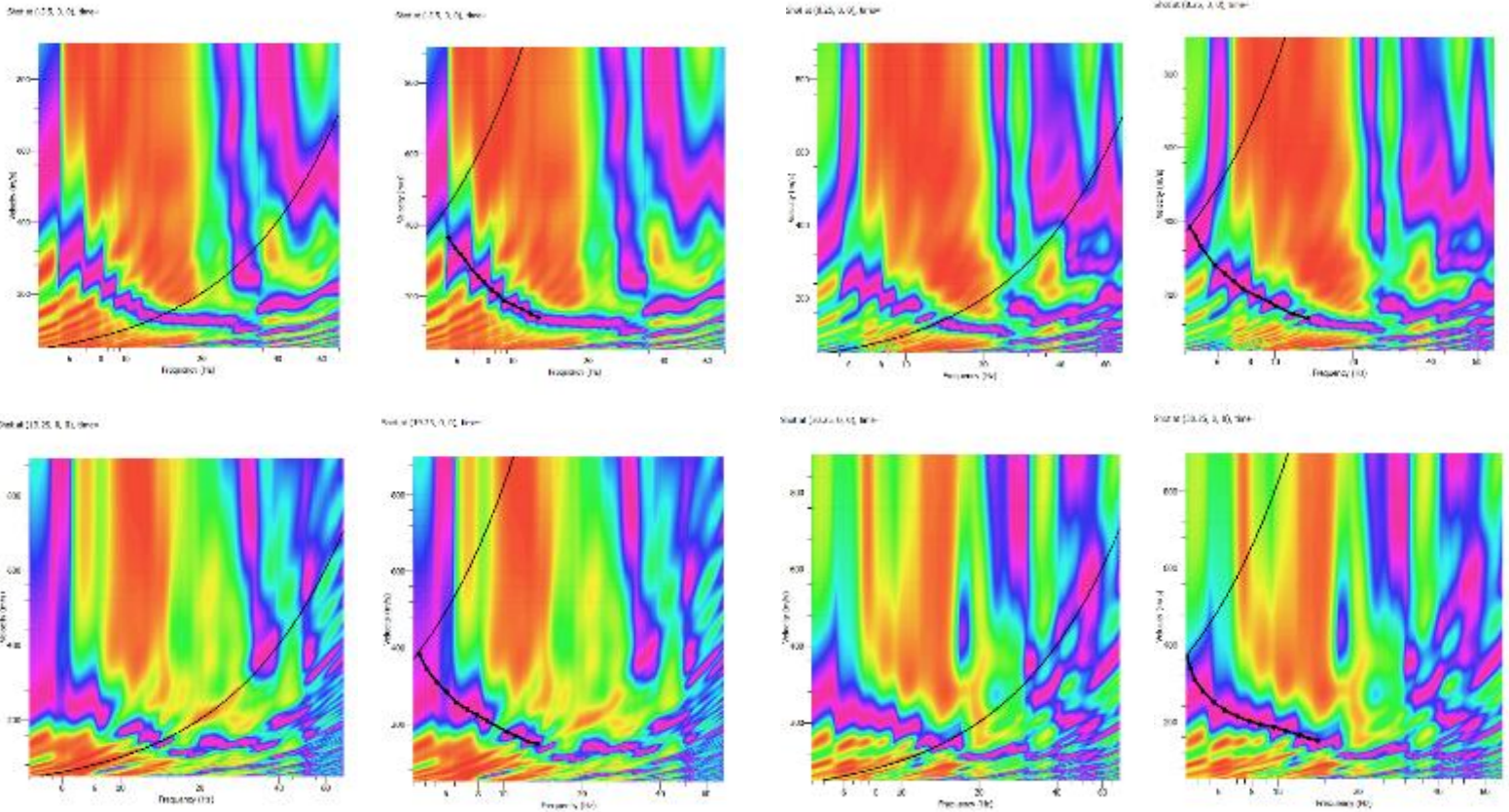


Figura A-9 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 03.

1.4 Tendido 04

TENDIDO 4			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 770195 E	17M 770171 E	17M 770138 E
	9962517 N	9962558 N	9962602 N
	3268 m	3280 m	3285 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
	14-15	112.50	
Contraperfil	133.33		

1.4.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



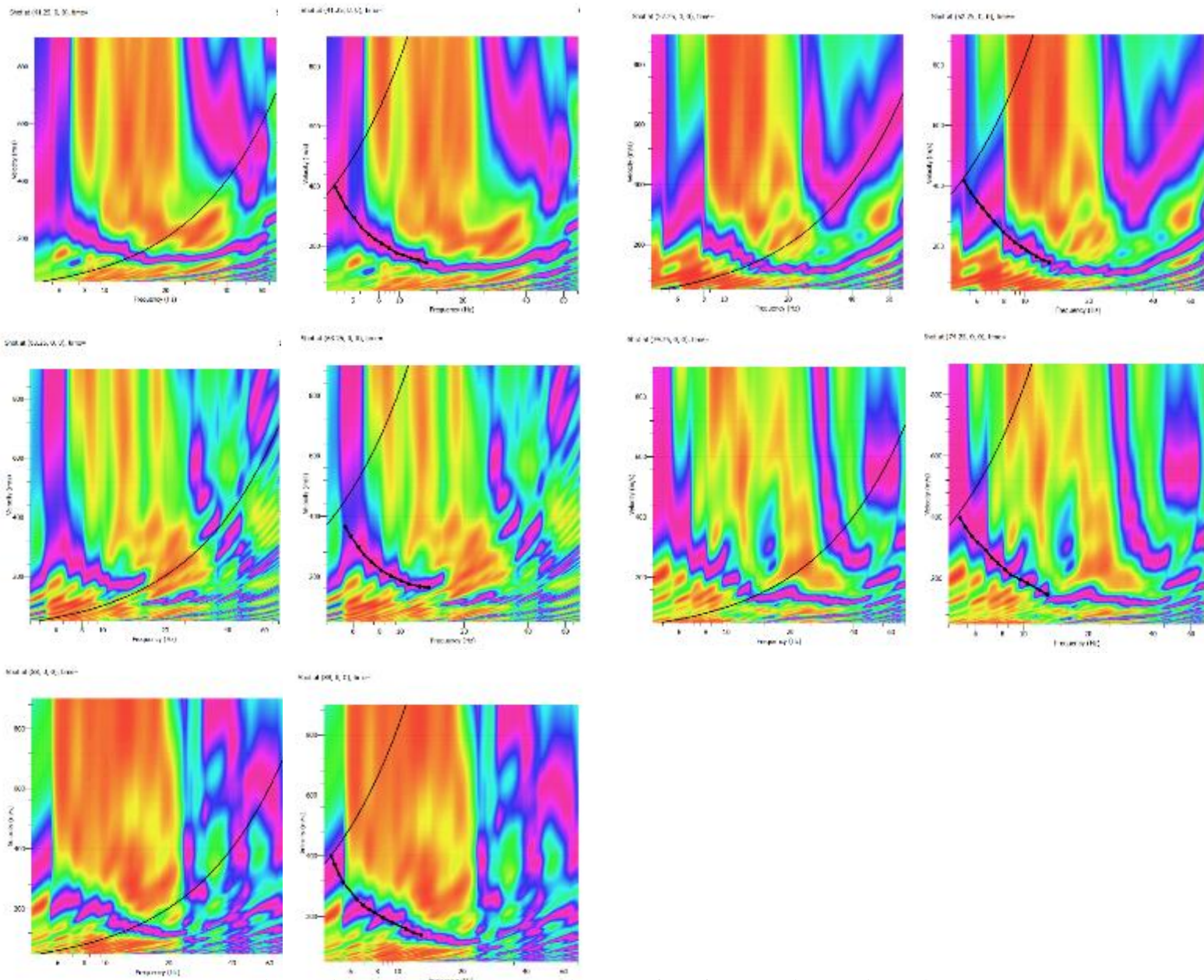
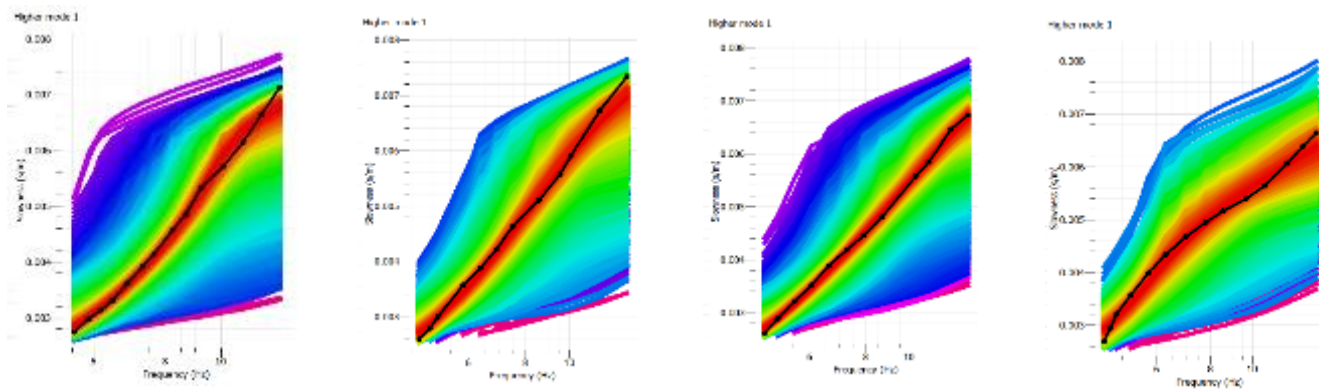


Figura A-10 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 04.

1.4.2 Curva de dispersión teórica y experimental



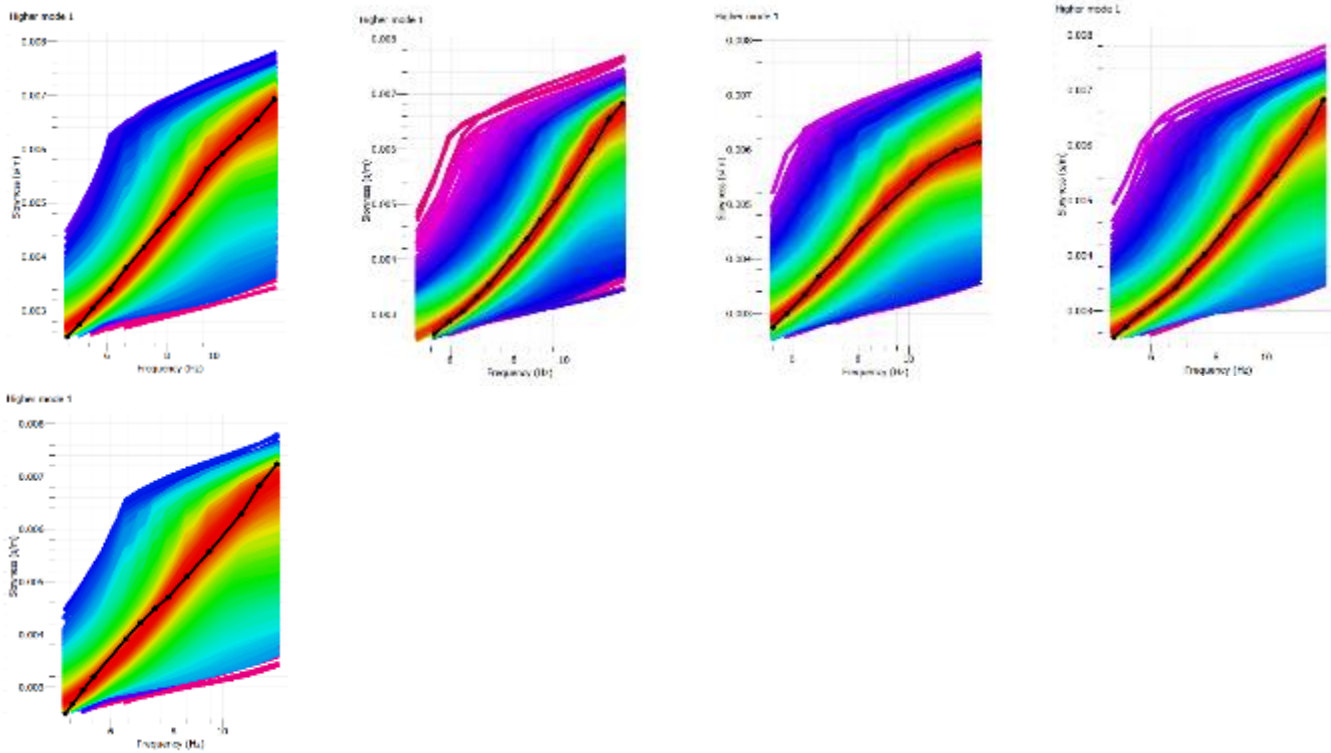
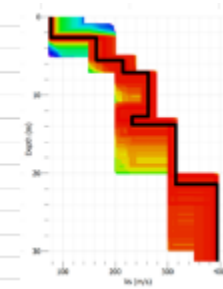


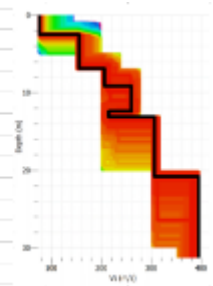
Figura A-11 Curva de dispersión teórica y experimental tendido 04.

1.4.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

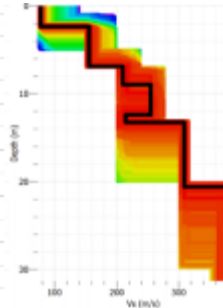
T4 PERFIL	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	5.6	5.6	162.68
	2	7.15	1.55	213.23
	3	12.75	5.6	262.48
	4	13.78	1.03	231.37
	5	21.45	7.67	315.61
	6	30	8.55	393.37
Vs30 [m/s]				264.28



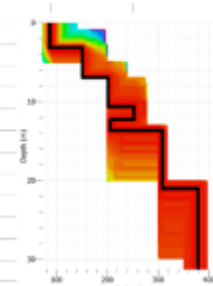
T4 2-3	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	6.89	6.89	156.20
	2	9.13	2.24	205.45
	3	12.4	3.27	259.88
	4	13.09	0.69	213.23
	5	20.84	7.75	306.54
	6	30	9.16	394.67
Vs30 [m/s]				251.42



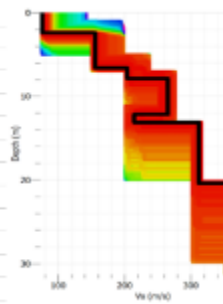
T4 4-5	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	6.89	6.89	154.91
	2	8.96	2.07	210.64
	3	12.4	3.44	254.70
	4	13.26	0.86	214.52
	5	20.59	7.33	309.13
	6	30	9.41	389.48
Vs30 [m/s]				250.64



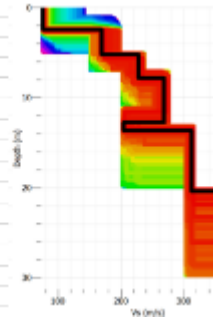
T4 6-7	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	6.98	6.98	151.02
	2	10.59	3.61	200.27
	3	12.23	1.64	252.11
	4	13.7	1.47	205.45
	5	21.02	7.32	309.13
	6	30	8.98	377.82
Vs30 [m/s]				239.33



T4 CENTRO	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	6.63	6.63	156.20
	2	7.92	1.29	204.16
	3	12.14	4.22	265.07
	4	13.09	0.95	214.52
	5	20.41	7.32	311.72
	6	30.00	9.59	385.60
Vs30 [m/s]				255.39



T4 10-11	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	5.17	5.17	169.16
	2	7.84	2.67	227.48
	3	12.75	4.91	267.66
	4	13.78	1.03	202.86
	5	20.41	6.63	311.72
	6	30.00	9.59	379.12
Vs30 [m/s]				267.17



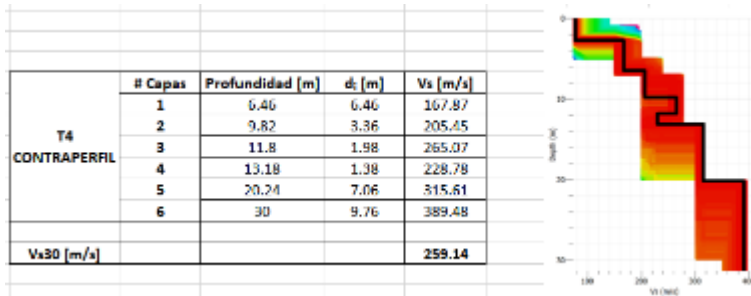
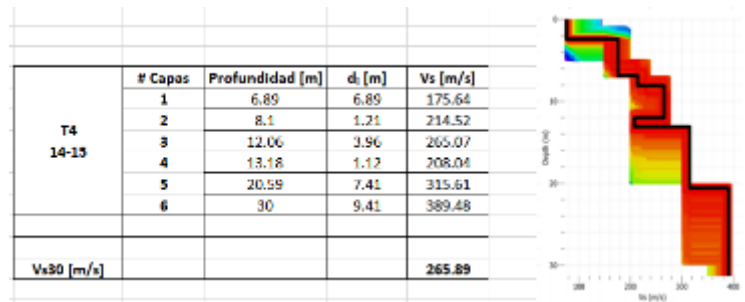
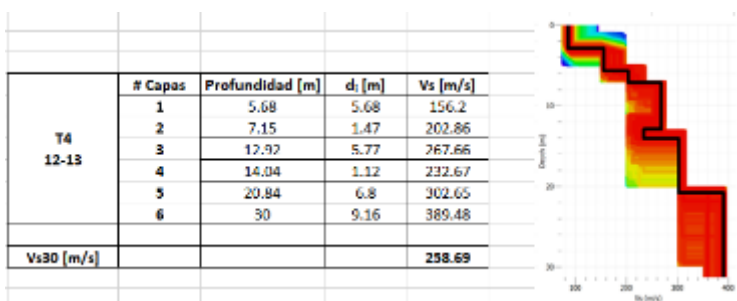


Figura A-12 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 04.

1.5 Tendido 05

TENDIDO 5			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 770425 E	17M 770483 E	17M 770537 E
	9962538 N	9962575 N	9962607 N
	3258 m	3248 m	3241 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
	14-15	112.50	
Contraperfil	133.33		

1.5.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia

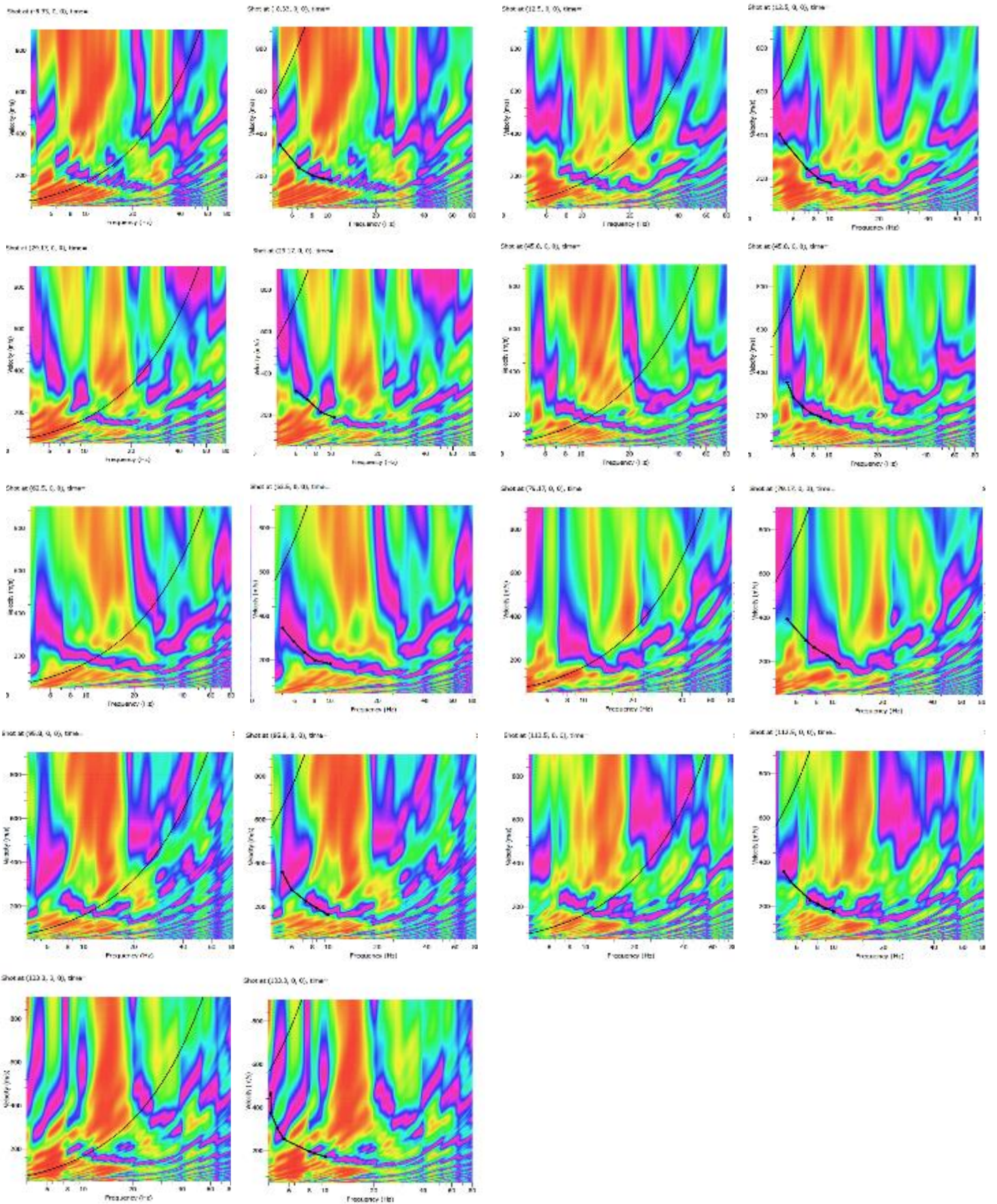


Figura A-13 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 05.

1.5.2 Curva de dispersión teórica y experimental

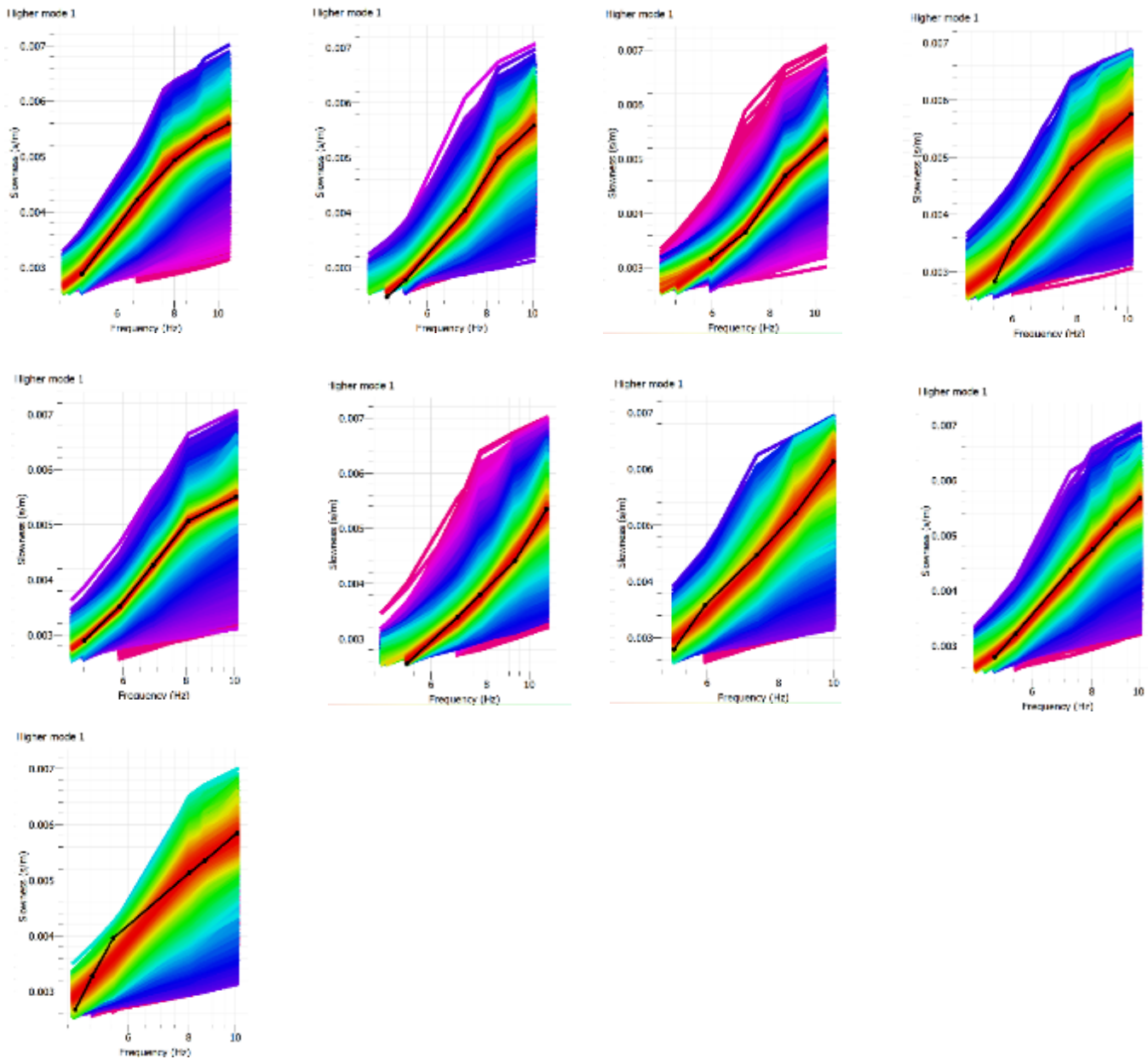


Figura A-14 Curva de dispersión teórica y experimental tendido 05.

1.5.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

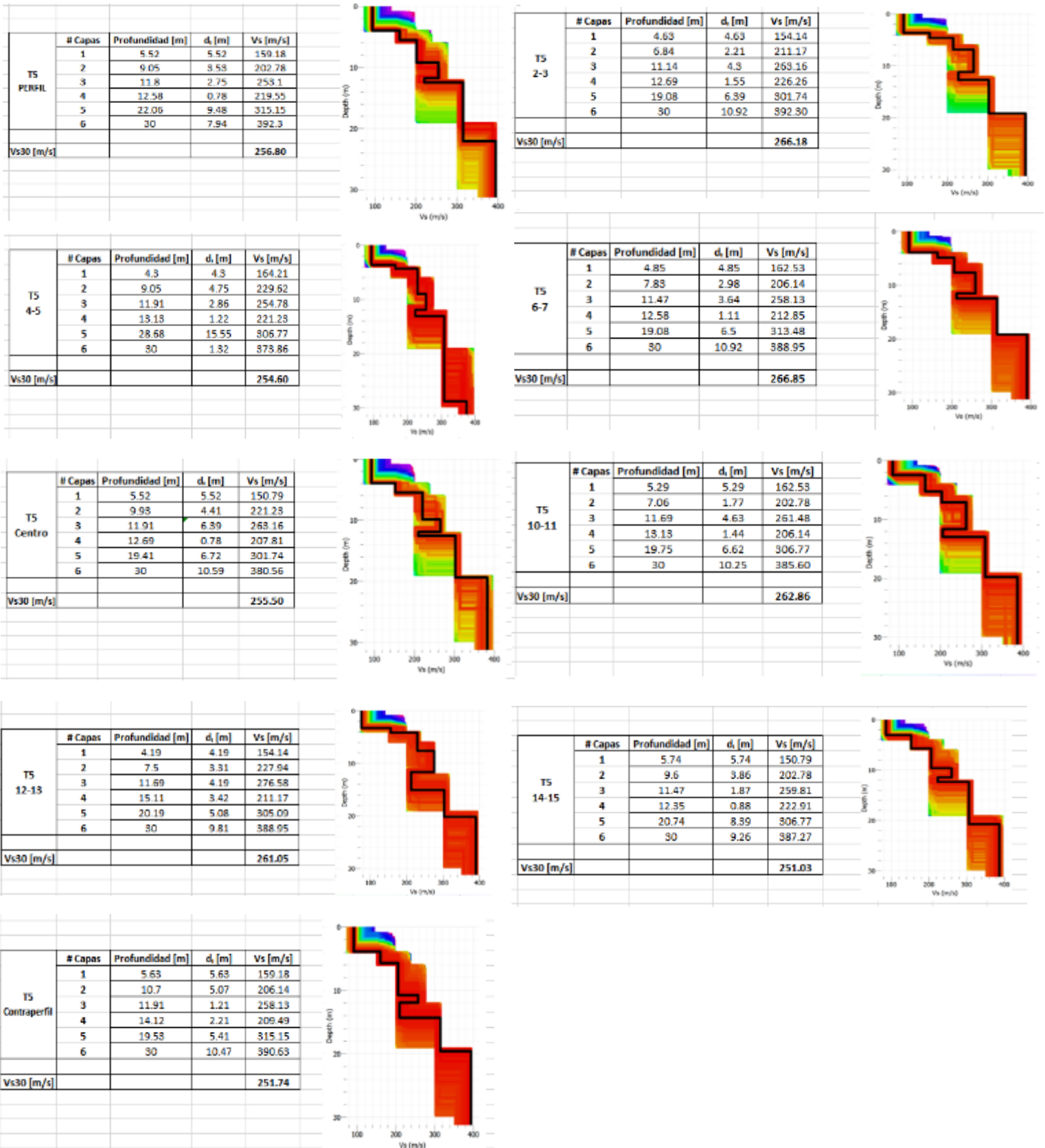
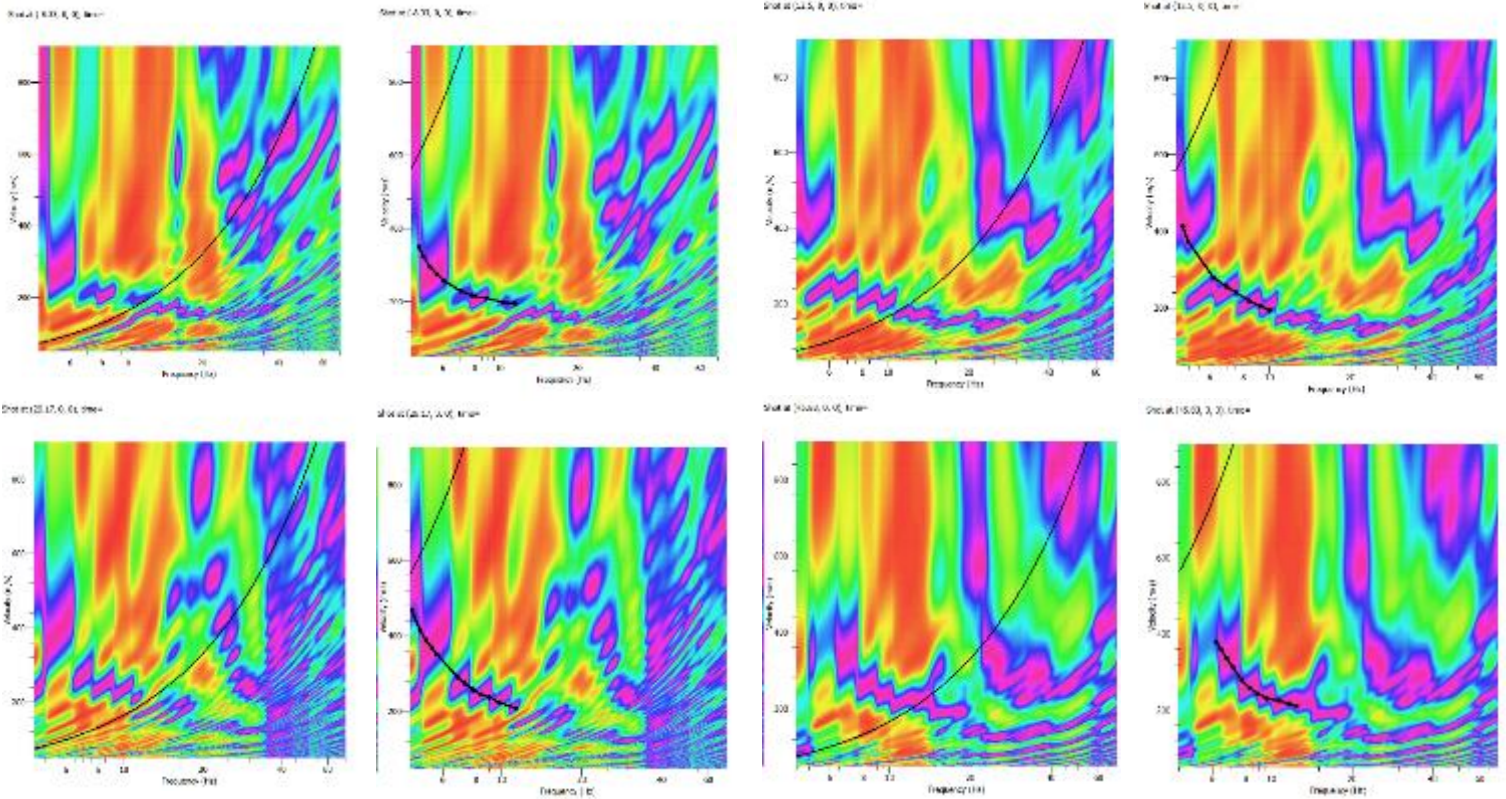


Figura A-15 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 05.

1.6 Tendido 06

TENDIDO 6			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 770484 E	17M 770543 E	17M 770578 E
	9962452 N	9962484 N	9962506 N
	3266 m	3279 m	3266 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
	14-15	112.50	
Contraperfil	133.33		

1.6.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



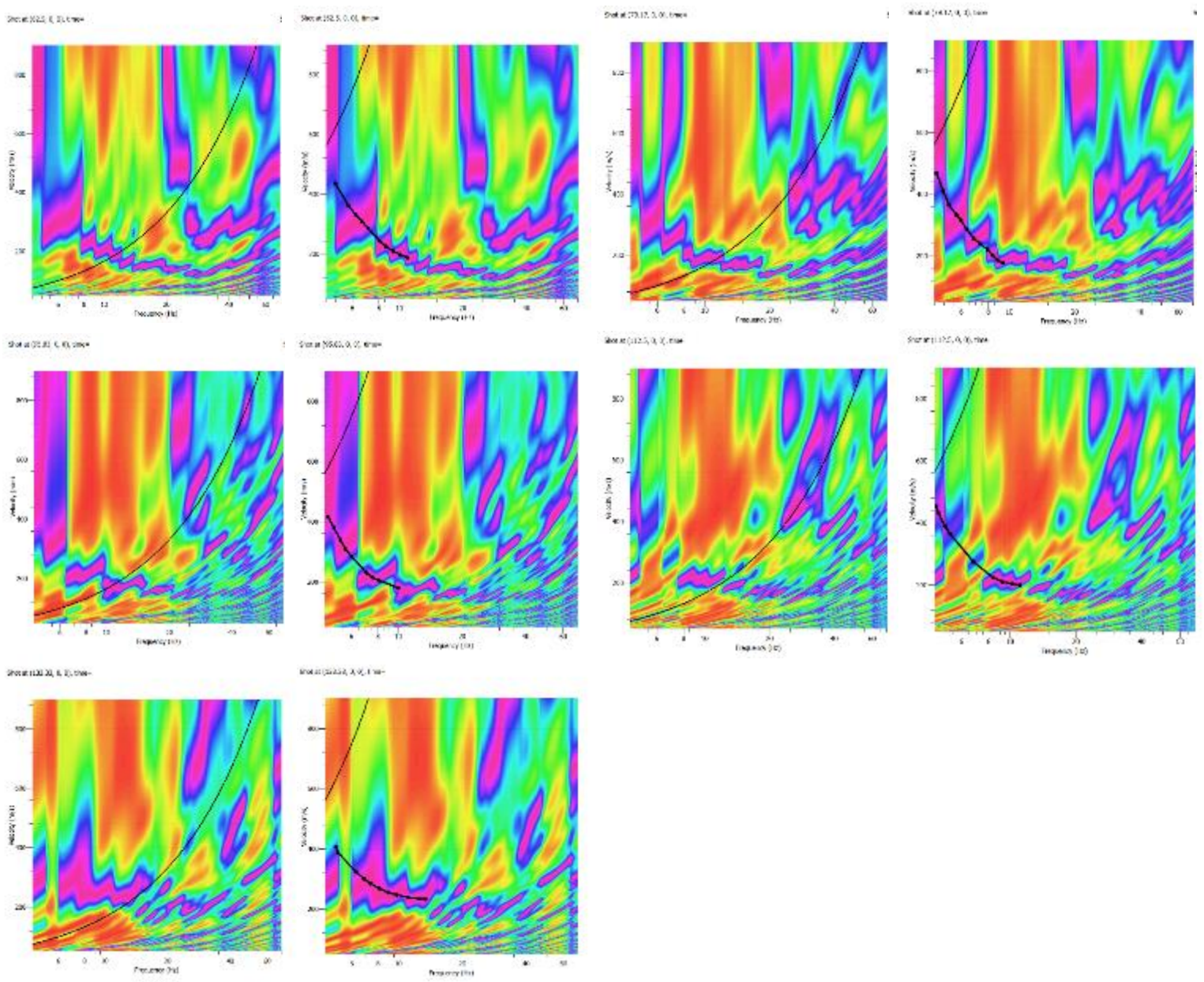
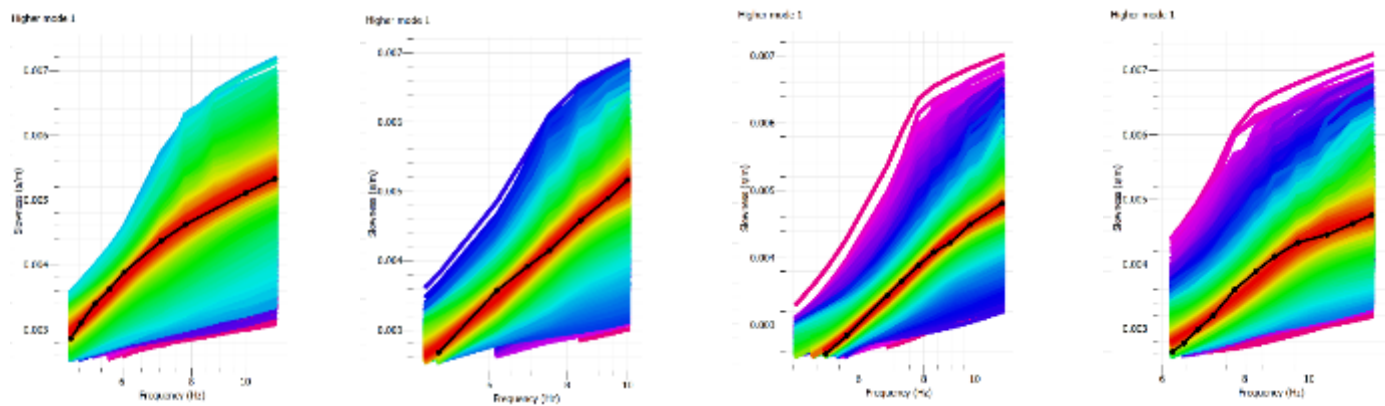


Figura A-16 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 06.

1.6.2 Curva de dispersión teórica y experimental



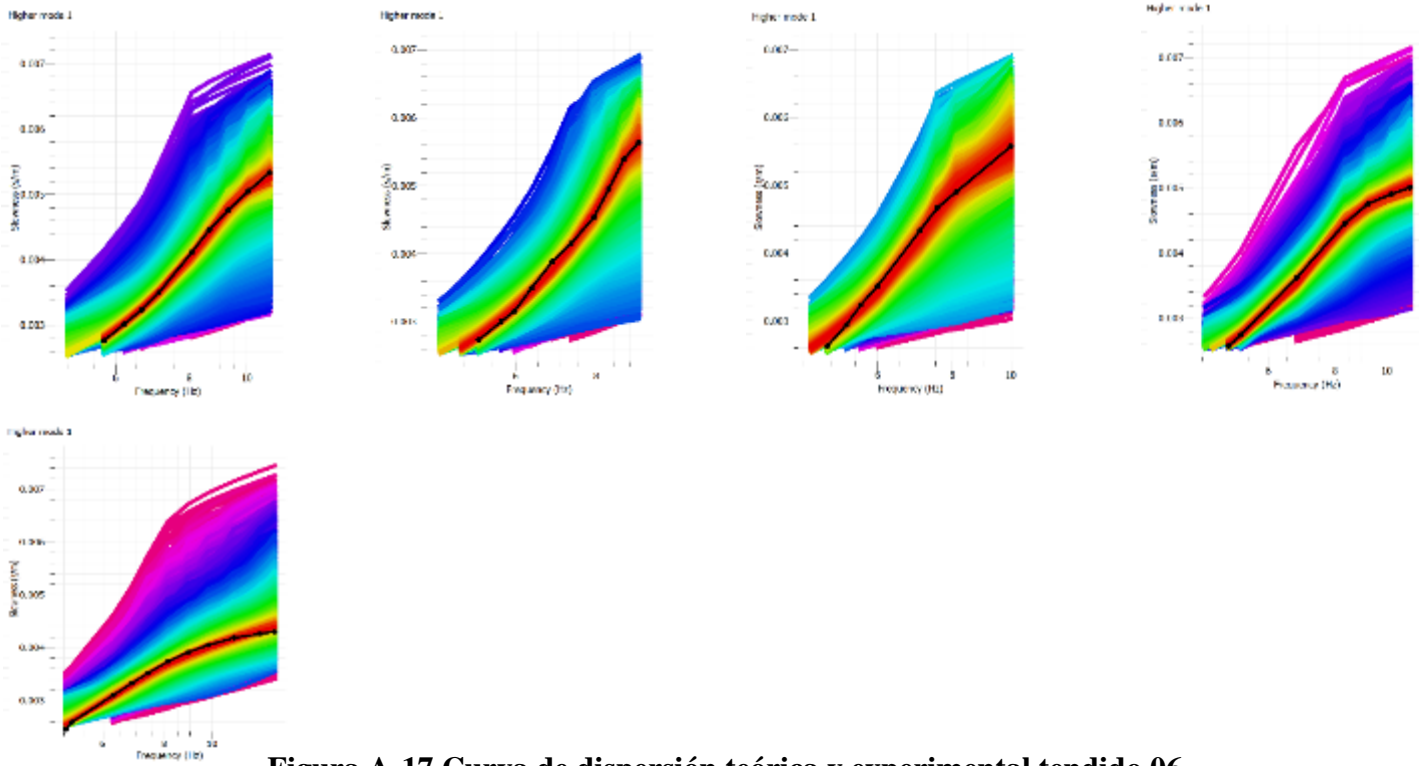
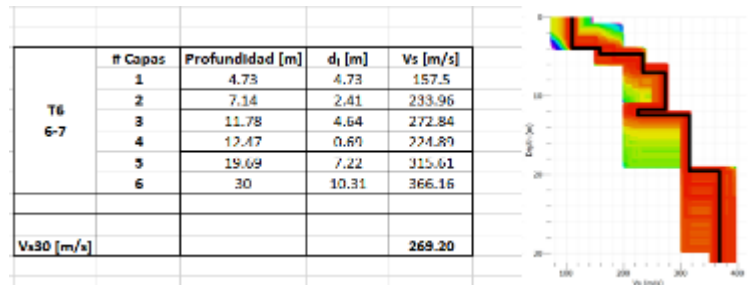
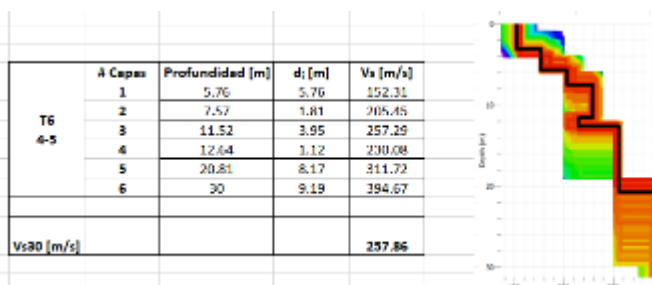
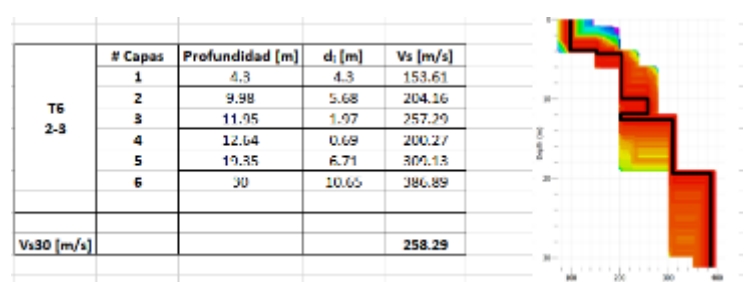
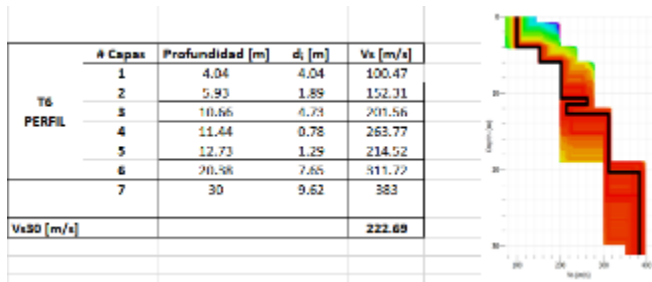


Figura A-17 Curva de dispersión teórica y experimental tendido 06.

1.6.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30



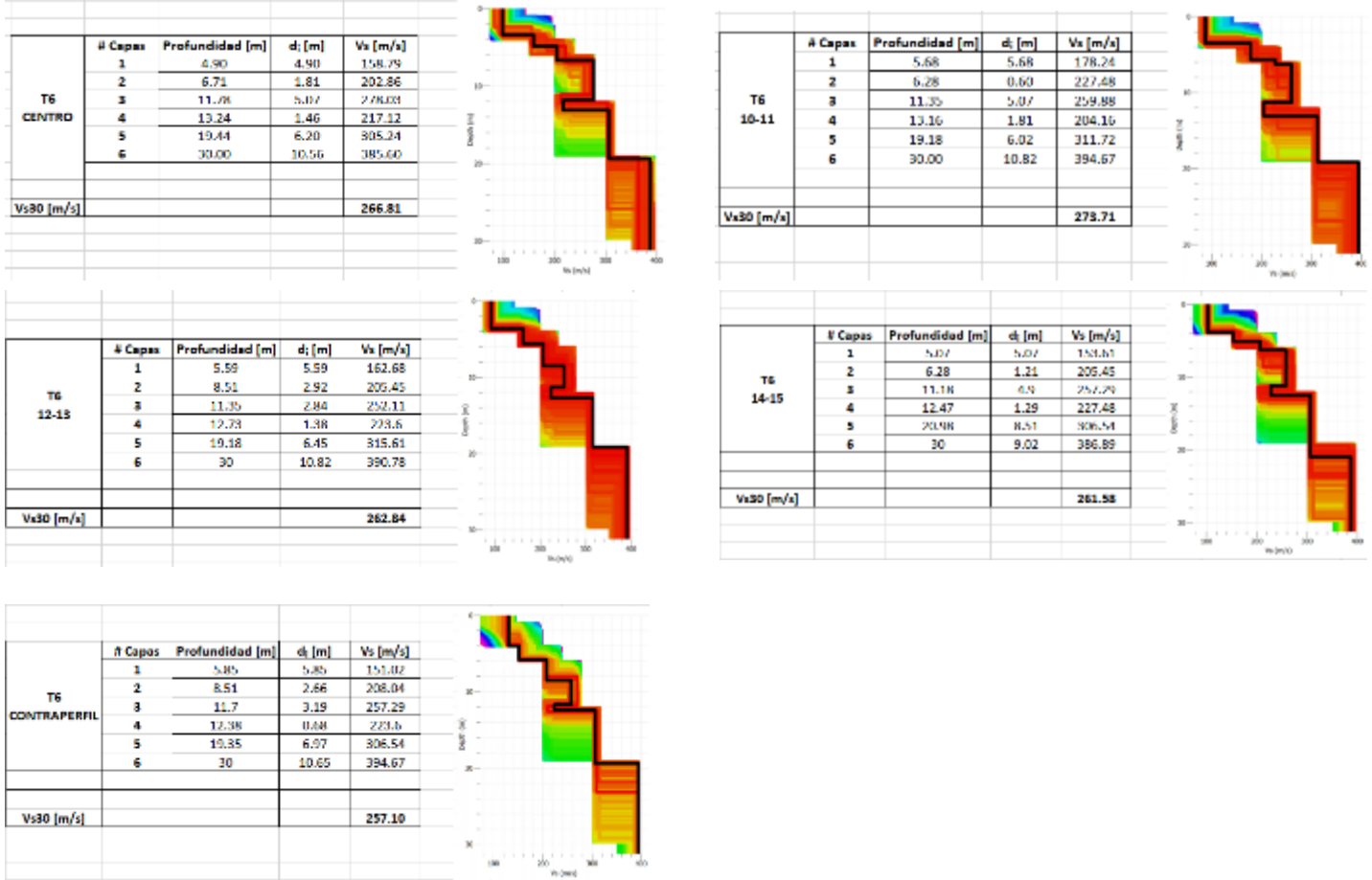


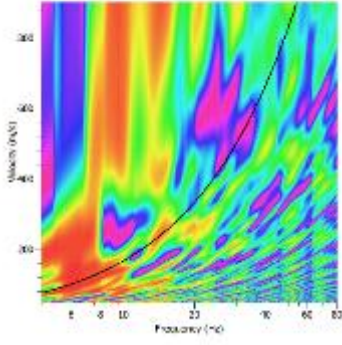
Figura A-18 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 06.

1.7 Tendido 07

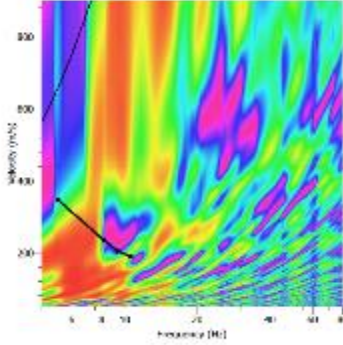
TENDIDO 7			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M770653 E	17M 770625 E	17M 770603 E
	9962376 N	9962442 N	9962499 N
	3241 m	3242 m	3239 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
14-15	112.50		
Contraperfil	133.33		

1.7.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia

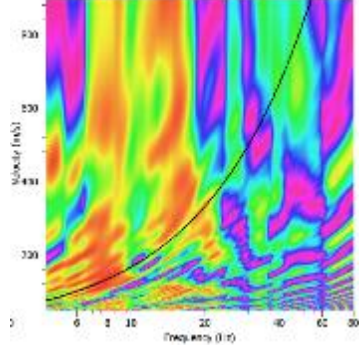
Shot at (4.33, 0, 0), time=



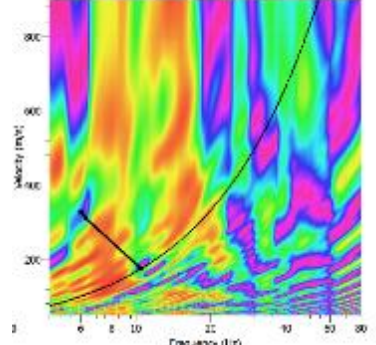
Shot at (46.35, 0, 0), time=



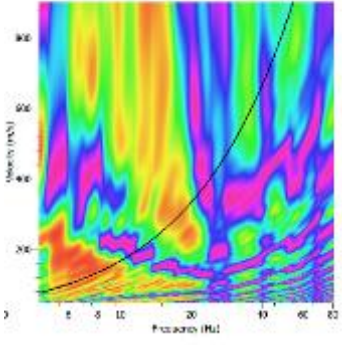
Shot at (122.5, 0, 0), time=



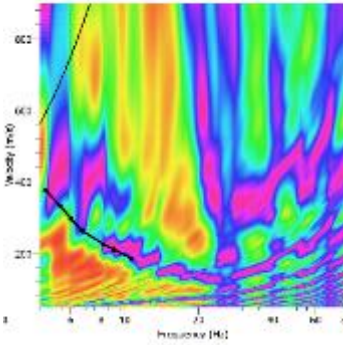
Shot at (122.5, 0, 0), time=



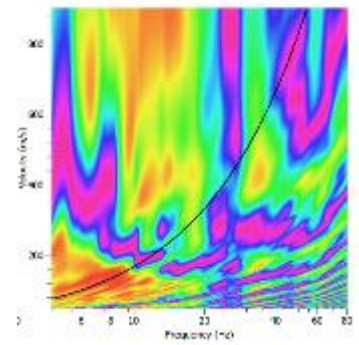
Shot at (29.17, 0, 0), time=



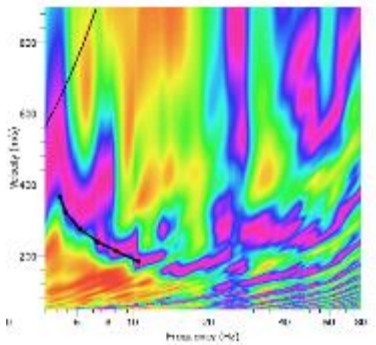
Shot at (29.17, 0, 0), time=



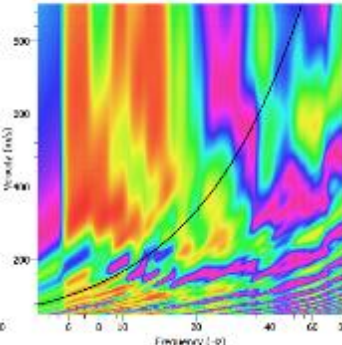
Shot at (145.4, 0, 0), time=



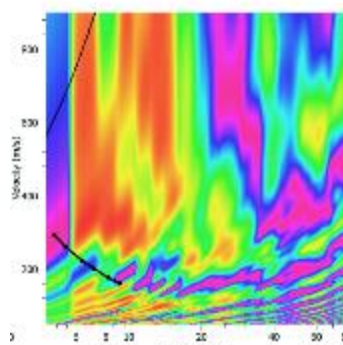
Shot at (145.4, 0, 0), time=



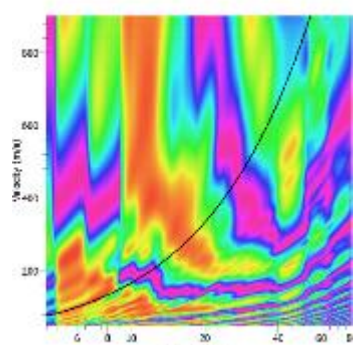
Shot at (60.1, 0, 0), time=



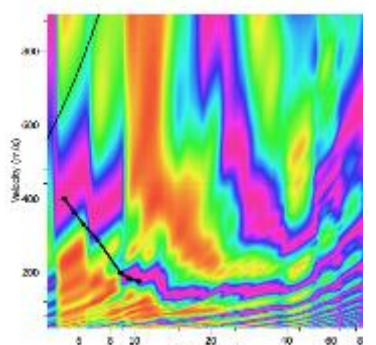
Shot at (60.1, 0, 0), time=



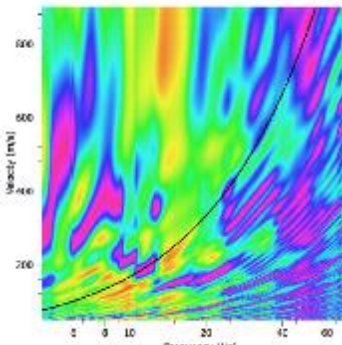
Shot at (79.17, 0, 0), time=



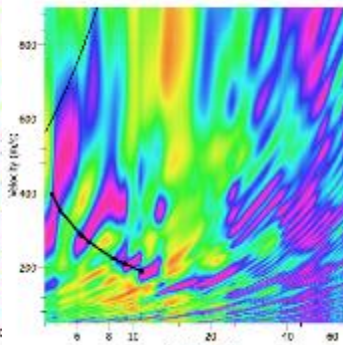
Shot at (79.17, 0, 0), time=



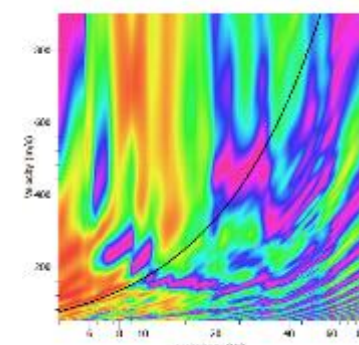
Shot at (25.8, 0, 0), time=



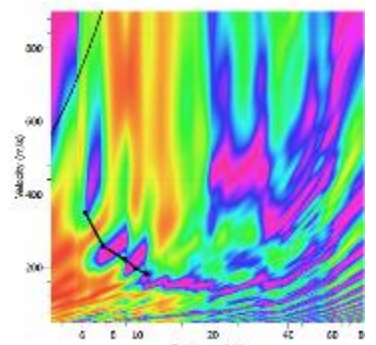
Shot at (56.3, 0, 0), time=



Shot at (122.5, 0, 0), time=



Shot at (112.5, 0, 0), time=



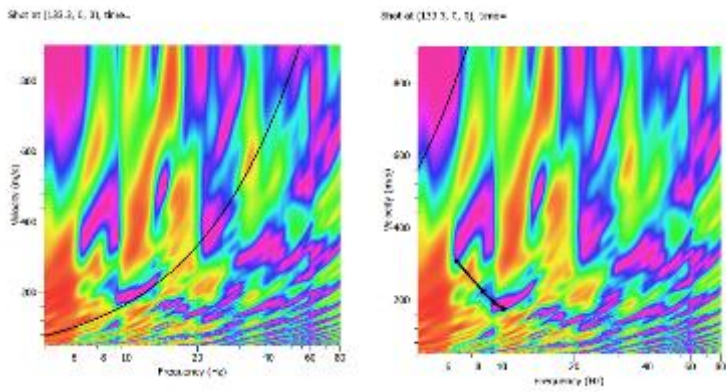


Figura A-19 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 07.

1.7.2 Curva de dispersión teórica y experimental

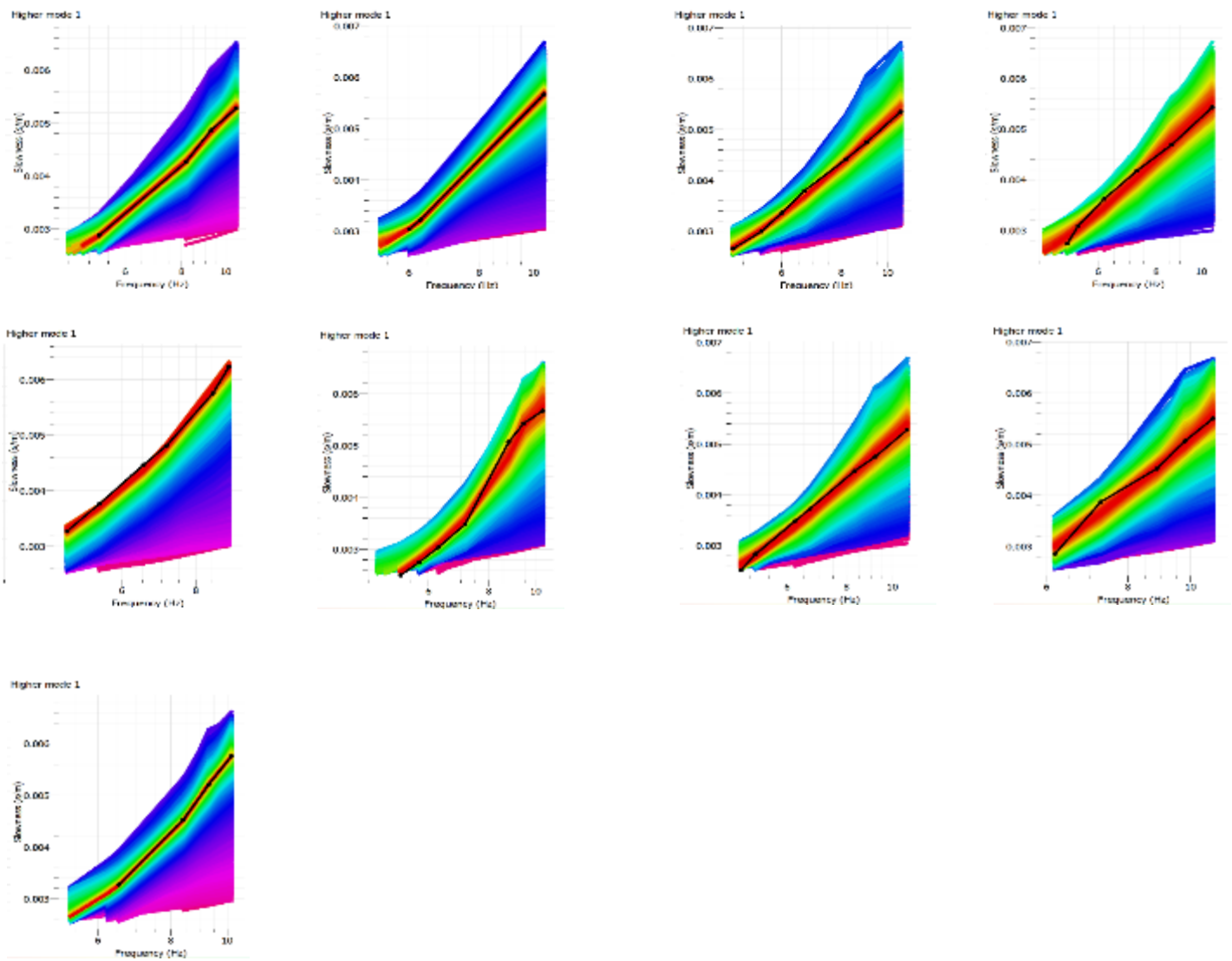


Figura A-20 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 07.

1.7.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

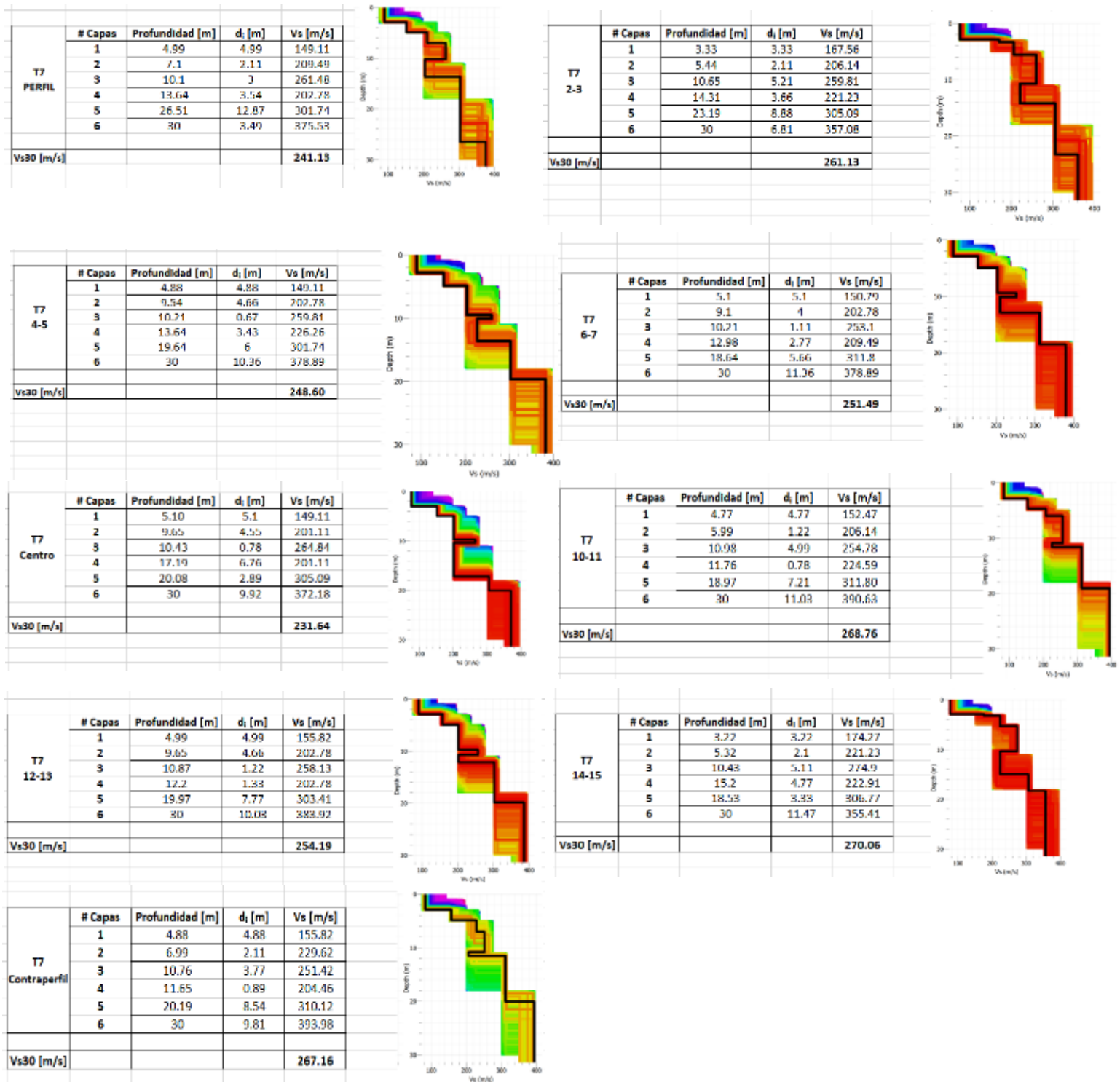
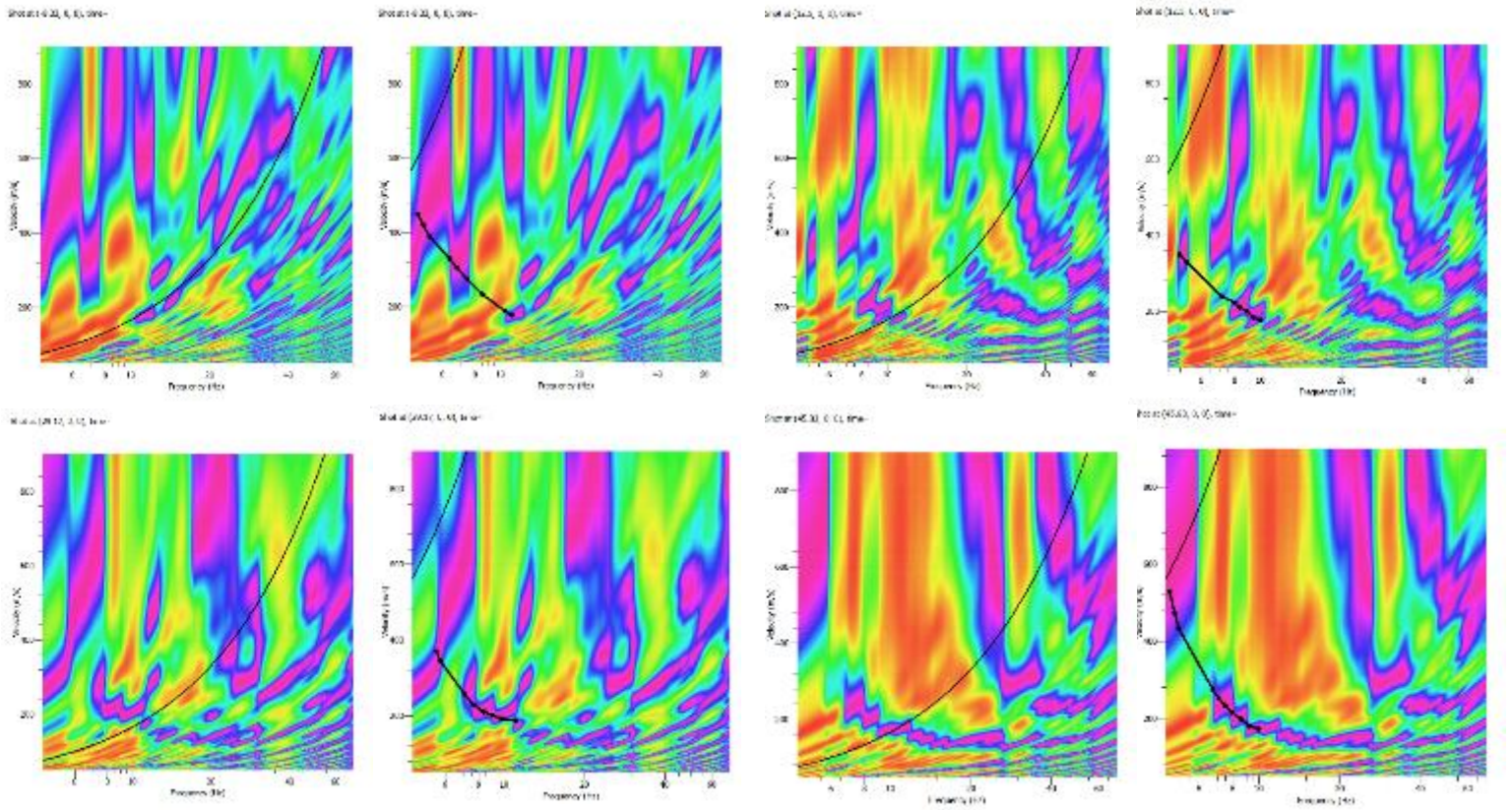


Figura A-21 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 07.

1.8 Tendido 08

TENDIDO 8			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 770625 E	17M 770701 E	17M 770761 E
	9962463 N	9962498 N	9962539 N
	3248 m	3240 m	3226 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
	14-15	112.50	
Contraperfil	133.33		

1.8.1 Espectros de velocidad de fase-frecuencia



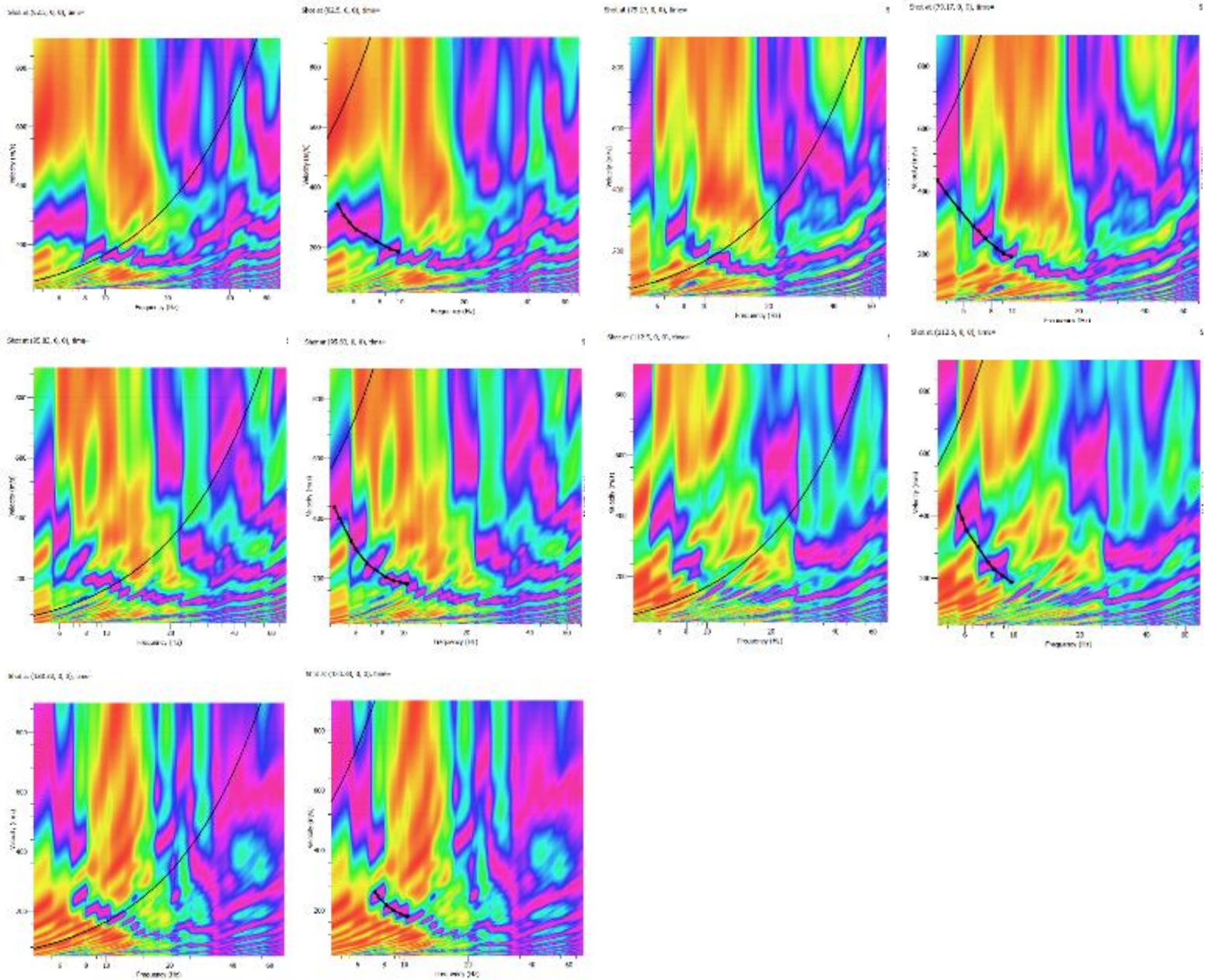
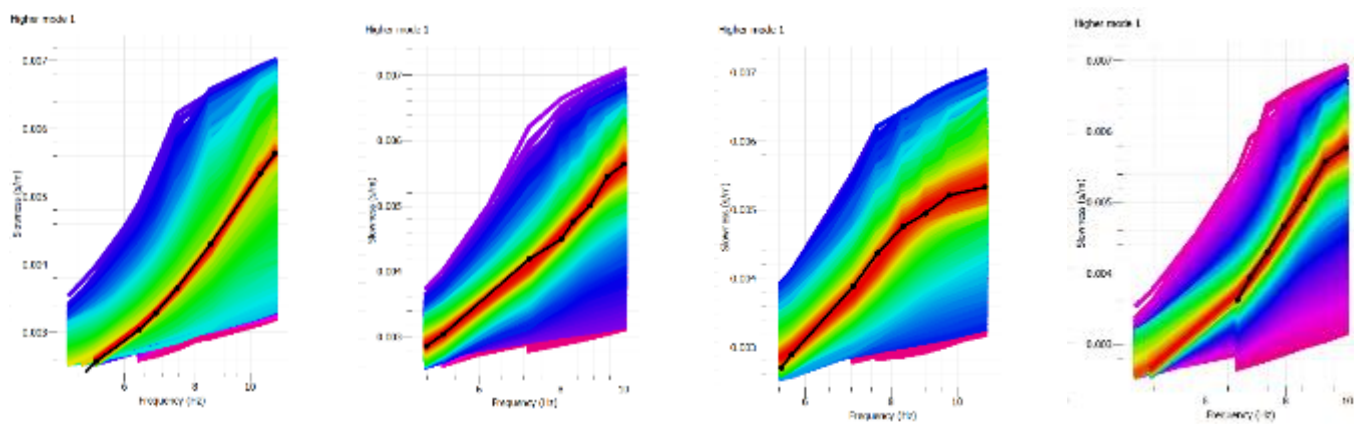


Figura A-22 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 08.

1.8.2 Curva de dispersión teórica y experimental



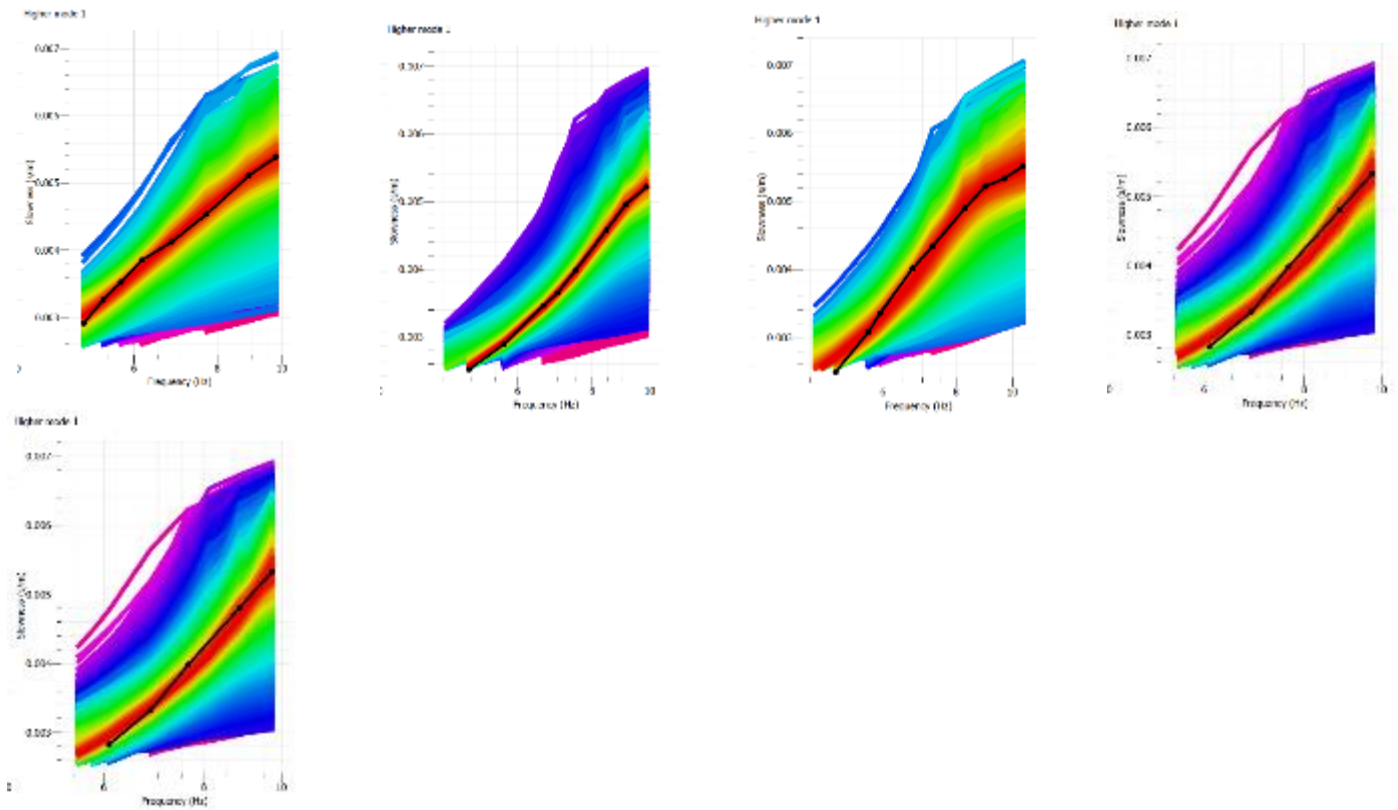
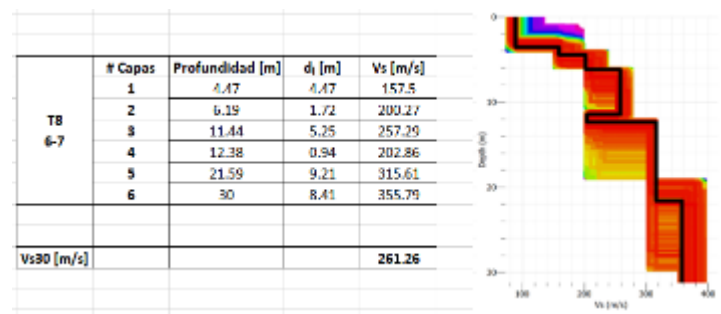
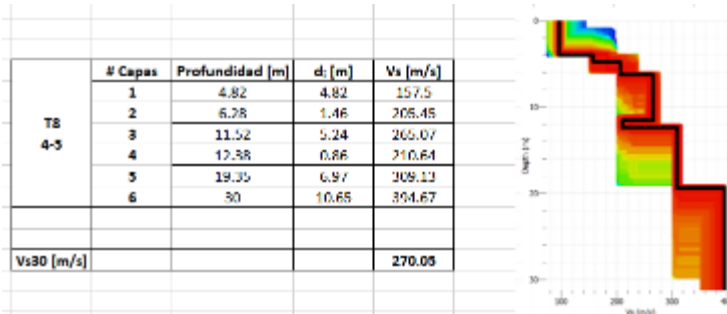
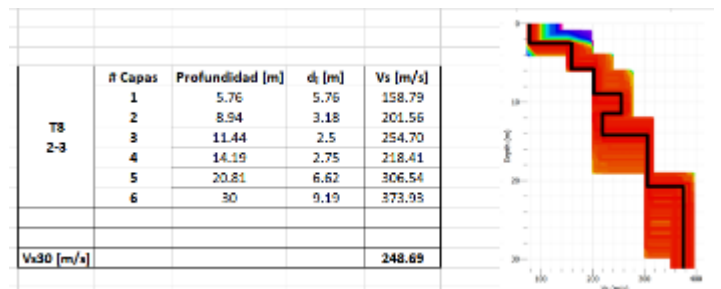
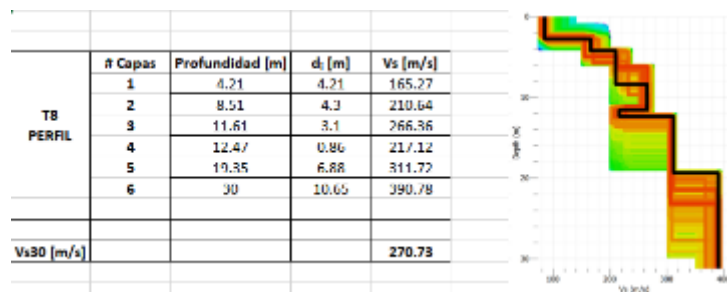


Figura A-23 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 08.

1.8.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30



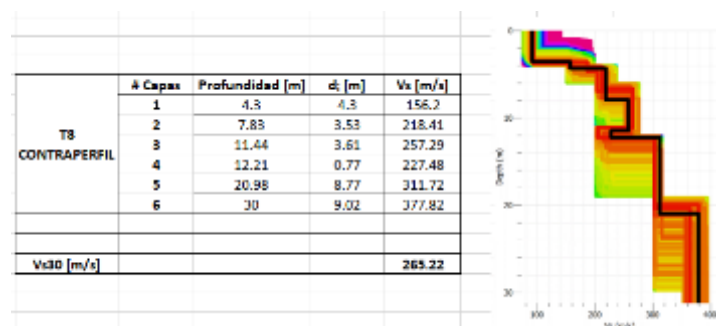
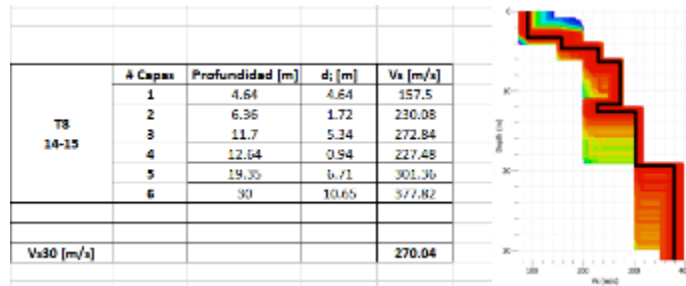
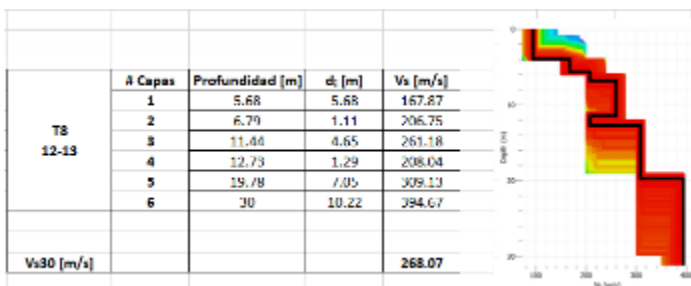
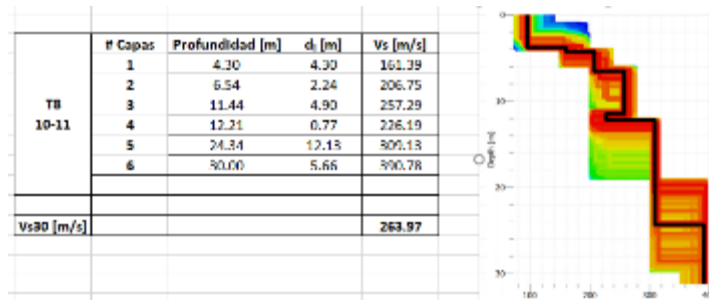
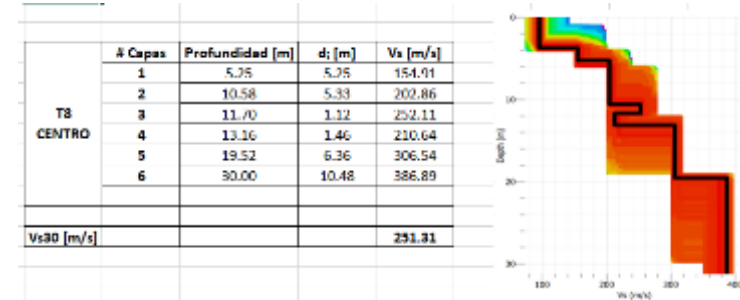
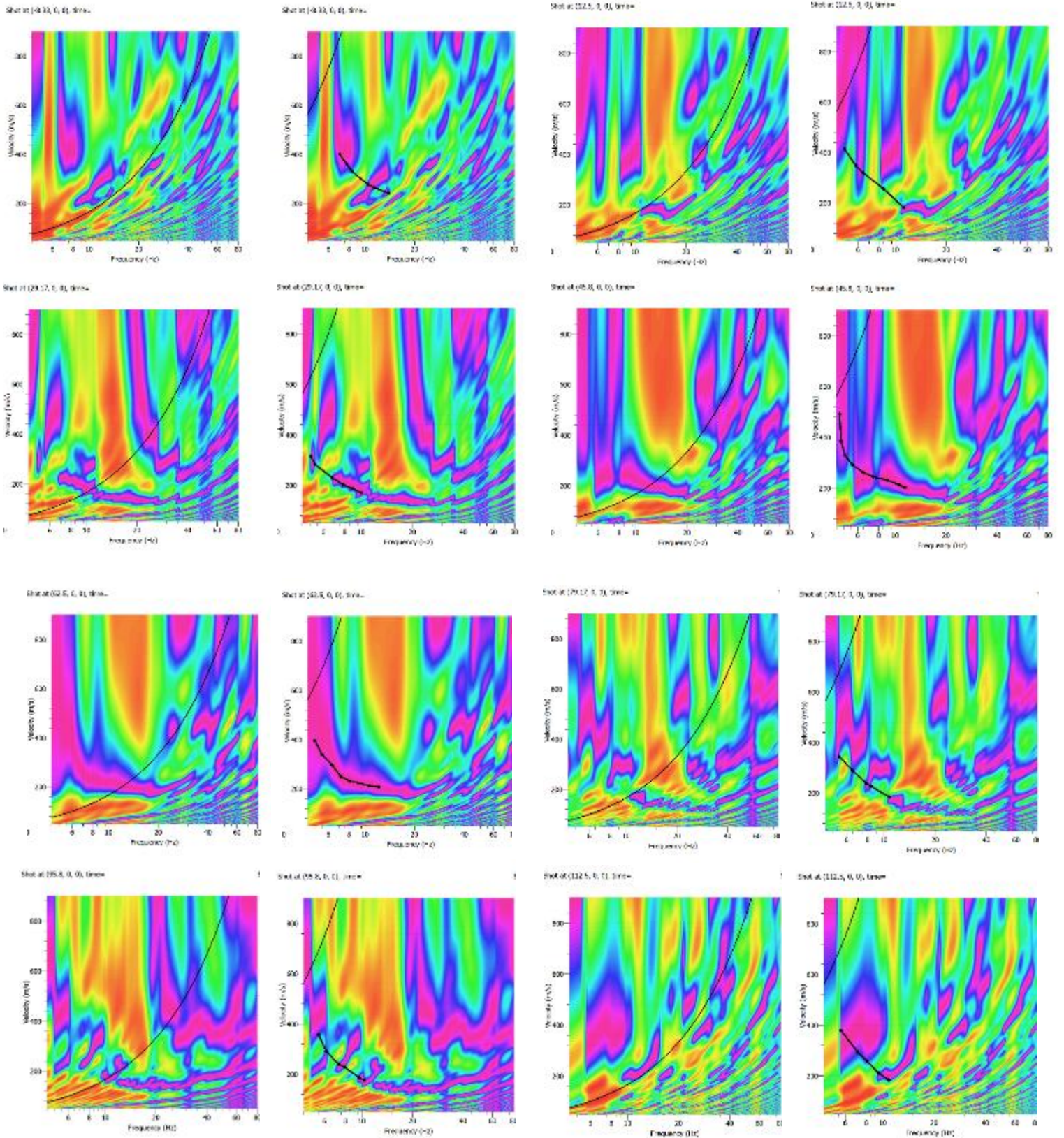


Figura A-24 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 08.

1.9 Tendido 09

TENDIDO 9			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 770941 E	17M 770884 E	17M 770833 E
	9962504 N	9962477 N	9962425 N
	3212 m	3219 m	3223 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
14-15	112.50		
Contraperfil	133.33		

1.9.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



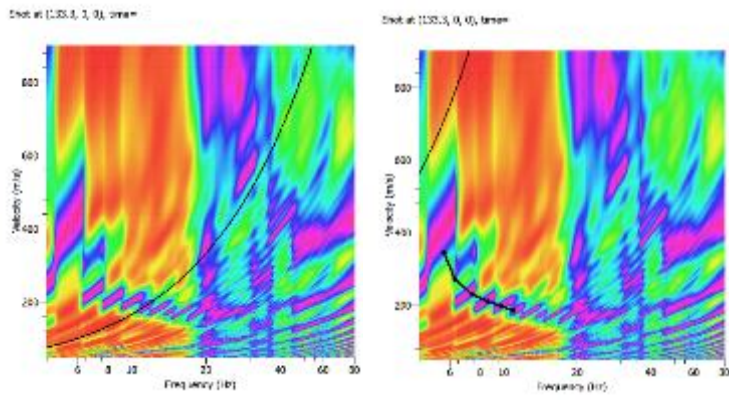


Figura A-25 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 09.

1.9.2 Curva de dispersión teórica y experimental

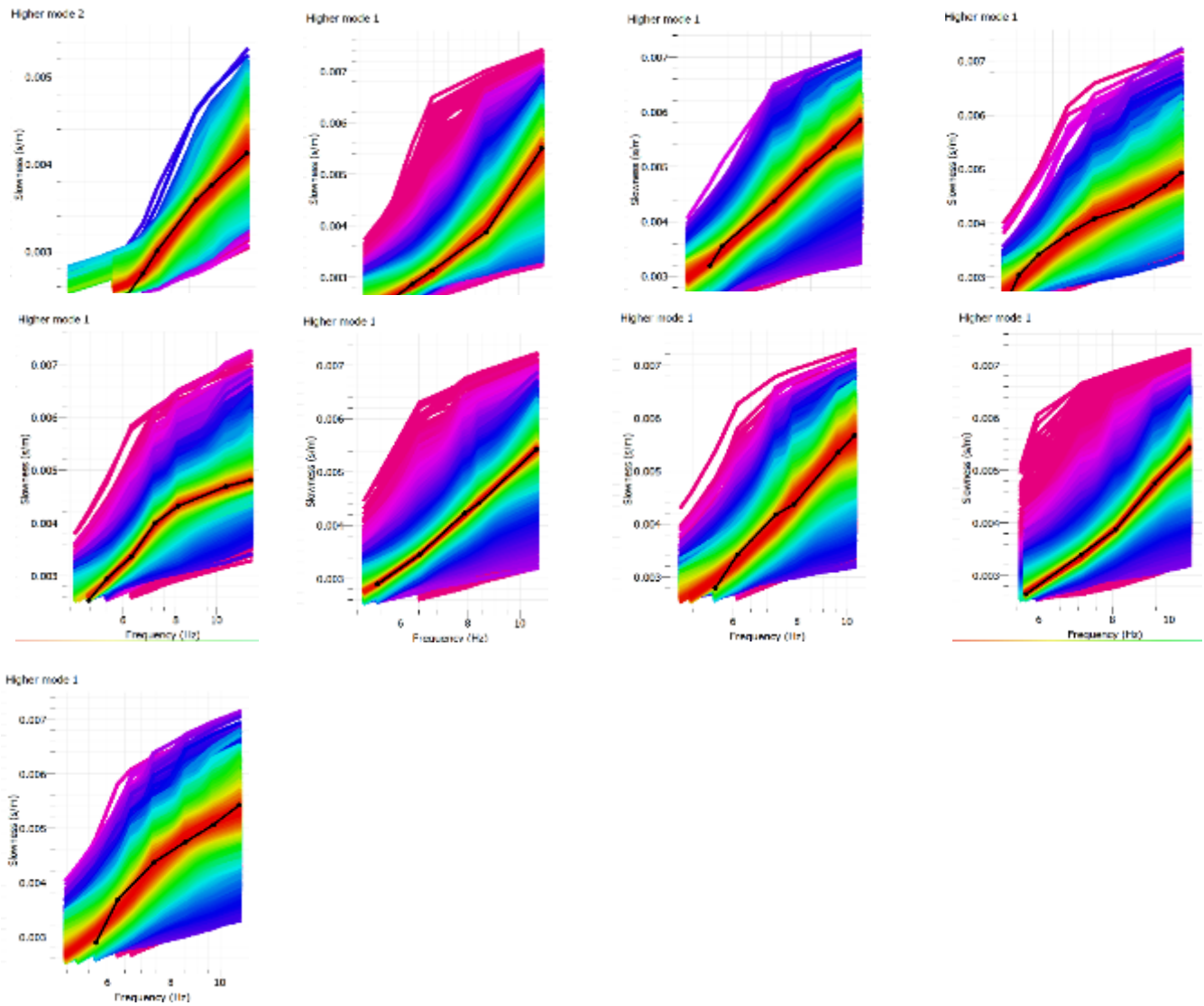


Figura A-26 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 09.

1.9.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

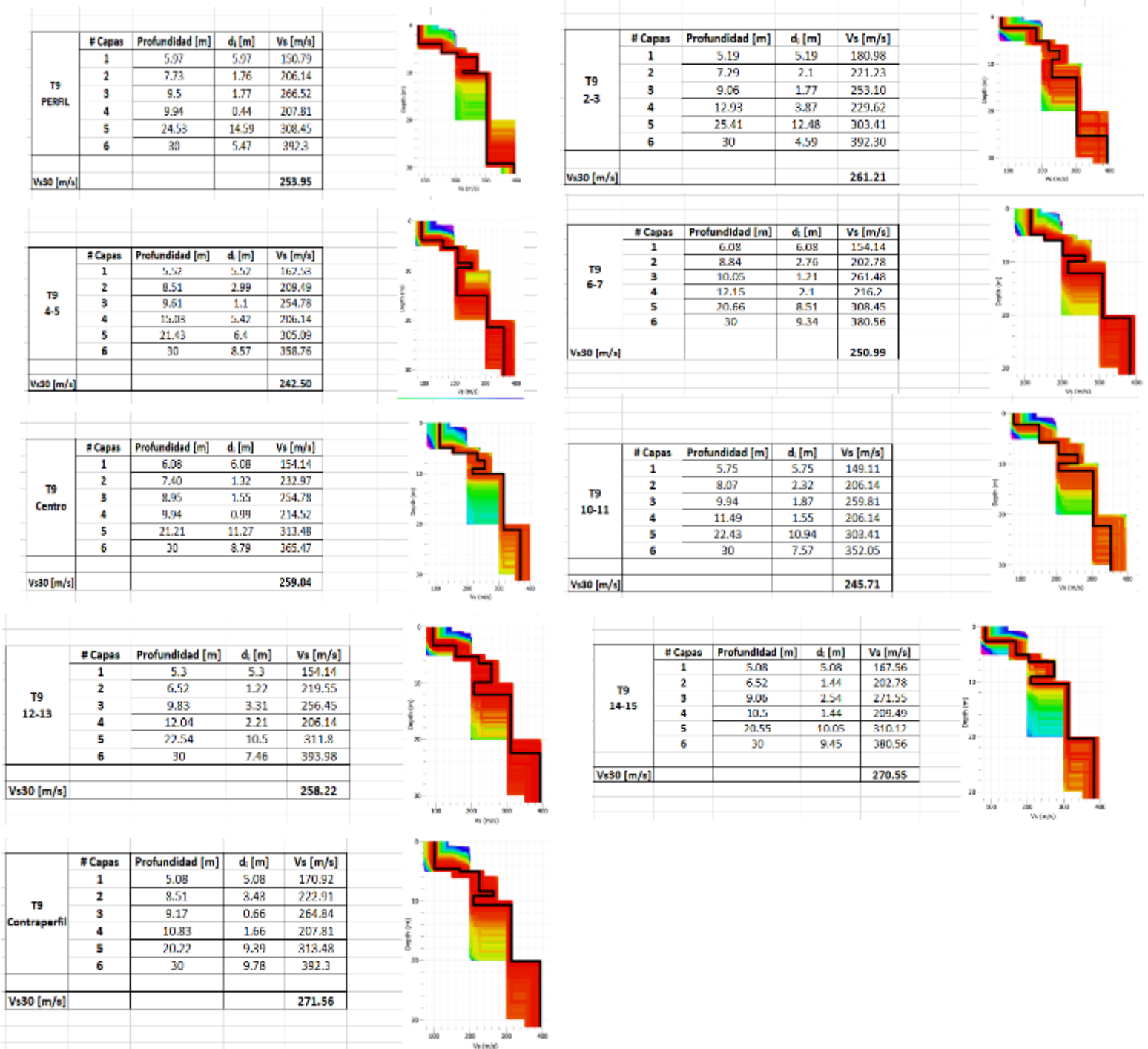
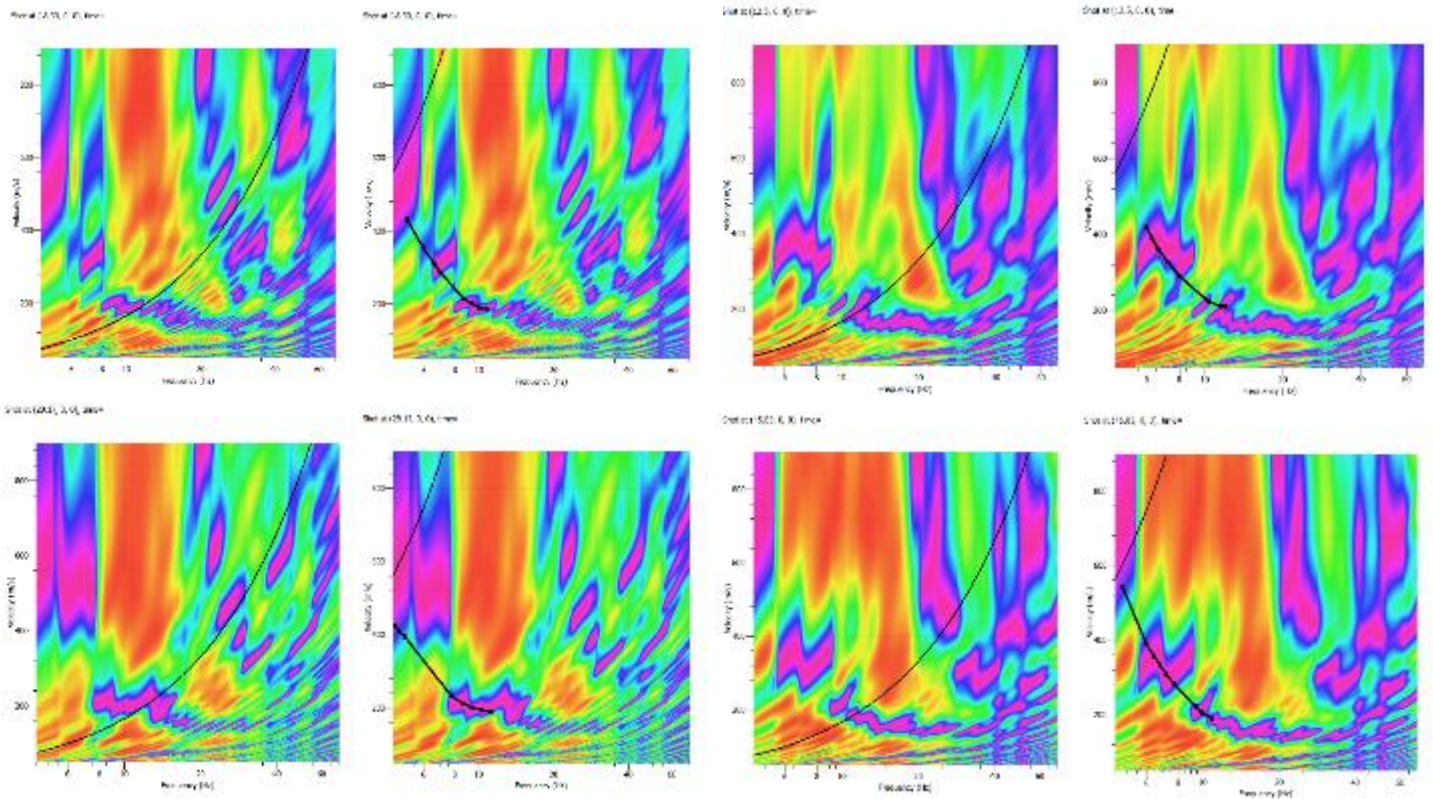


Figura A-27 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 09

1.10 Tendido 10

TENDIDO 10			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 770960 E	17M 770971 E	17M 770982 E
	9962382 N	9962453 N	9962523 N
	3612 m	3209 m	3206 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
	14-15	112.50	
Contraperfil	133.33		

1.10.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



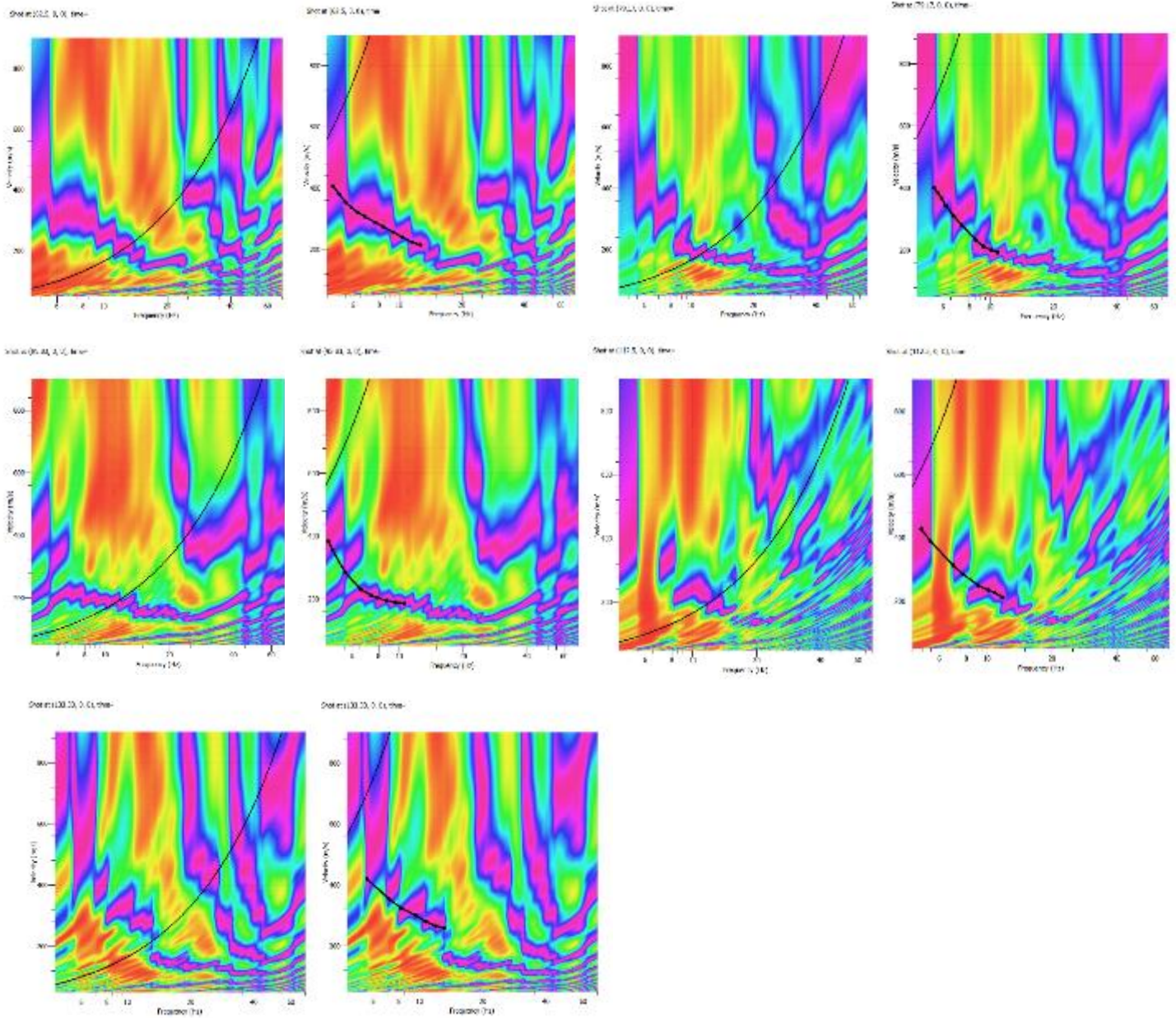
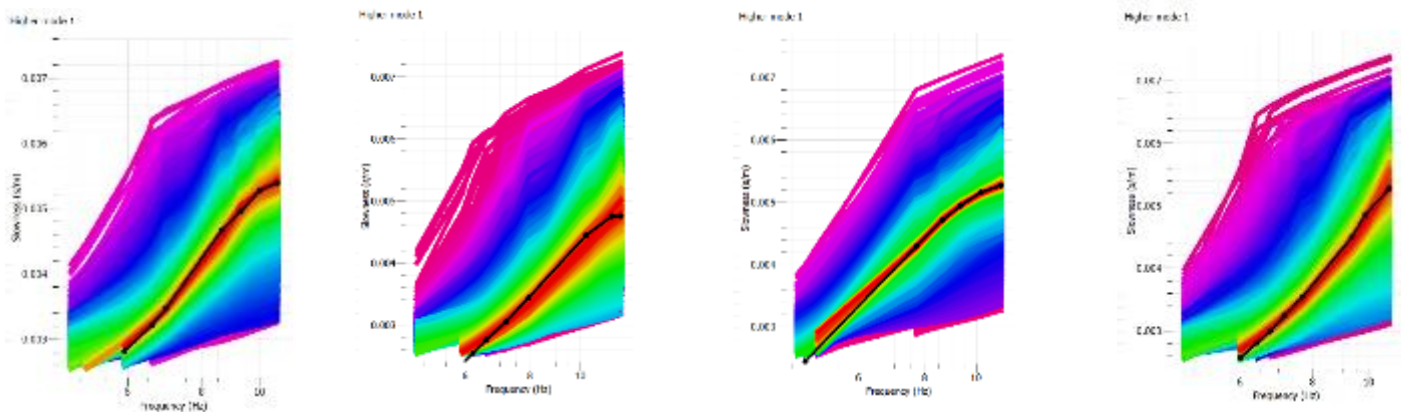


Figura A-28 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 10.

1.10.2 Curva de dispersión teórica y experimental



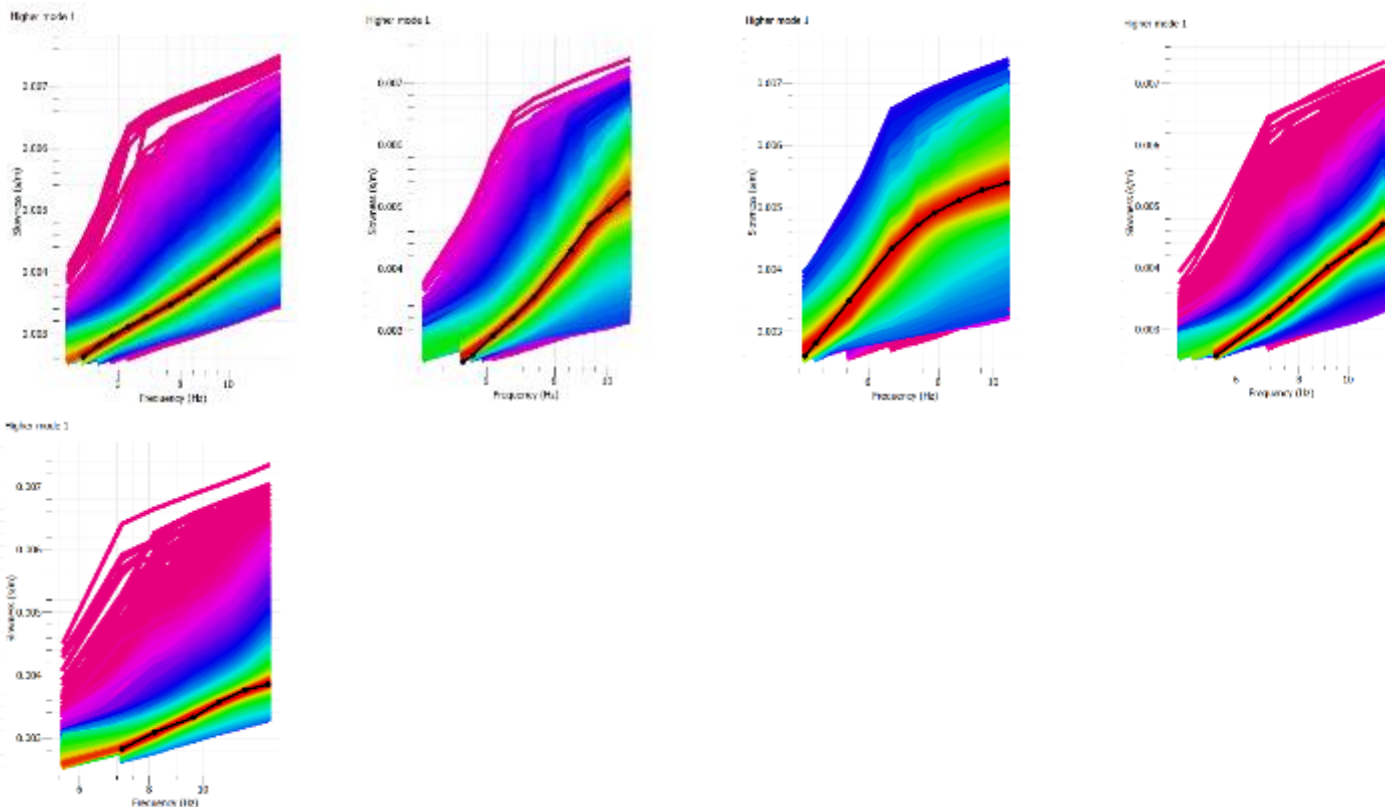
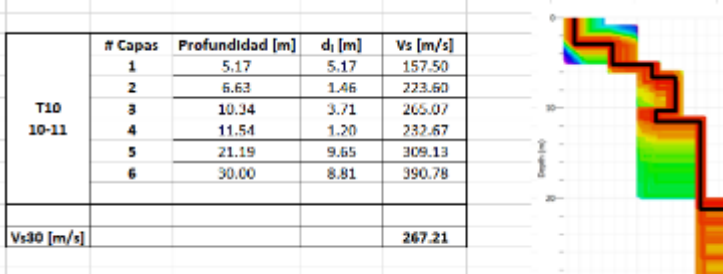
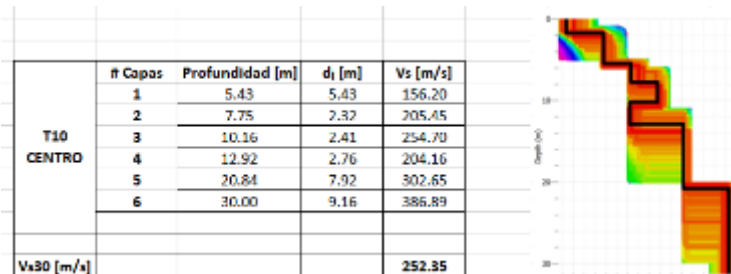
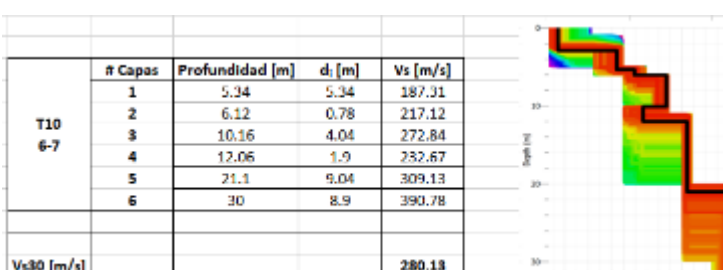
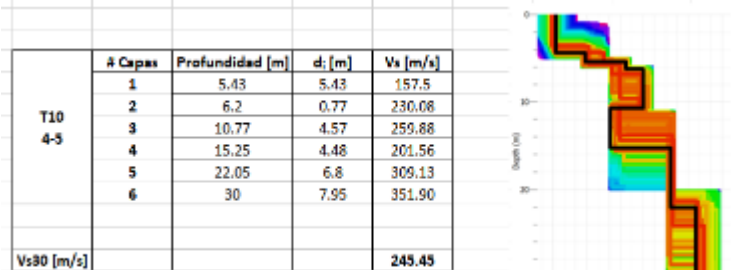
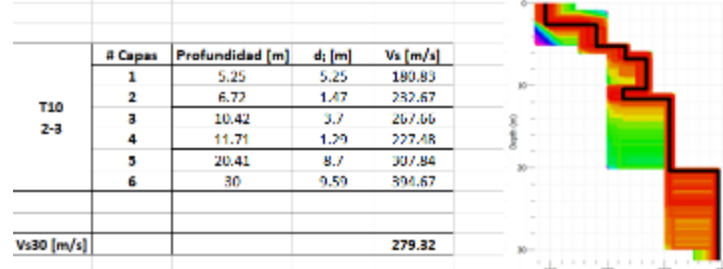
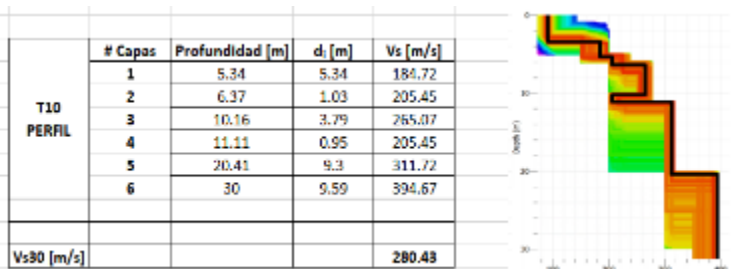


Figura A-29 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 10.

1.10.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30



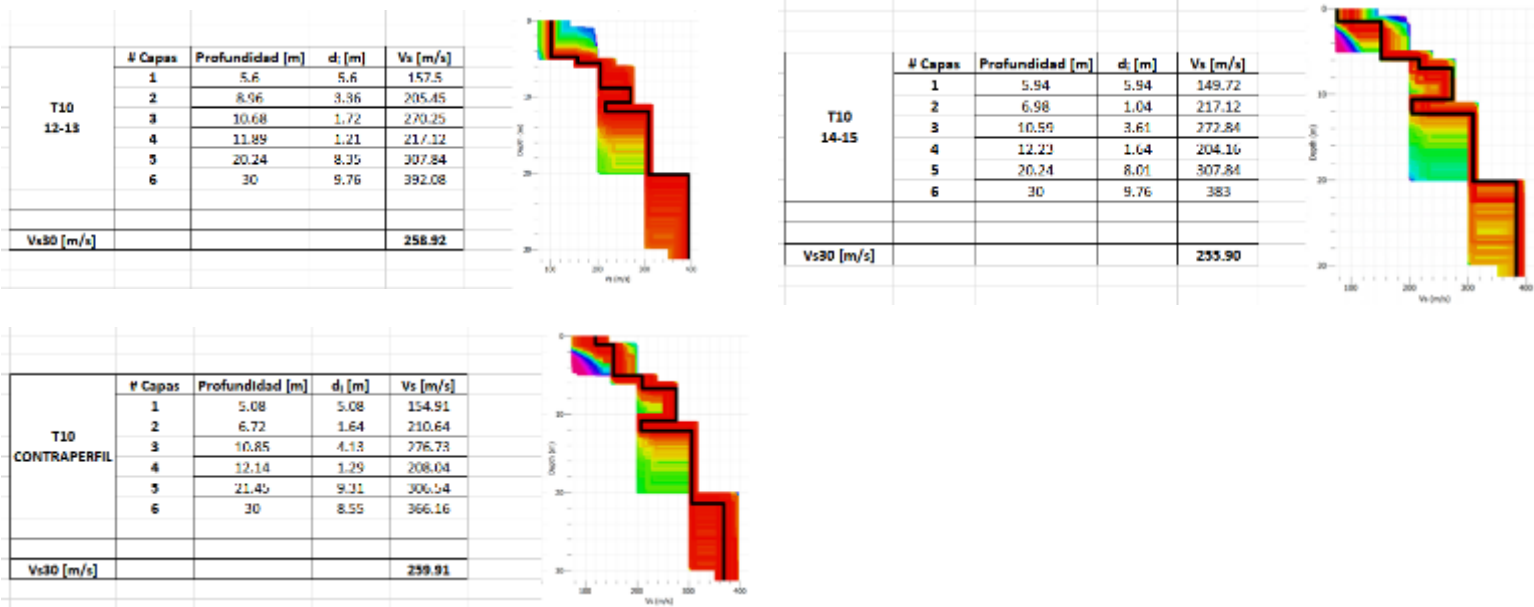
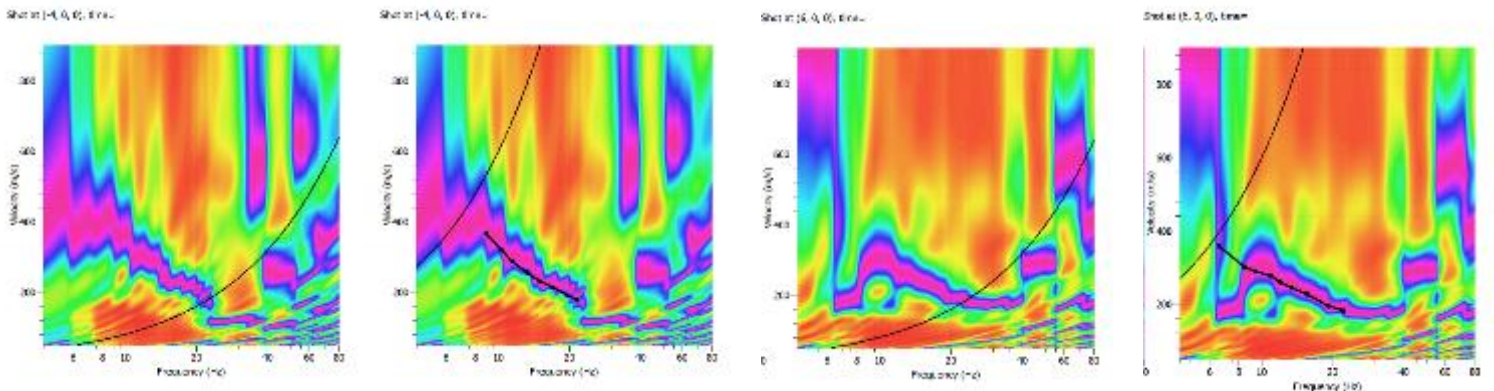


Figura A-30 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 10.

1.11 Tendido 11

TENDIDO 11			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 771040 E	17M 771063 E	17M 771093 E
	9962502 N	9962479 N	9962461 N
	3189 m	3190 m	3189 m
LONGITUD	60 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-4.00	
	2-3	6.00	
	4-5	14.00	
	6-7	22.00	
	8-9	30.00	
	10-11	38.00	
	12-13	46.00	
	14-15	54.00	
Contraperfil	64.00		

1.11.1 Espectro de velocidad-frecuencia



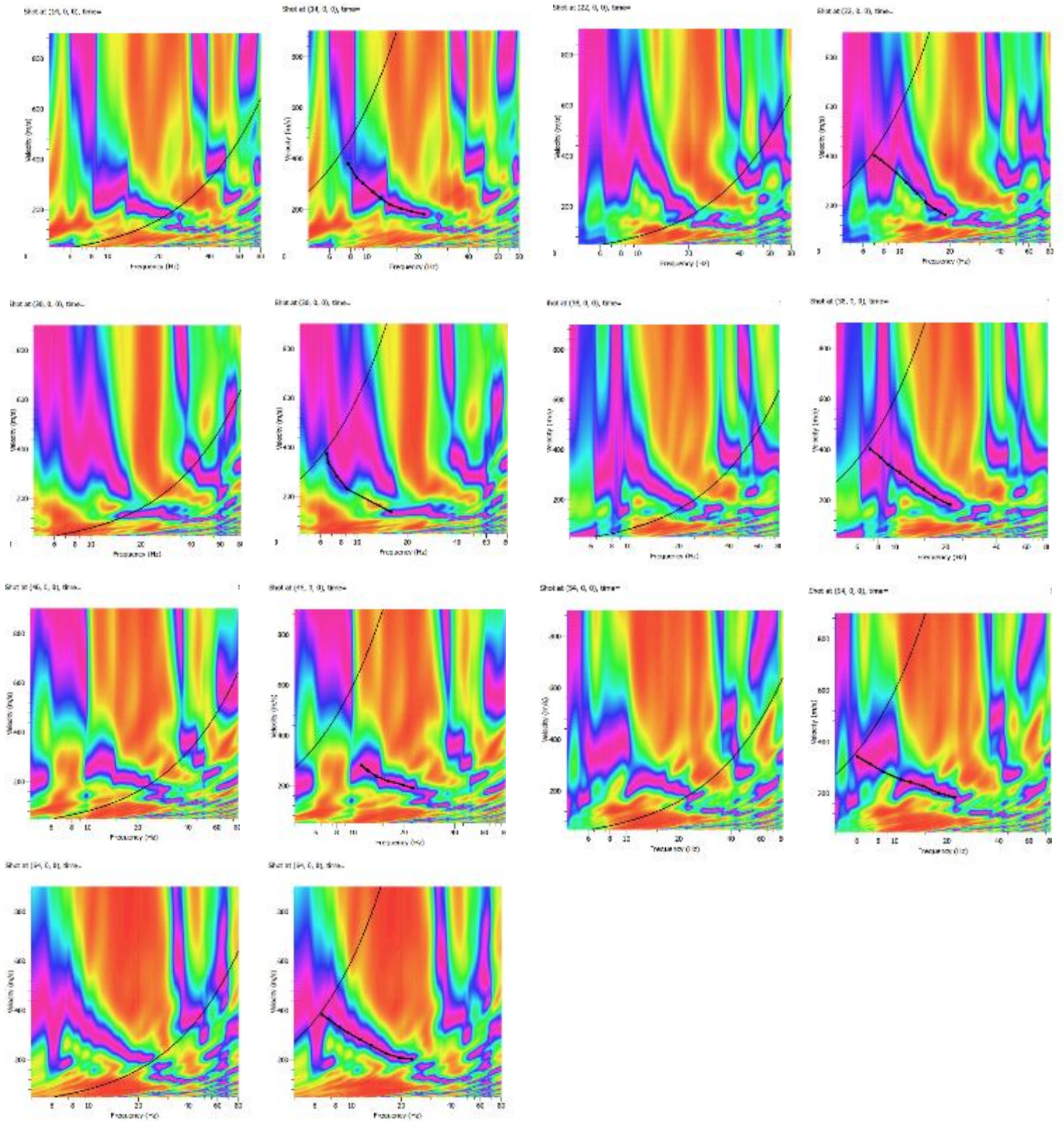


Figura A-31 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 11.

1.11.2 Curva de dispersión teórica y experimental

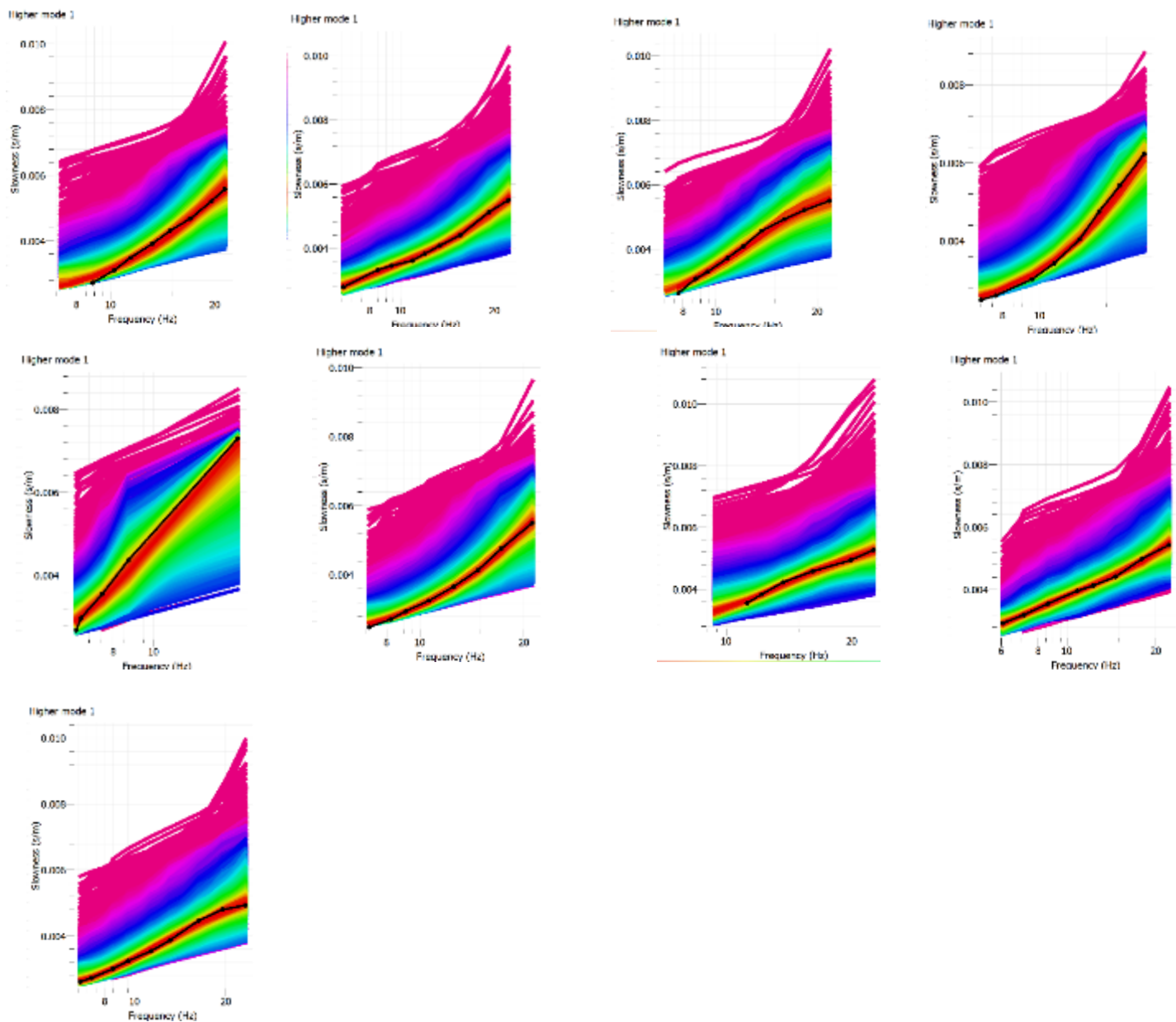
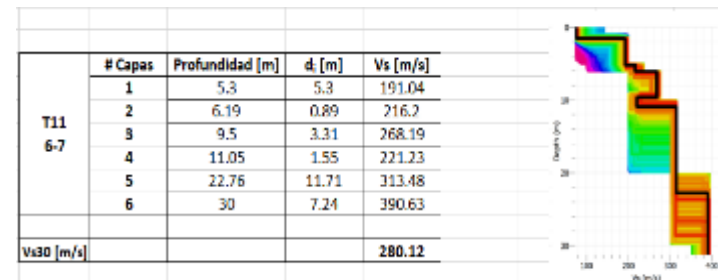
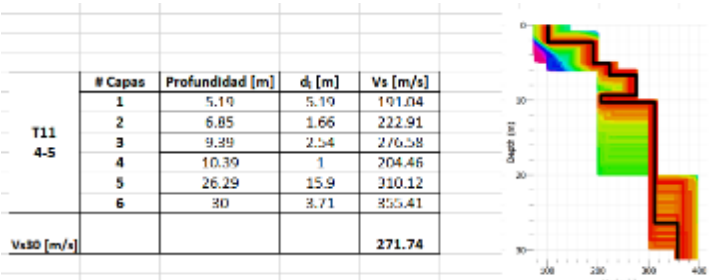
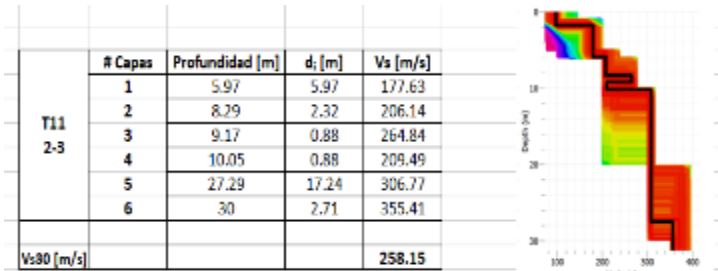
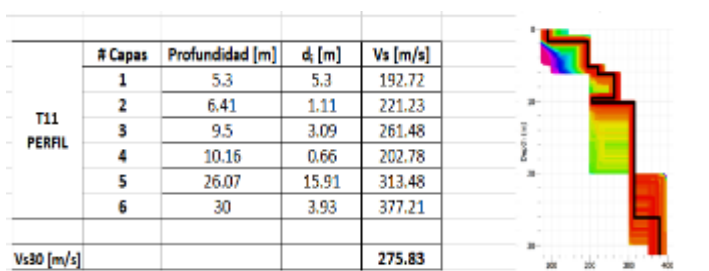


Figura A-32 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 11.

1.11.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30



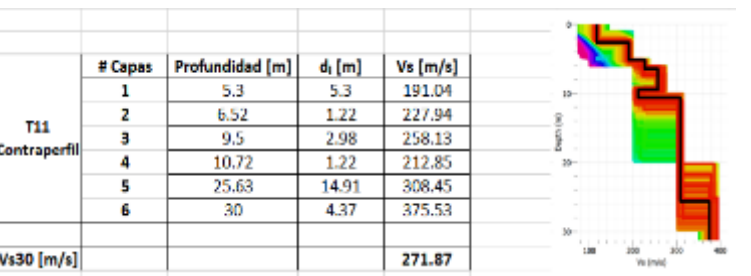
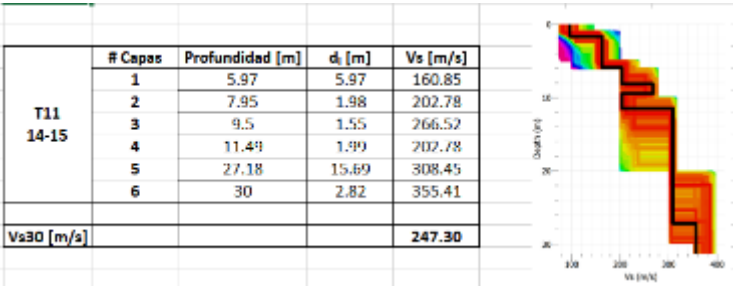
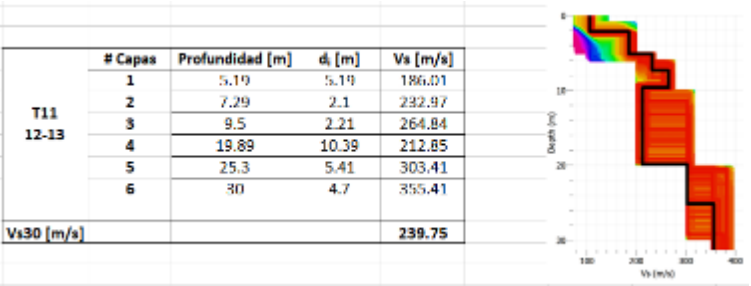
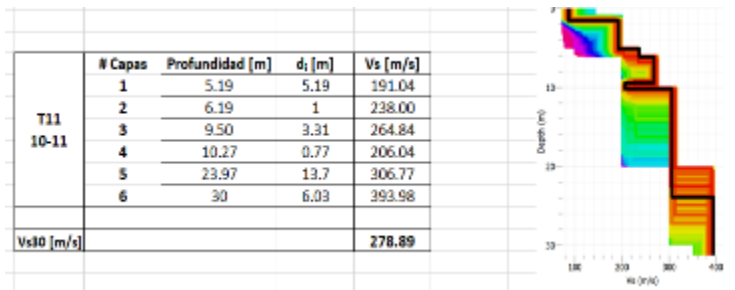
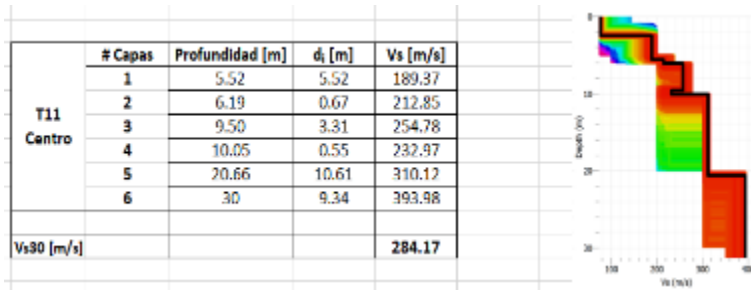
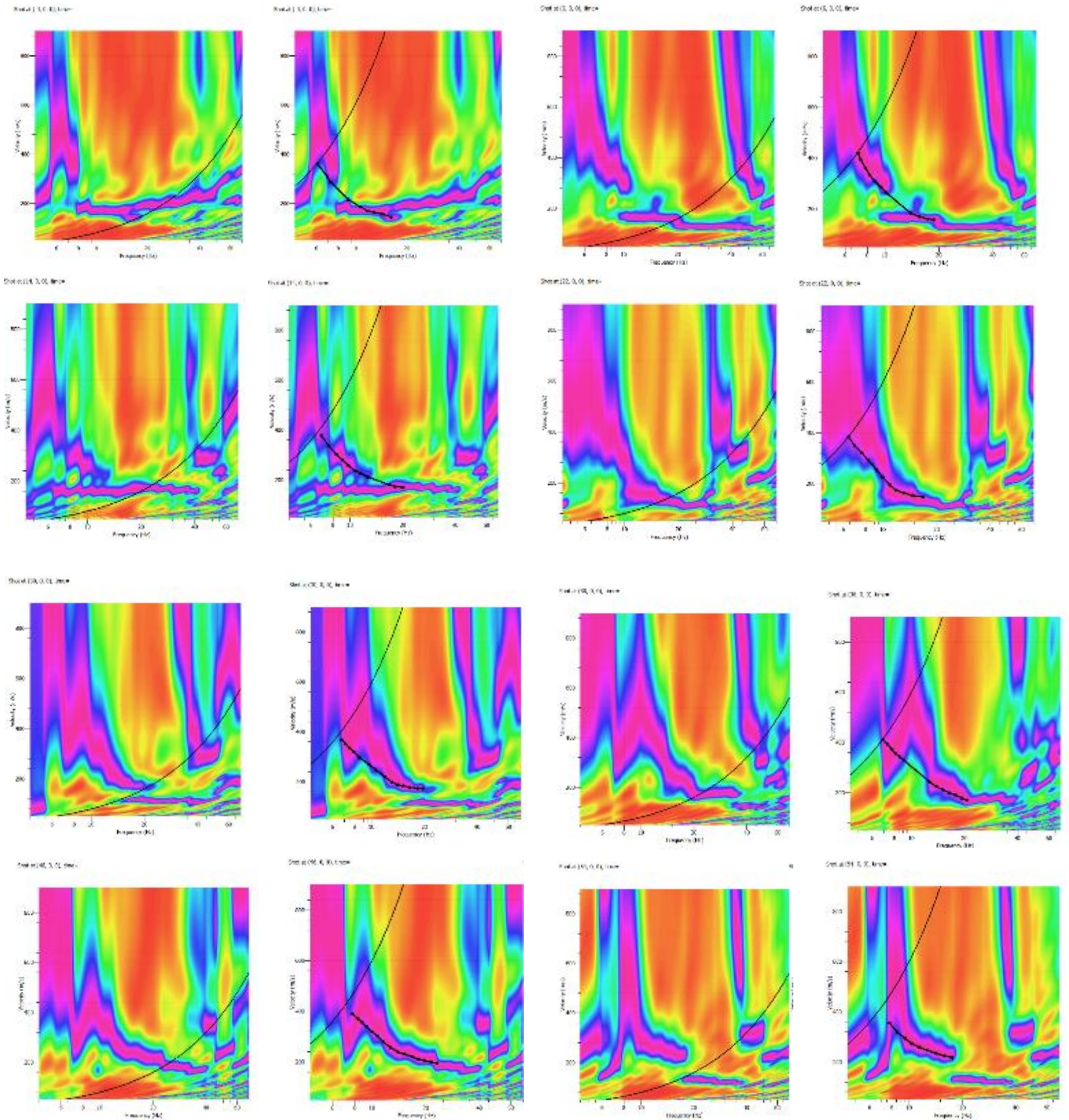


Figura A-33 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 11.

1.12 Tendido 12

TENDIDO 12			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 771067E	17M 771063 E	17M 771069 E
	9962447 N	9962479 N	9962513 N
	3192 m	3190 m	3193 m
LONGITUD	60 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-4.00	
	2-3	6.00	
	4-5	14.00	
	6-7	22.00	
	8-9	30.00	
	10-11	38.00	
	12-13	46.00	
14-15	54.00		
Contraperfil	64.00		

1.12.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



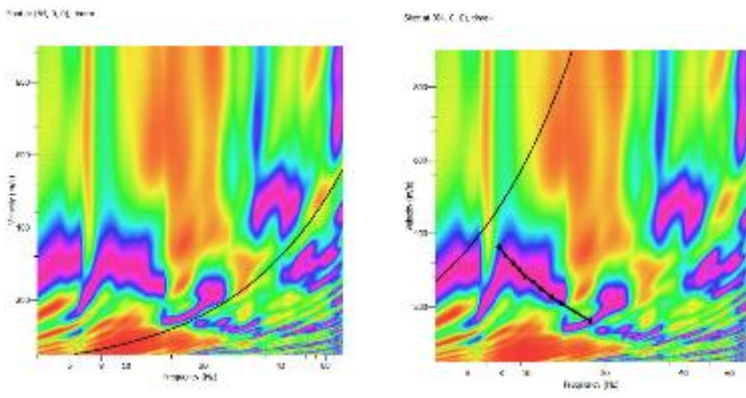


Figura A-34 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 12.

1.12.2 Curva de dispersión teórica y experimental

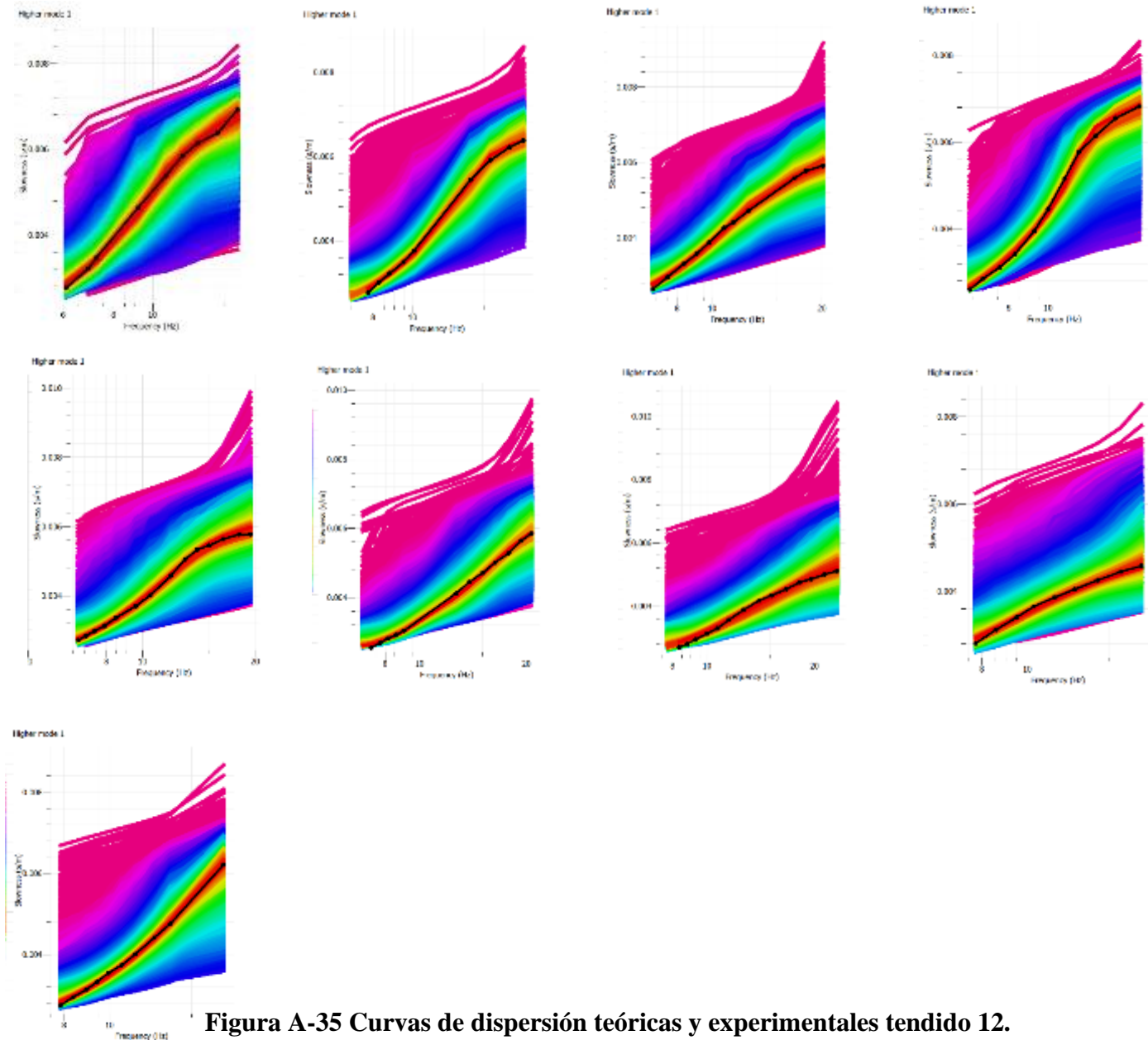


Figura A-35 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 12.

1.12.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

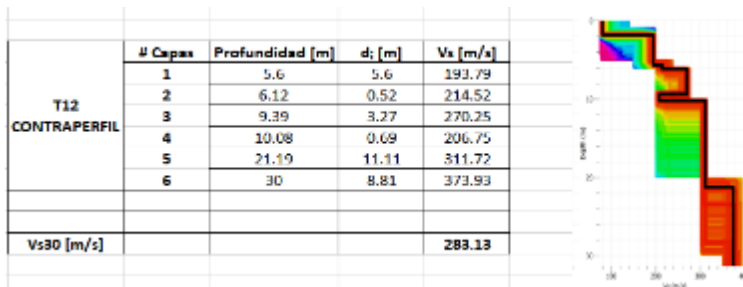
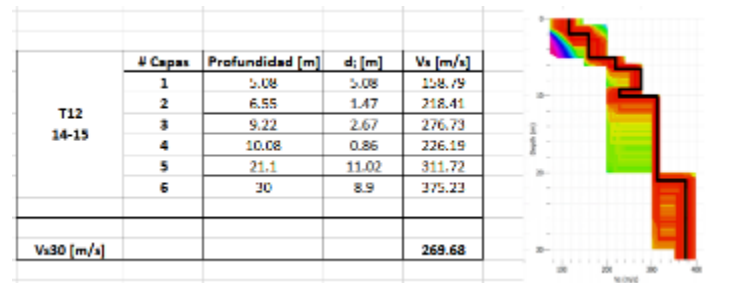
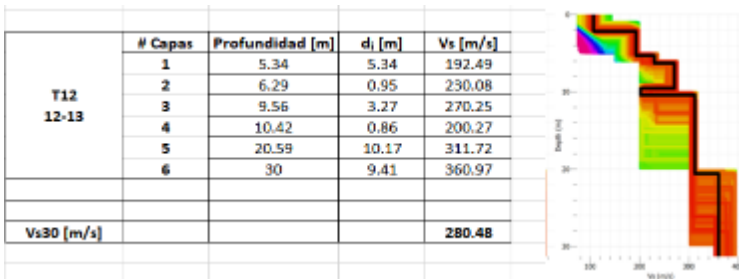
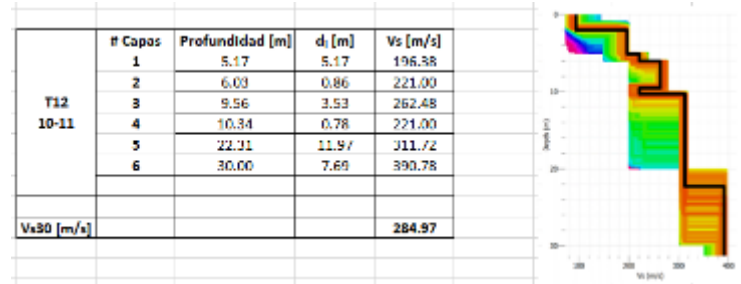
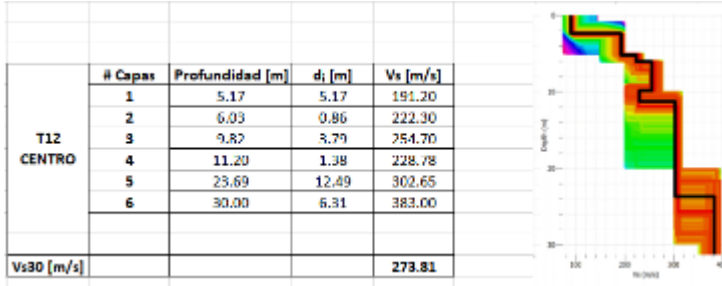
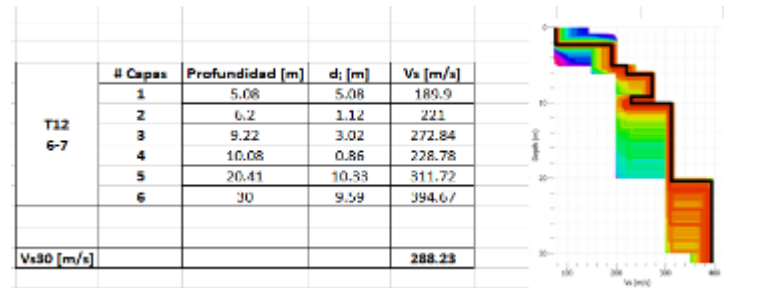
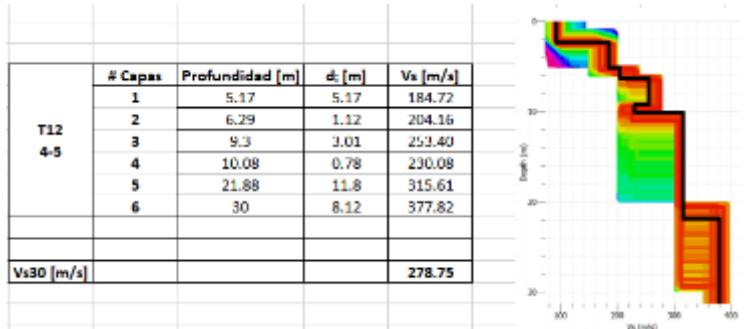
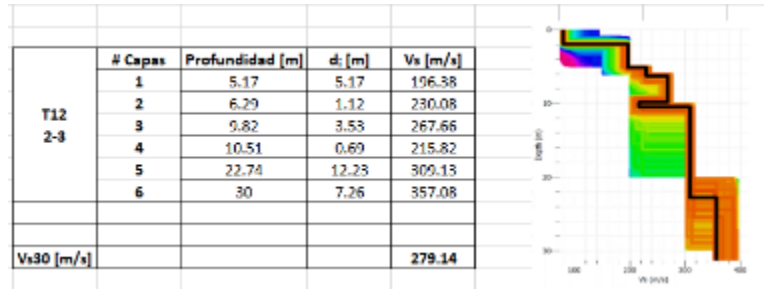
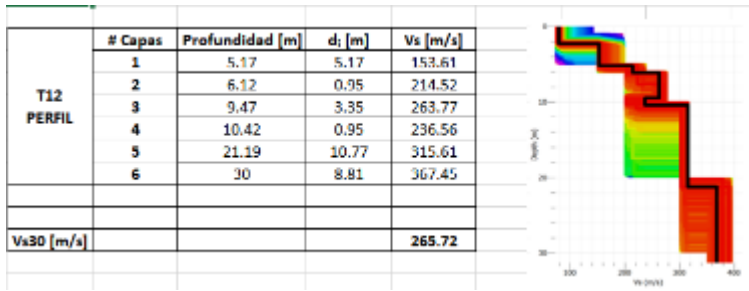
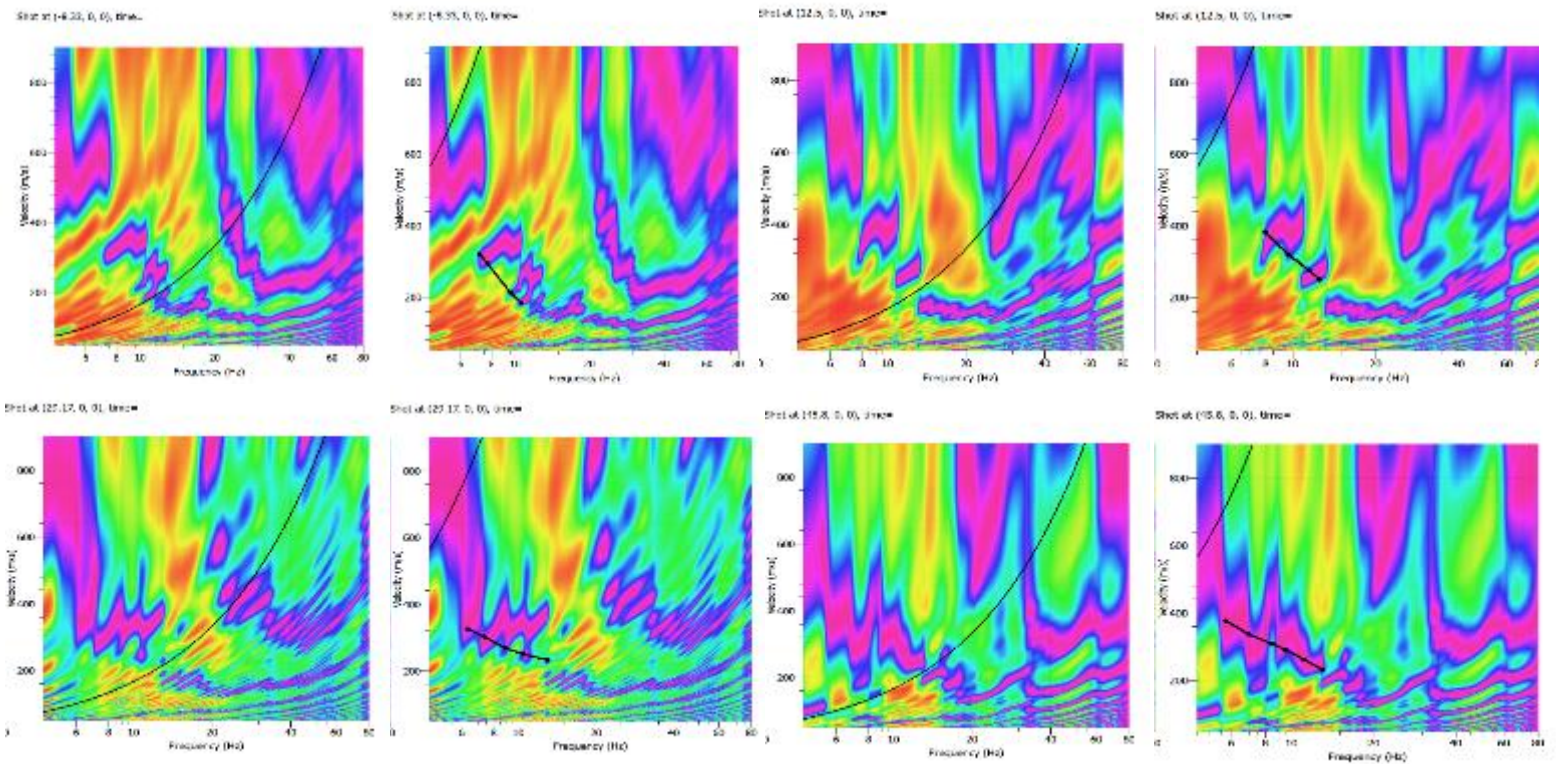


Figura A-36 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 12.

1.13 Tendido 13

TENDIDO 13			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 771107 E	17M 771175 E	17M 771243 E
	9962510 N	9962536 N	9962560 N
	3189 m	3190 m	3174 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
14-15	112.50		
Contraperfil	133.33		

1.13.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



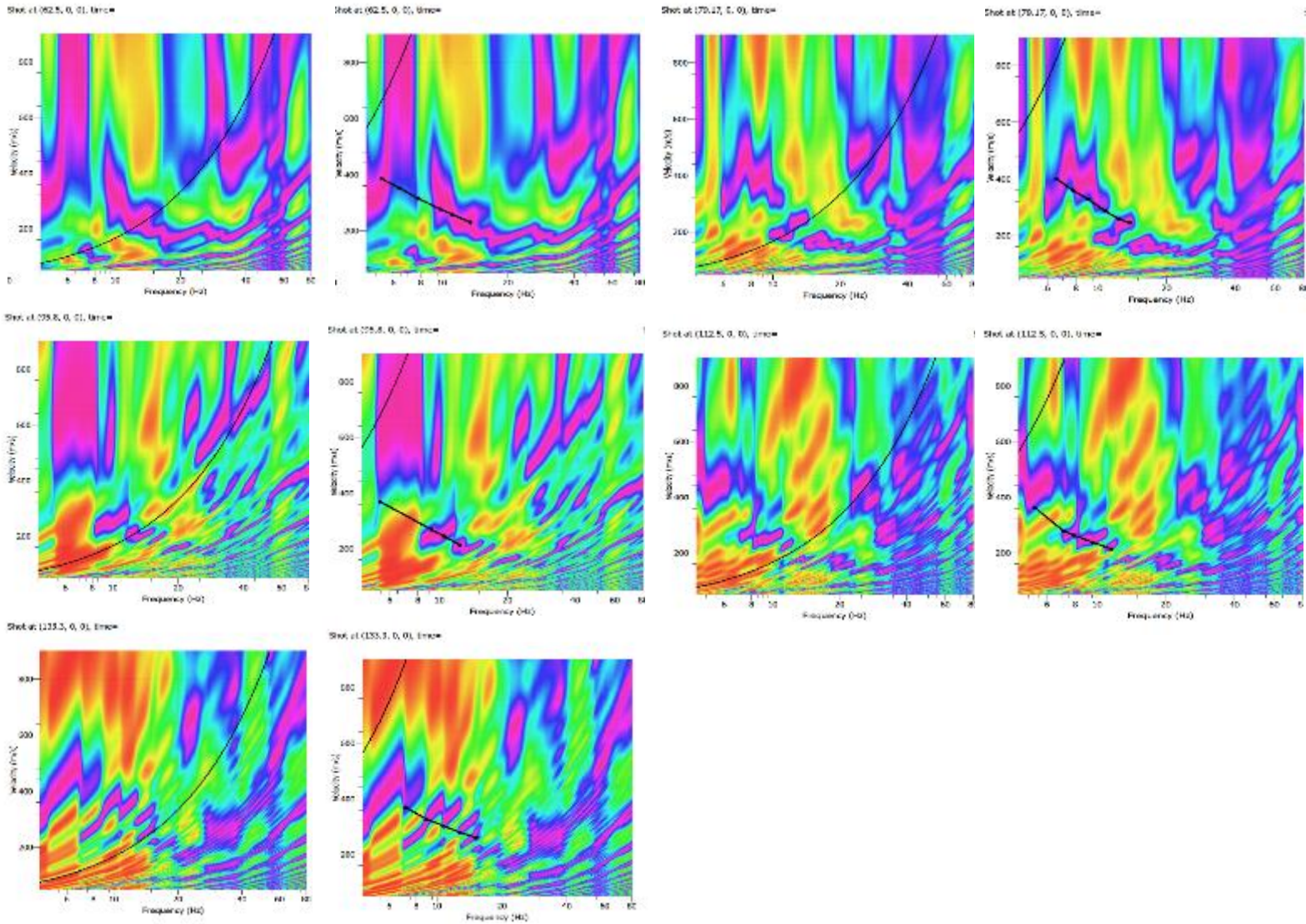
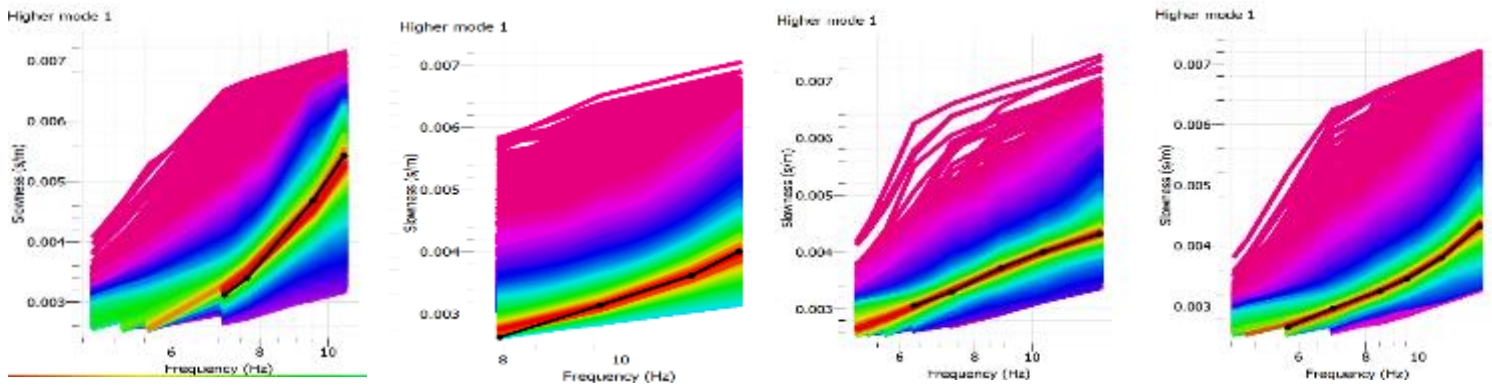


Figura A-37 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 13.

1.13.2 Curva de dispersión teórica y experimental



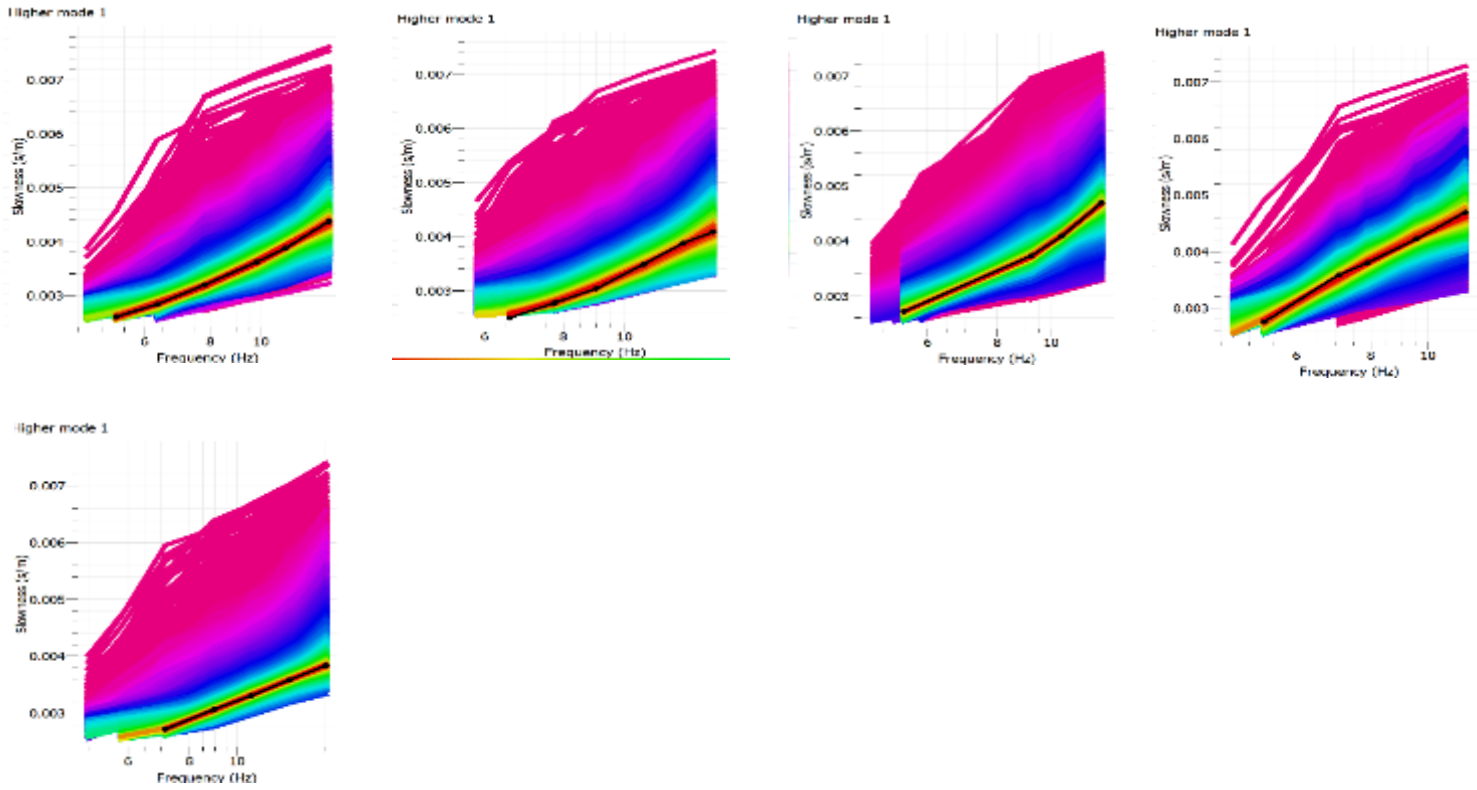
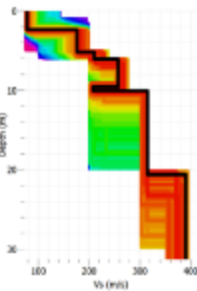


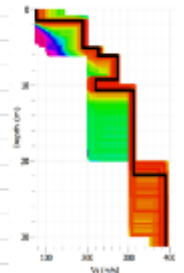
Figura A-38 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 13.

1.13.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

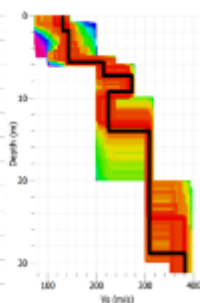
T13 PERFIL	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	5.19	5.19	174.27
	2	6.08	0.89	207.81
	3	9.5	3.42	256.45
	4	10.05	0.55	207.81
	5	20.77	10.72	315.15
	6	30	9.23	390.63
Vs30 [m/s]				278.58



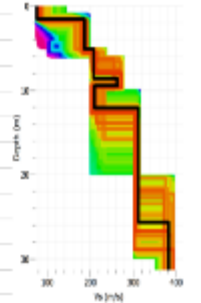
T13 2-3	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	5.08	5.08	189.37
	2	6.19	1.11	226.26
	3	9.28	3.09	271.55
	4	10.83	1.55	219.55
	5	21.99	11.16	311.80
	6	30	8.01	388.95
Vs30 [m/s]				281.54



T13 4-5	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	5.75	5.75	142.40
	2	7.29	1.54	214.52
	3	9.39	2.1	273.22
	4	14.03	4.64	222.91
	5	28.95	14.92	308.45
	6	30	1.05	380.56
Vs30 [m/s]				235.87



T13 6-7	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	4.97	4.97	187.69
	2	8.51	3.54	206.14
	3	9.61	1.1	261.48
	4	11.93	2.32	211.17
	5	25.63	13.7	310.12
	6	30	4.37	382.24
Vs30 [m/s]				262.11



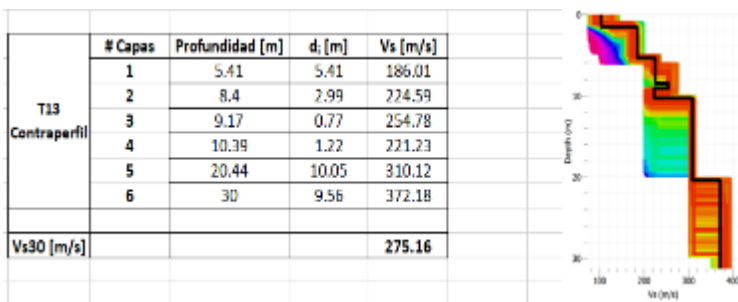
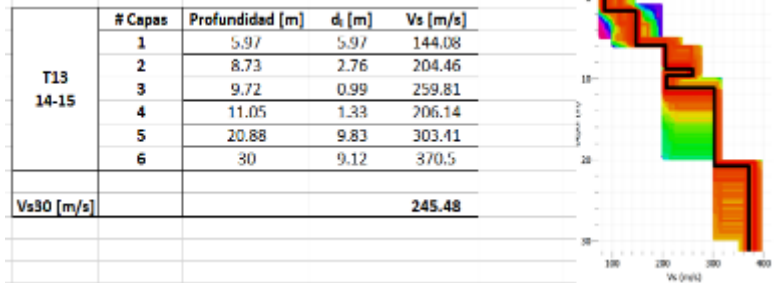
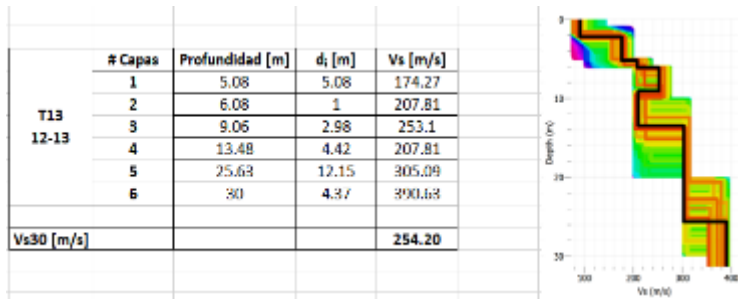
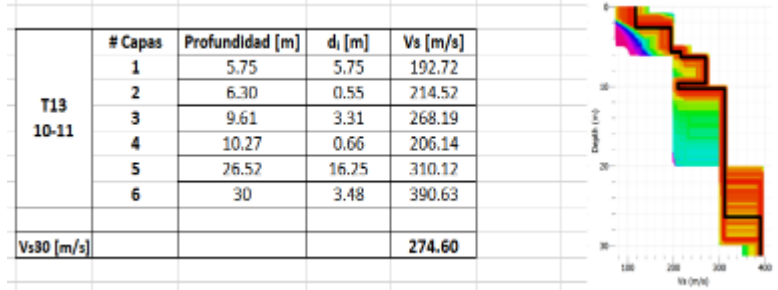
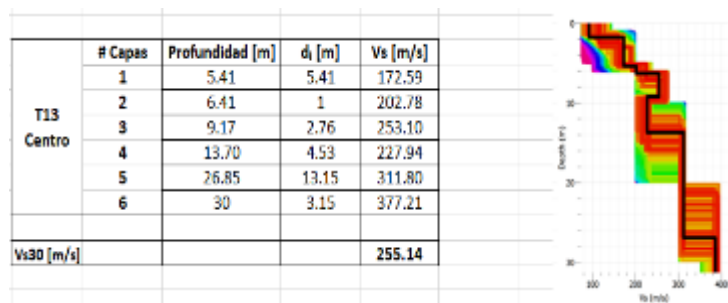
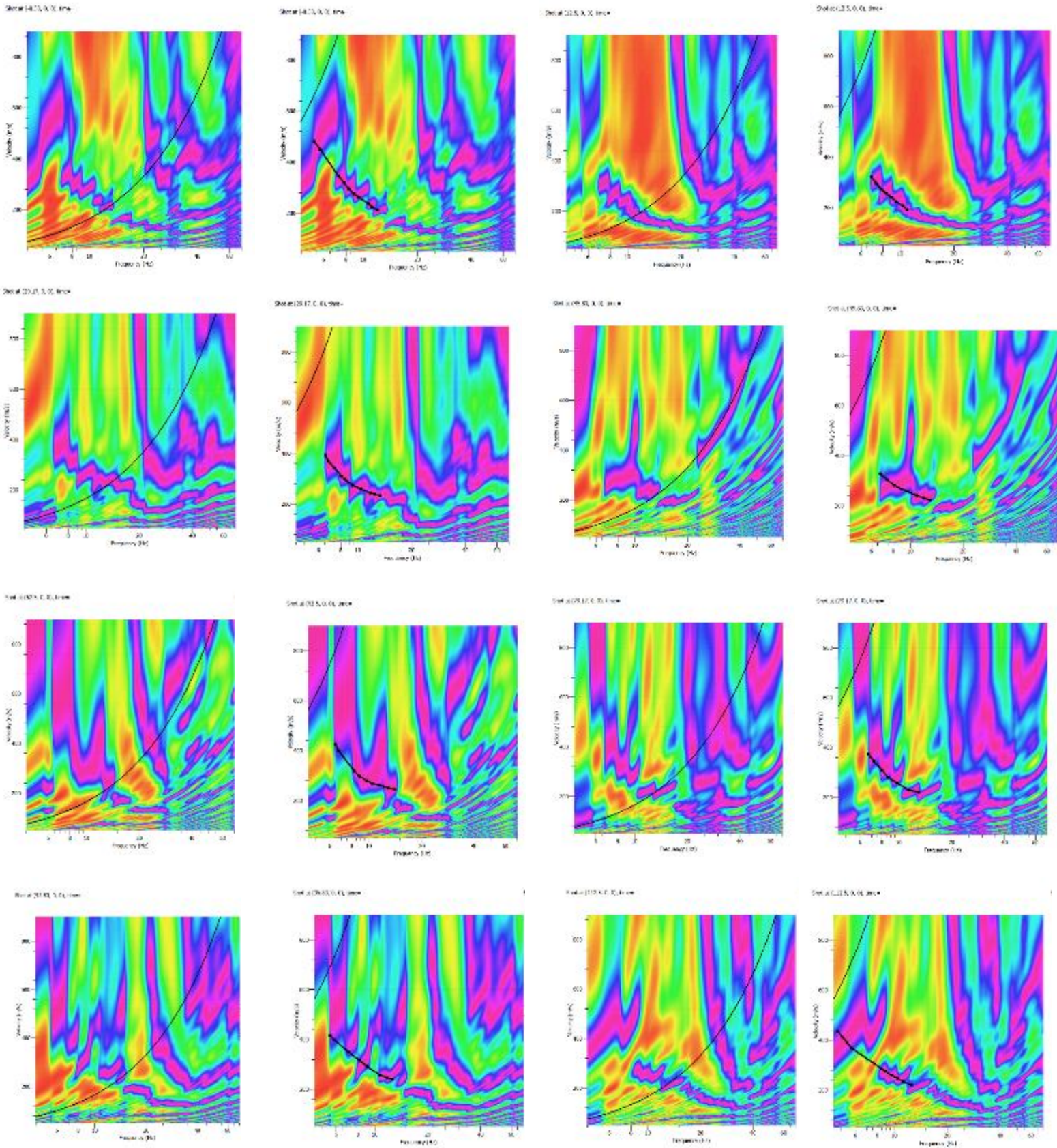


Figura A-39 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 13.

1.14 Tendido 14

TENDIDO 14			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 771225 E	17M 771294 E	17M 771371 E
	9962505 N	9962529 N	9962550 N
	3178 m	3178 m	3185 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
14-15	112.50		
Contraperfil	133.33		

1.14.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



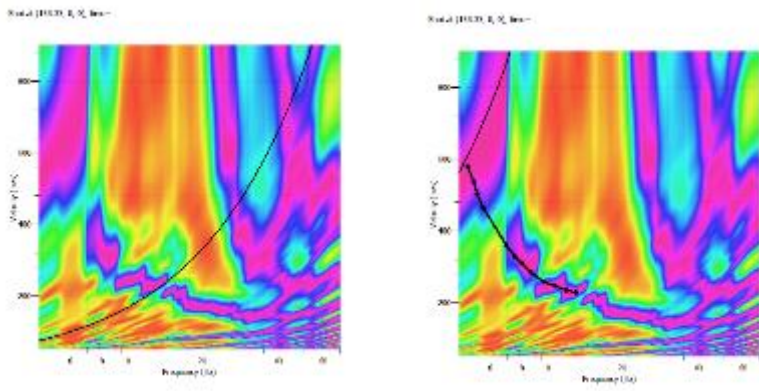


Figura A-40 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 14.

1.14.2 Curva de dispersión teórica y experimental

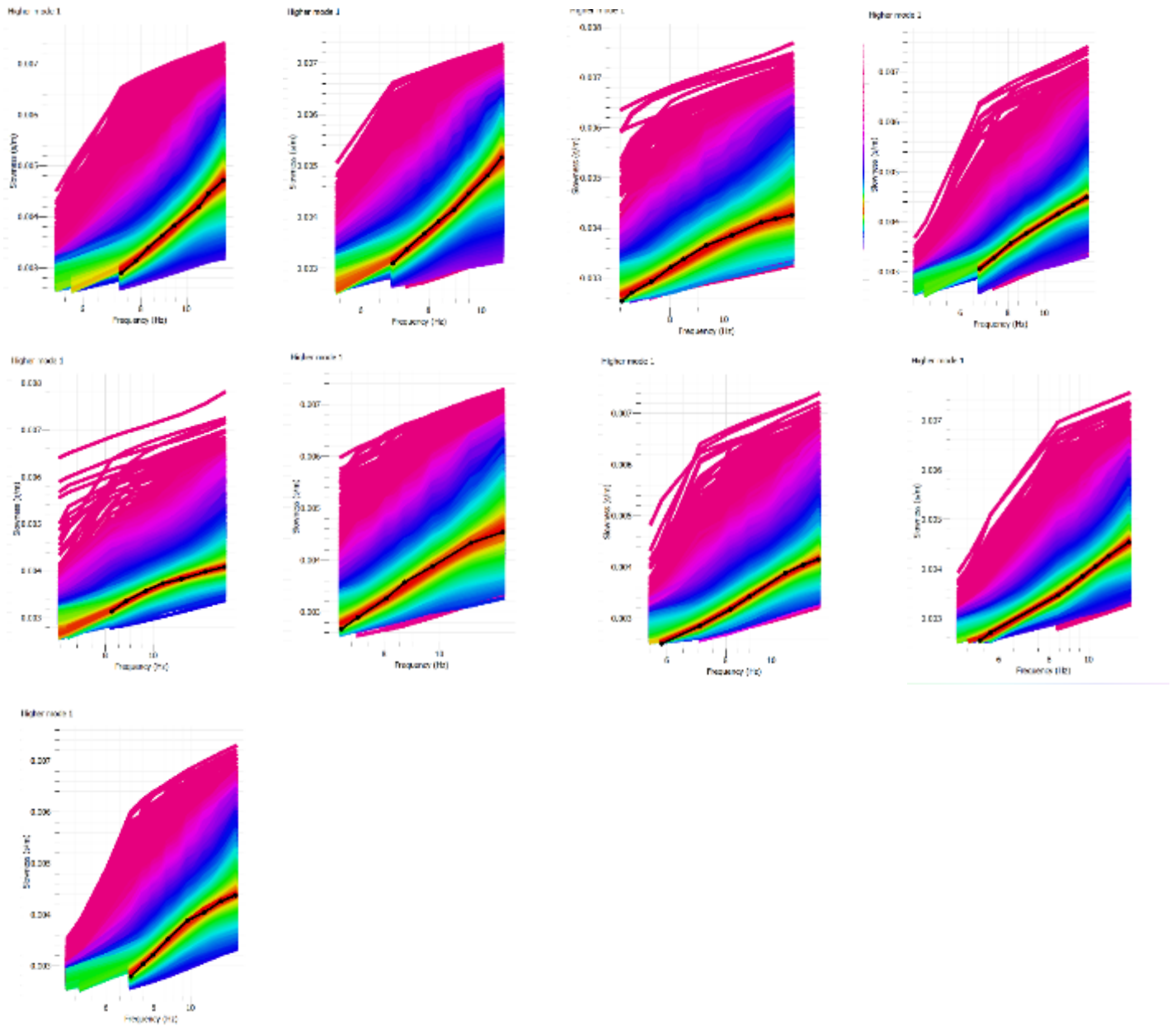


Figura A-41 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 14.

1.14.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

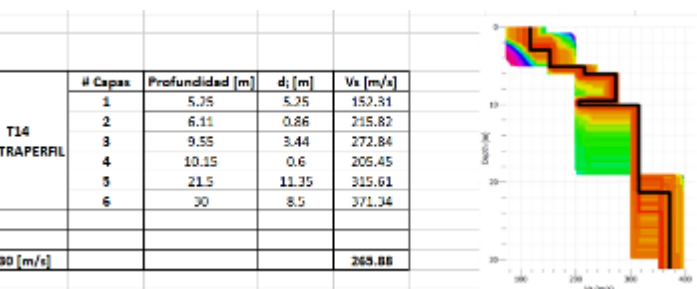
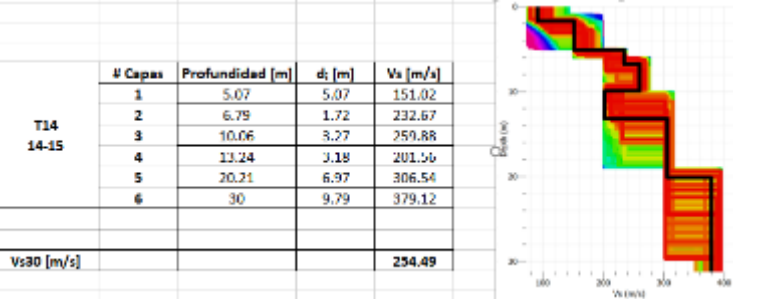
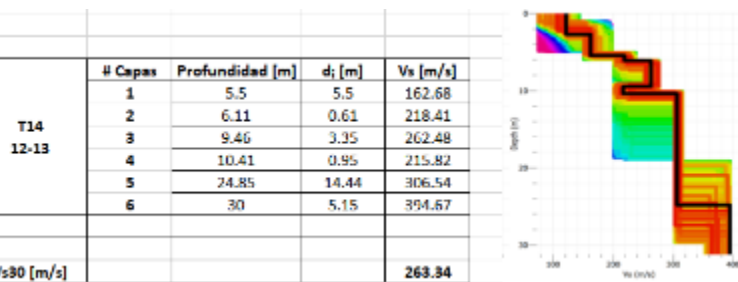
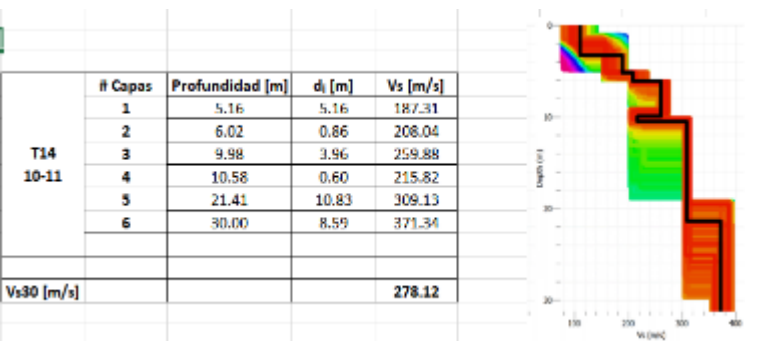
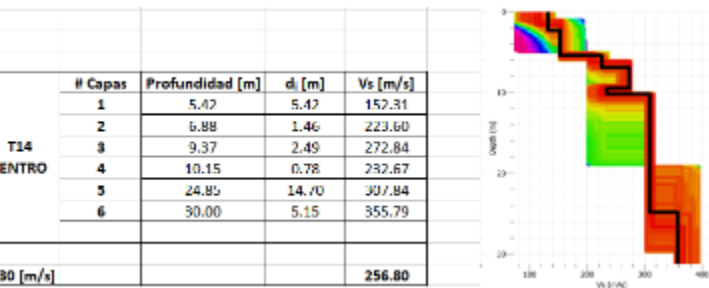
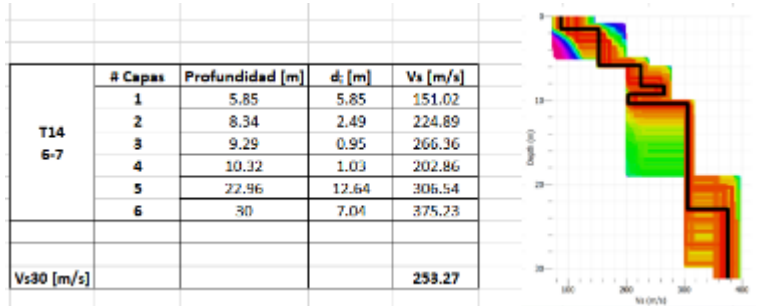
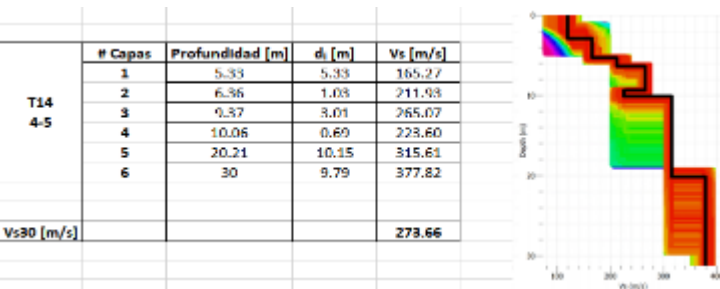
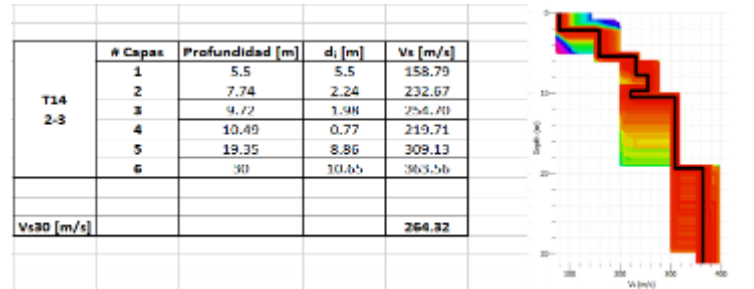
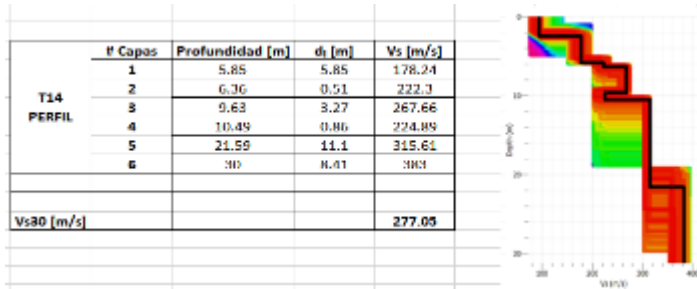
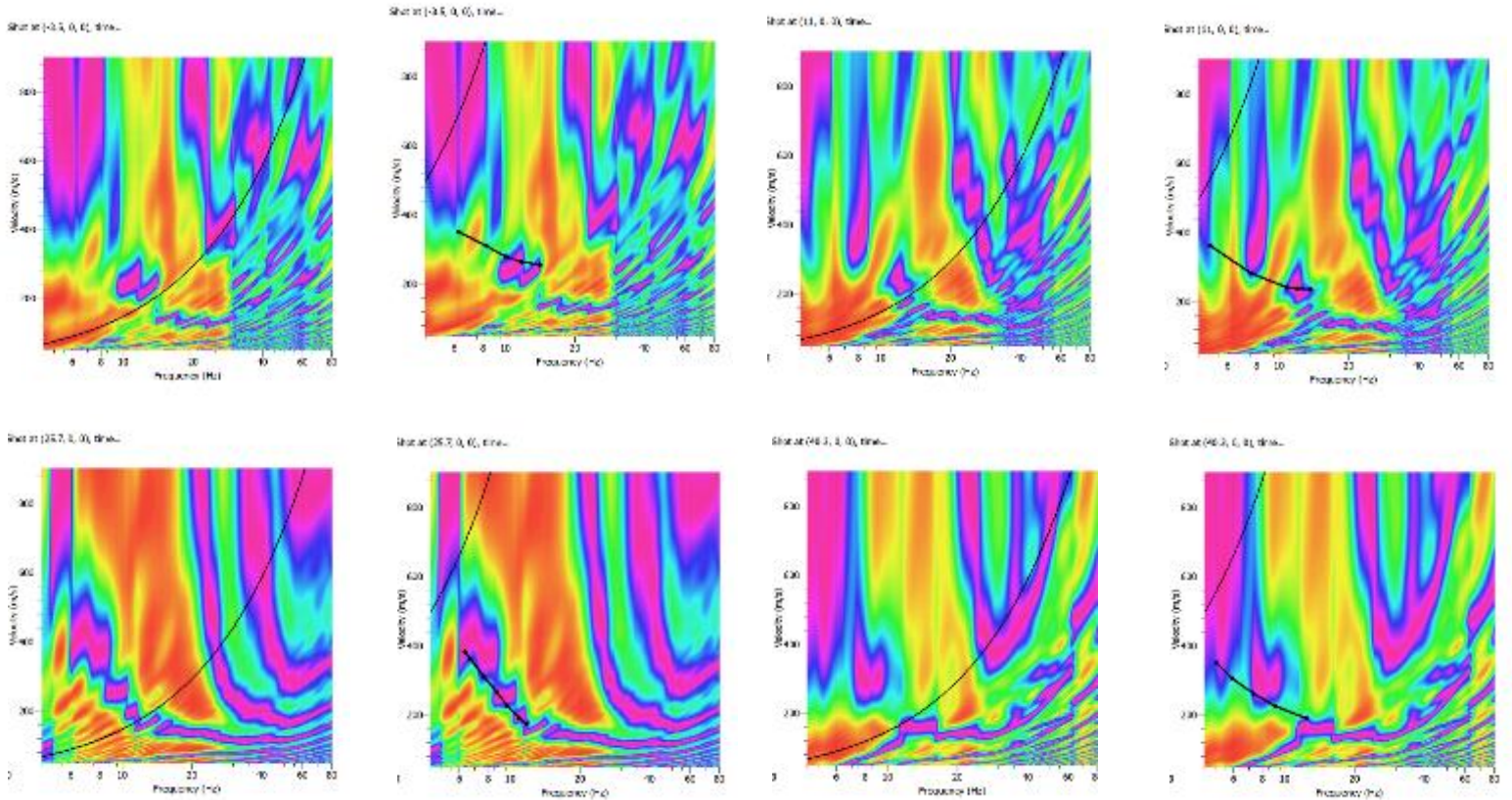


Figura A-42 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 14.

1.15 Tendido 15

TENDIDO 15			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 771543 E	17M 771495 E	17M 771434 E
	9962503 N	9962484 N	9962463 N
	3153 m	3157 m	3162 m
LONGITUD	110 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-7.33	
	2-3	11.00	
	4-5	25.67	
	6-7	40.33	
	8-9	55.00	
	10-11	69.67	
	12-13	84.33	
	14-15	99.00	
Contraperfil	117.33		

1.15.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



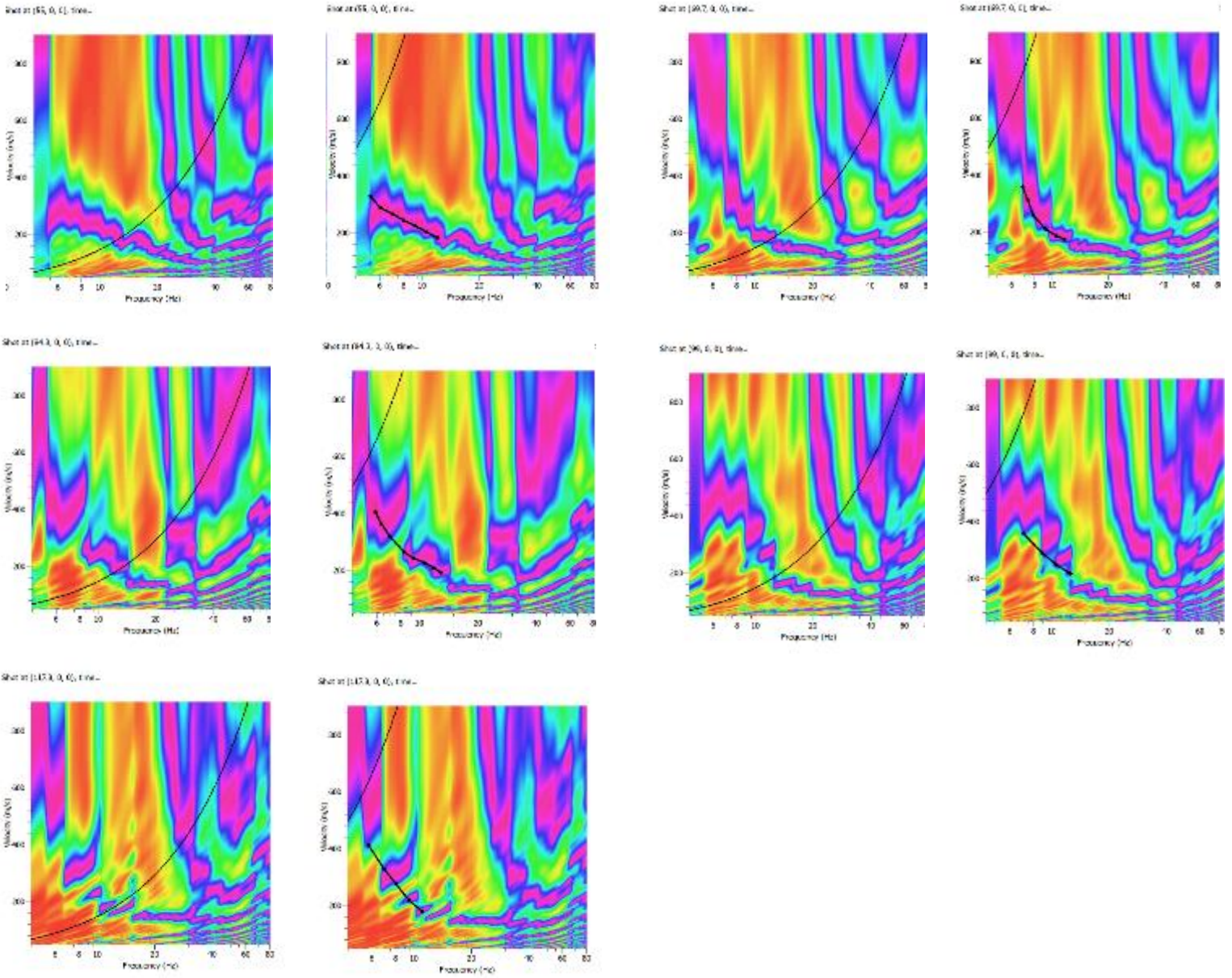
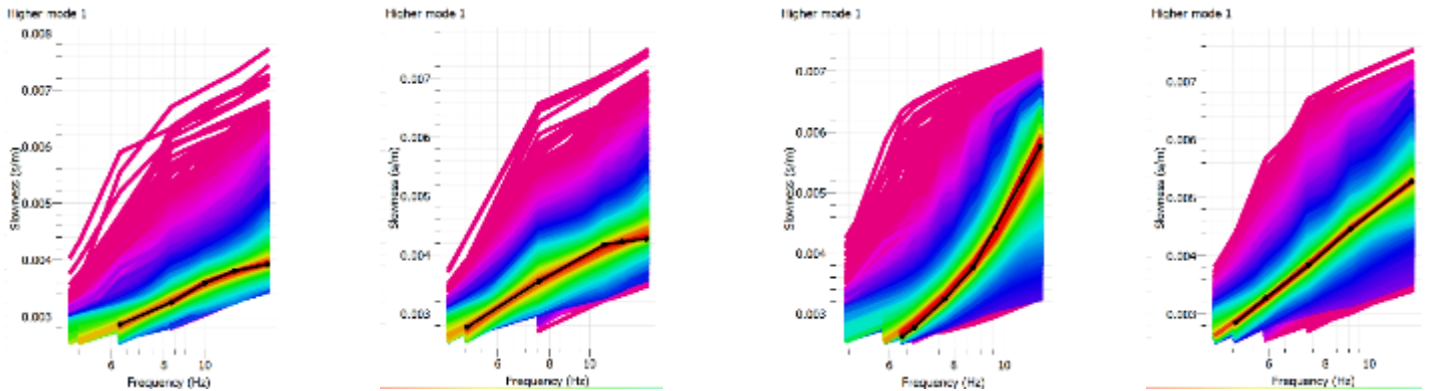


Figura A-43 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 15.

1.15.2 Curva de dispersión teórica y experimental



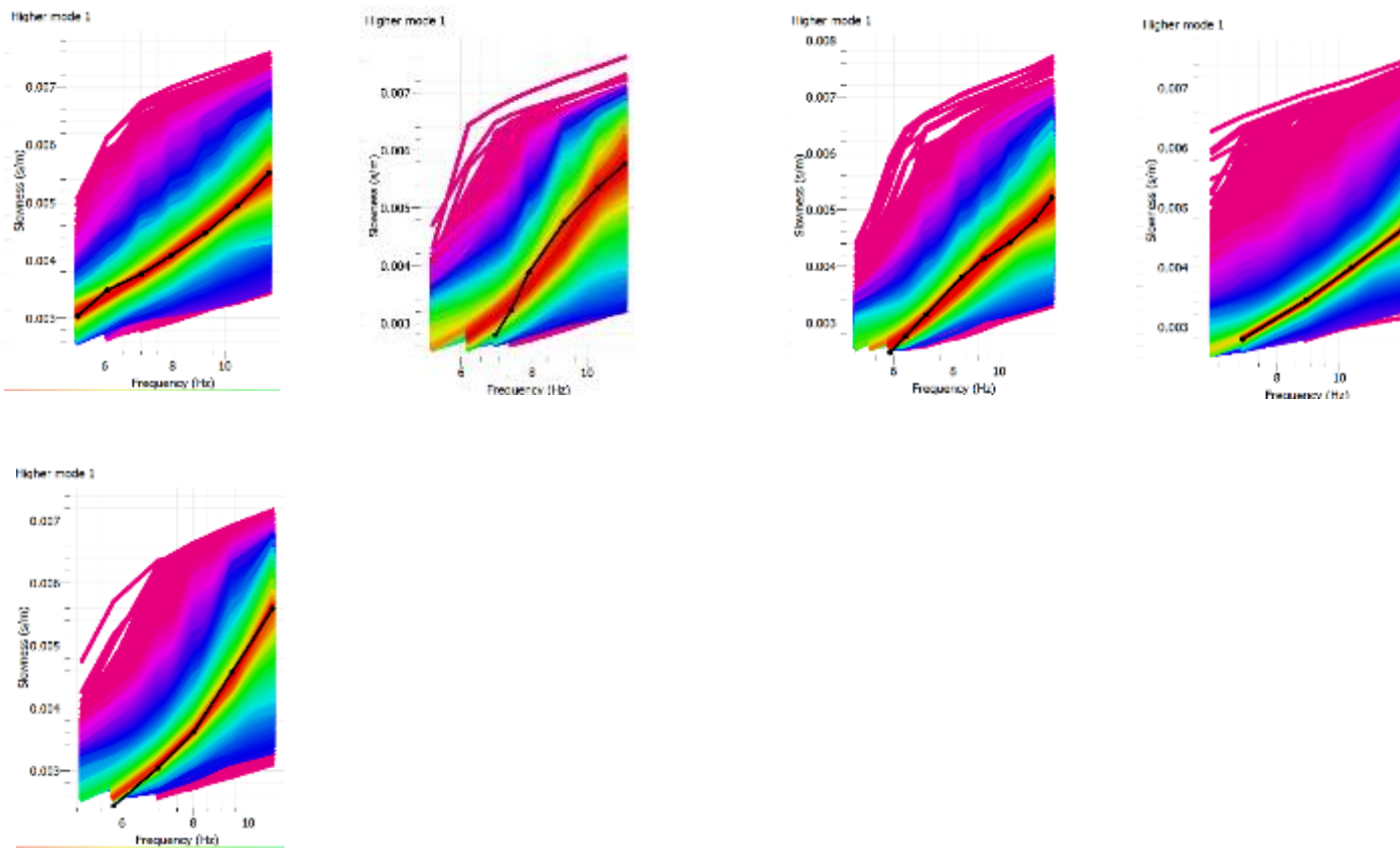
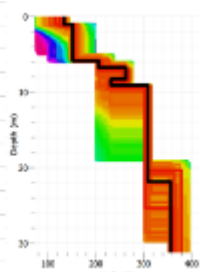


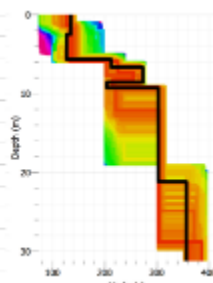
Figura A-44 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 15.

1.15.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

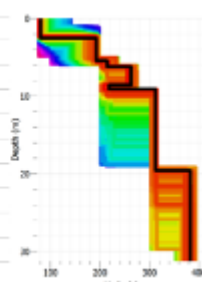
	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	Vs [m/s]
T15 PERFIL	1	5.85	5.85	150.79
	2	6.73	0.88	206.14
	3	8.16	1.43	261.48
	4	9.16	1	232.97
	5	21.84	12.68	306.77
	6	30	8.16	355.41
Vs30 [m/s]				256.15



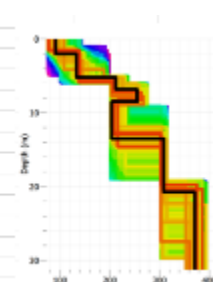
	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	Vs [m/s]
T15 2-3	1	5.85	5.85	127.31
	2	6.73	0.88	212.85
	3	8.6	1.87	273.22
	4	9.38	0.78	204.46
	5	21.07	11.69	303.41
	6	30	8.93	355.41
Vs30 [m/s]				241.16



	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	Vs [m/s]
T15 4-5	1	5.52	5.52	192.72
	2	6.4	0.88	214.52
	3	8.6	2.2	261.48
	4	9.16	0.56	219.55
	5	19.53	10.37	310.12
	6	30	10.17	380.56
Vs30 [m/s]				286.64



	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	Vs [m/s]
T15 6-7	1	5.18	5.18	137.34
	2	6.84	1.66	212.85
	3	8.49	1.65	254.78
	4	13.46	4.97	202.78
	5	20.74	7.28	306.77
	6	30	9.26	368.82
Vs30 [m/s]				236.66



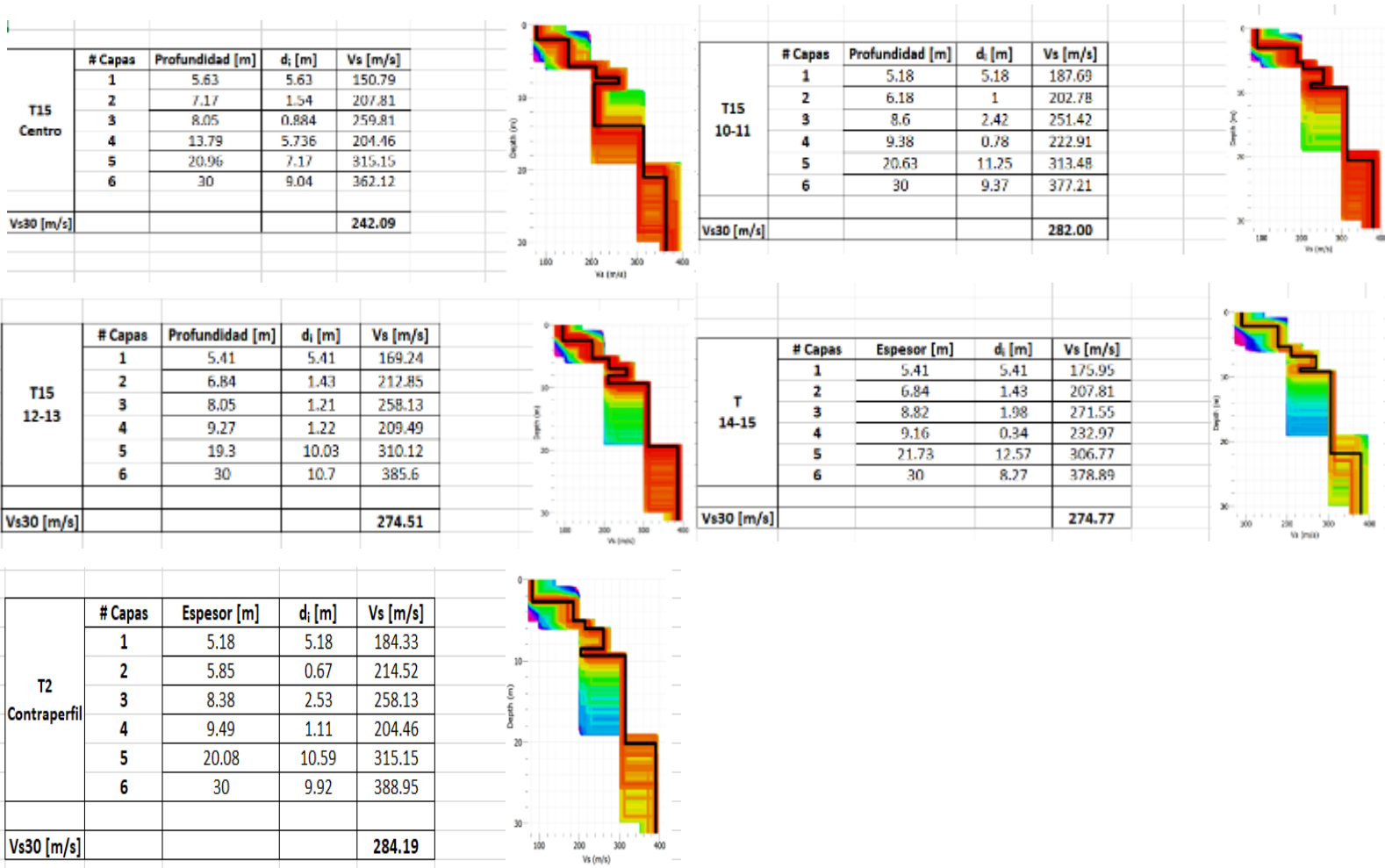
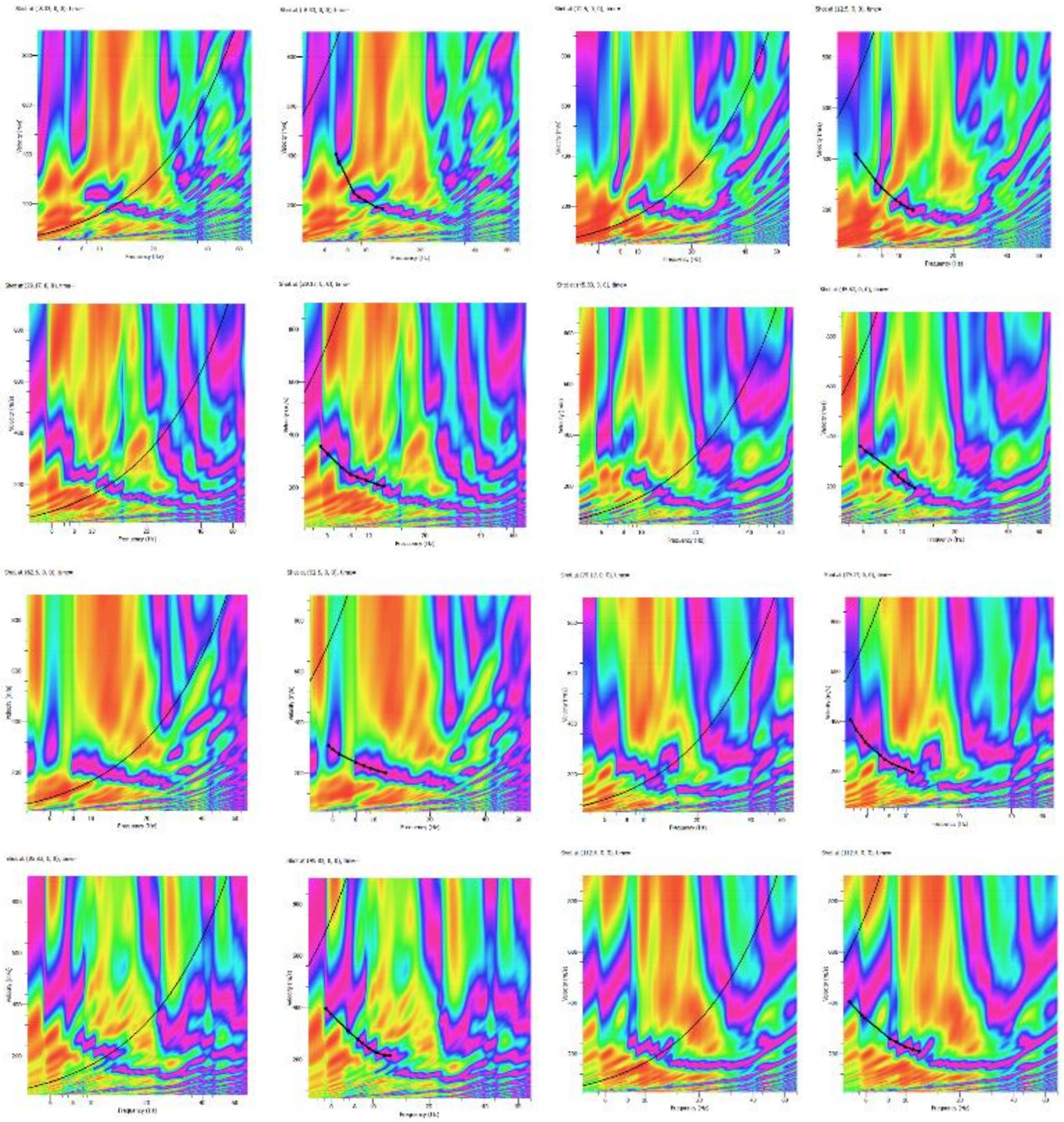


Figura A-45 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 15.

1.16 Tendido 16

TENDIDO 16			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 771485 E	17M 771550 E	17M 771616 E
	9962578 N	9962603 N	9962629 N
	3158 m	3155 m	3147 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
14-15	112.50		
Contraperfil	133.33		

1.16.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



1.16.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

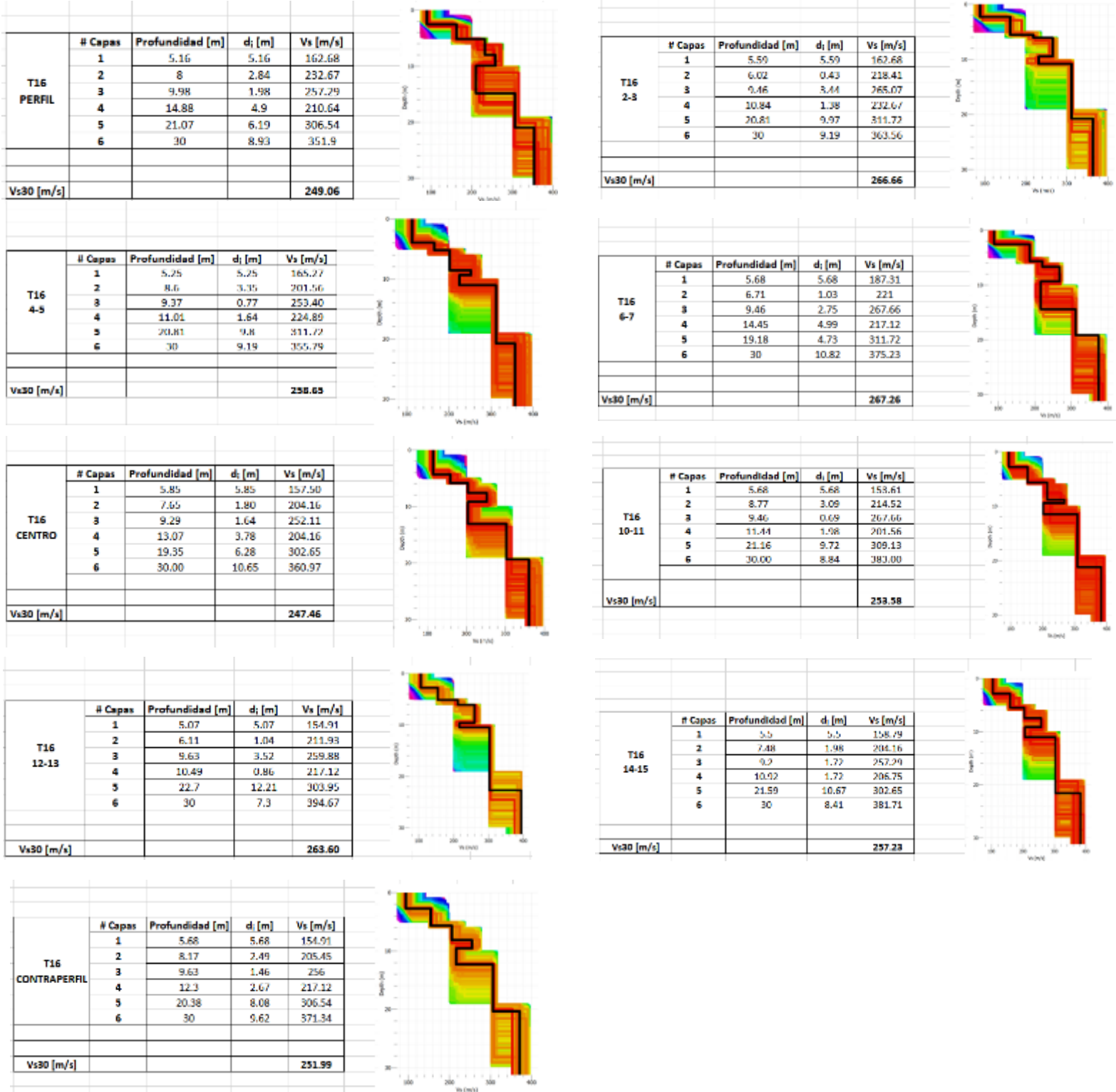
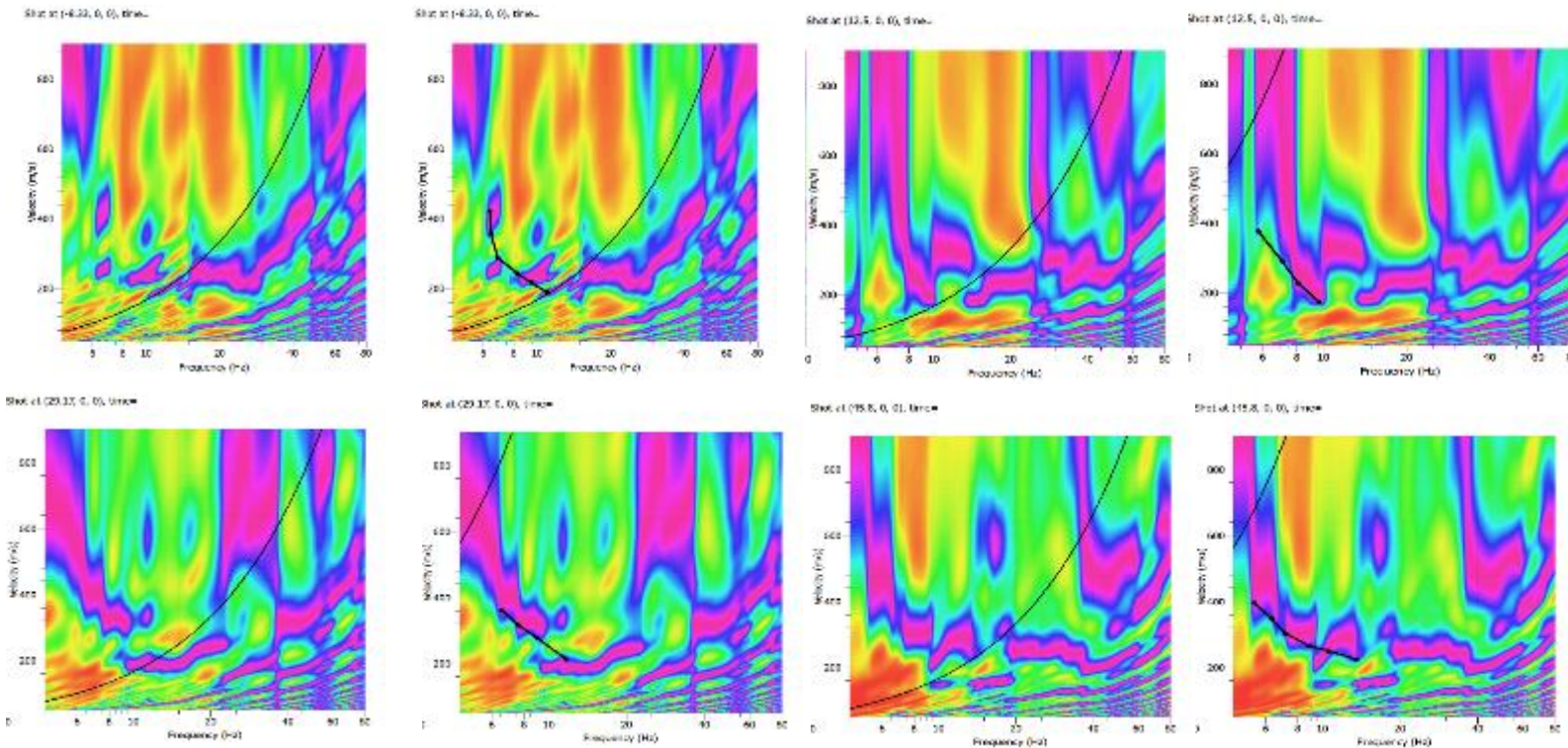


Figura A-48 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 16.

1.17 Tendido 17

TENDIDO 17			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 771828 E	17M 771828 E	17M 771829 E
	9962457 N	9962539 N	9962572 N
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
	14-15	112.50	
Contraperfil	133.33		

1.17.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



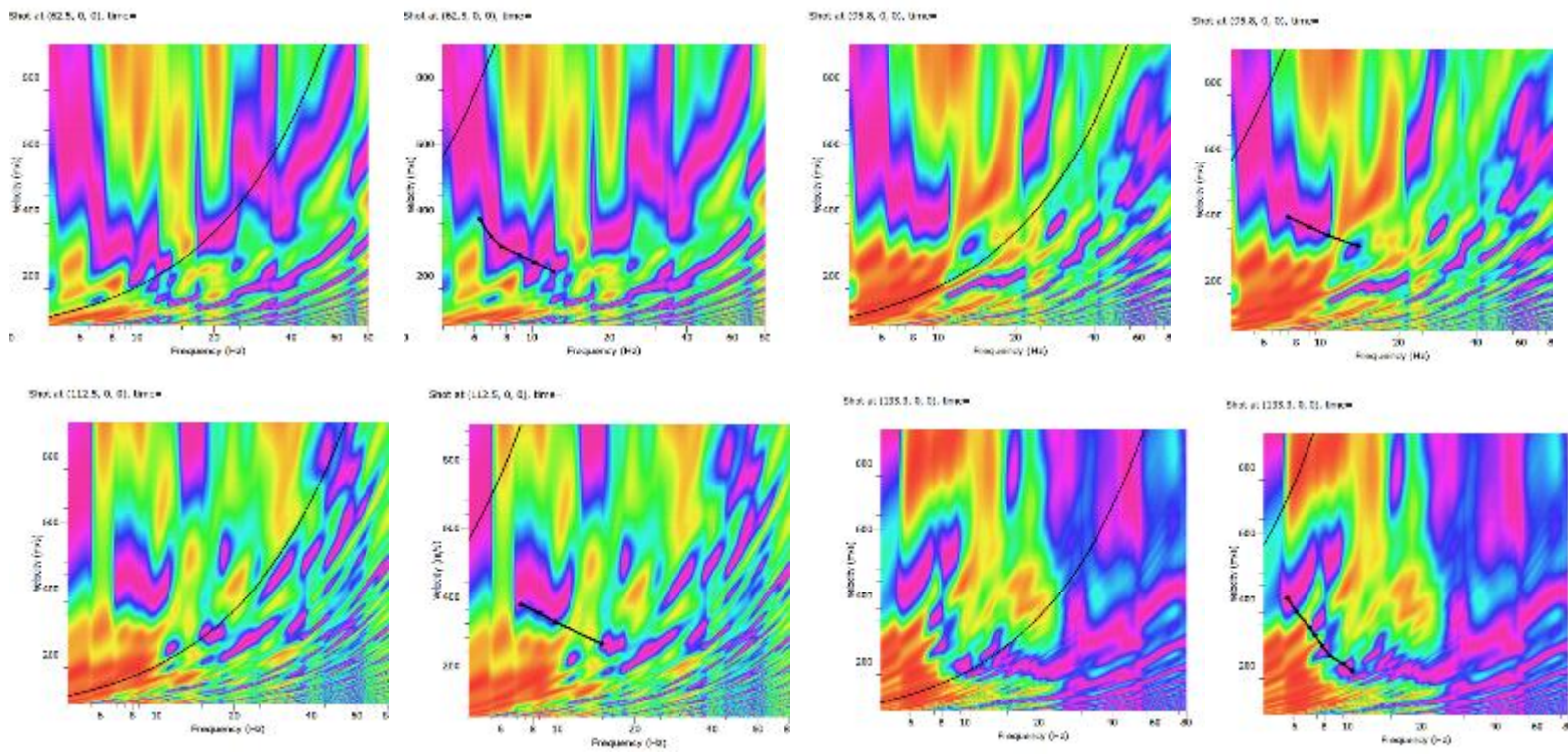


Figura A-49 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 17.

1.17.2 Curvas de dispersión teórica y experimental

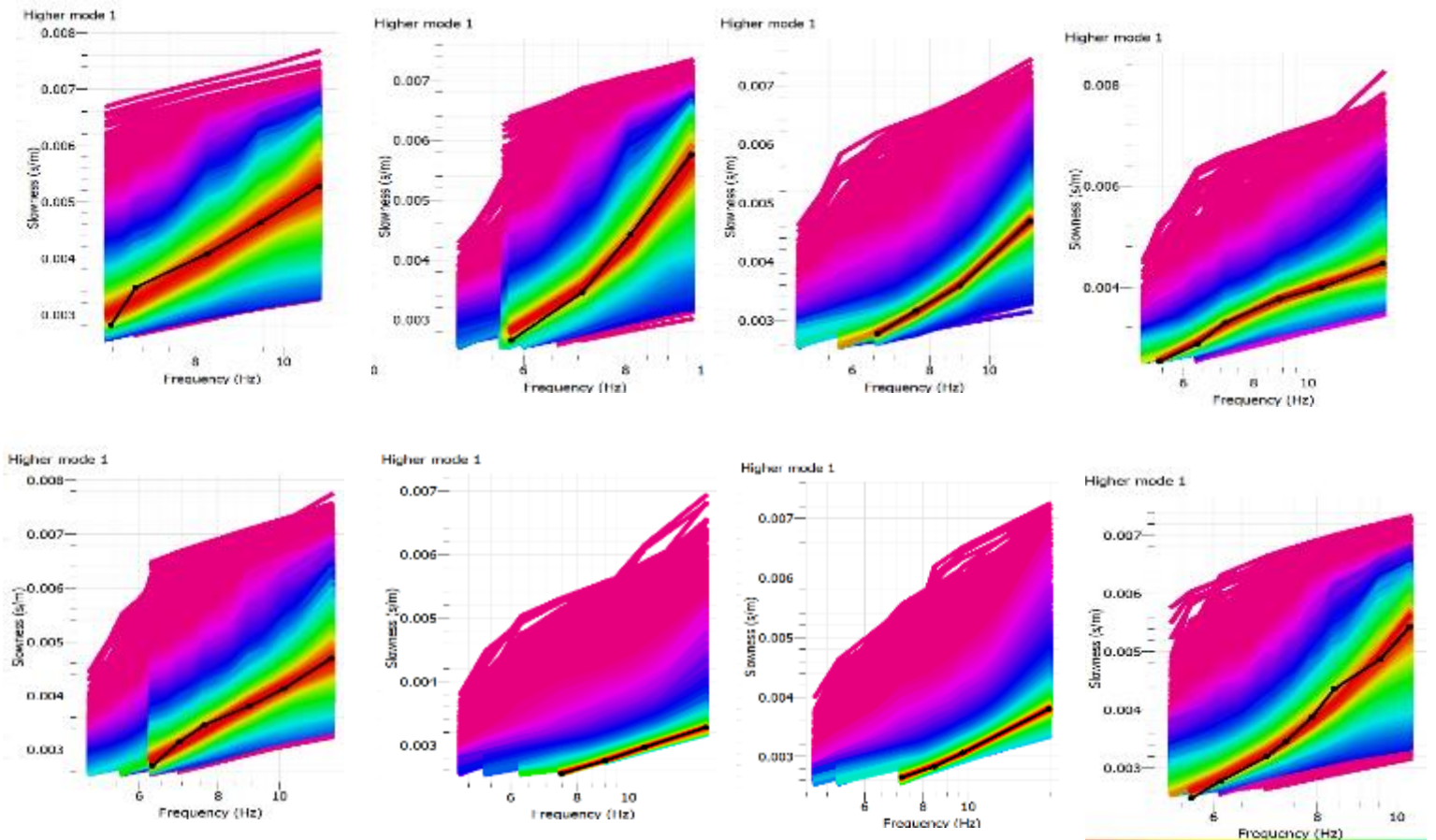


Figura A-50 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 17.

1.17.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

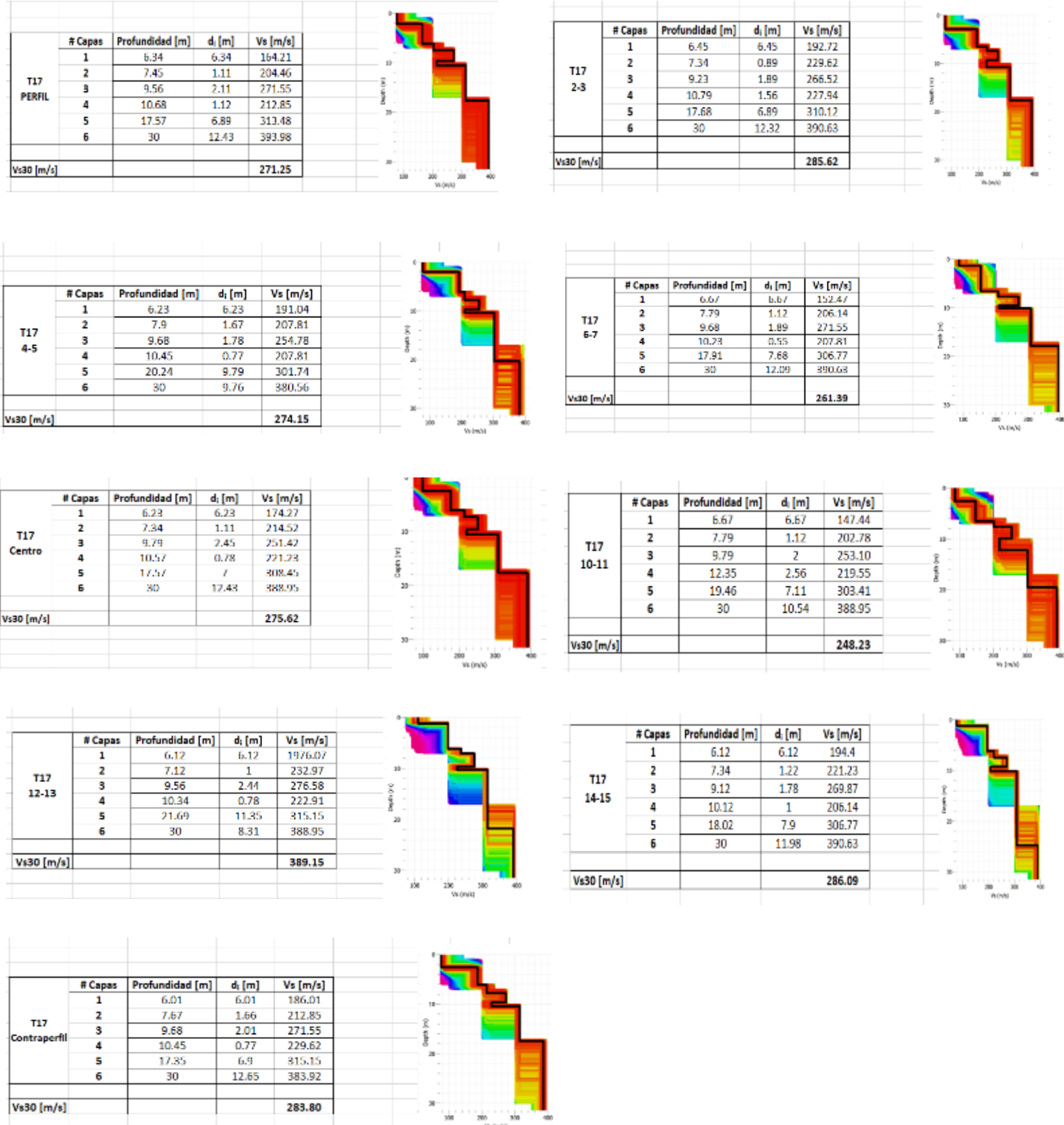
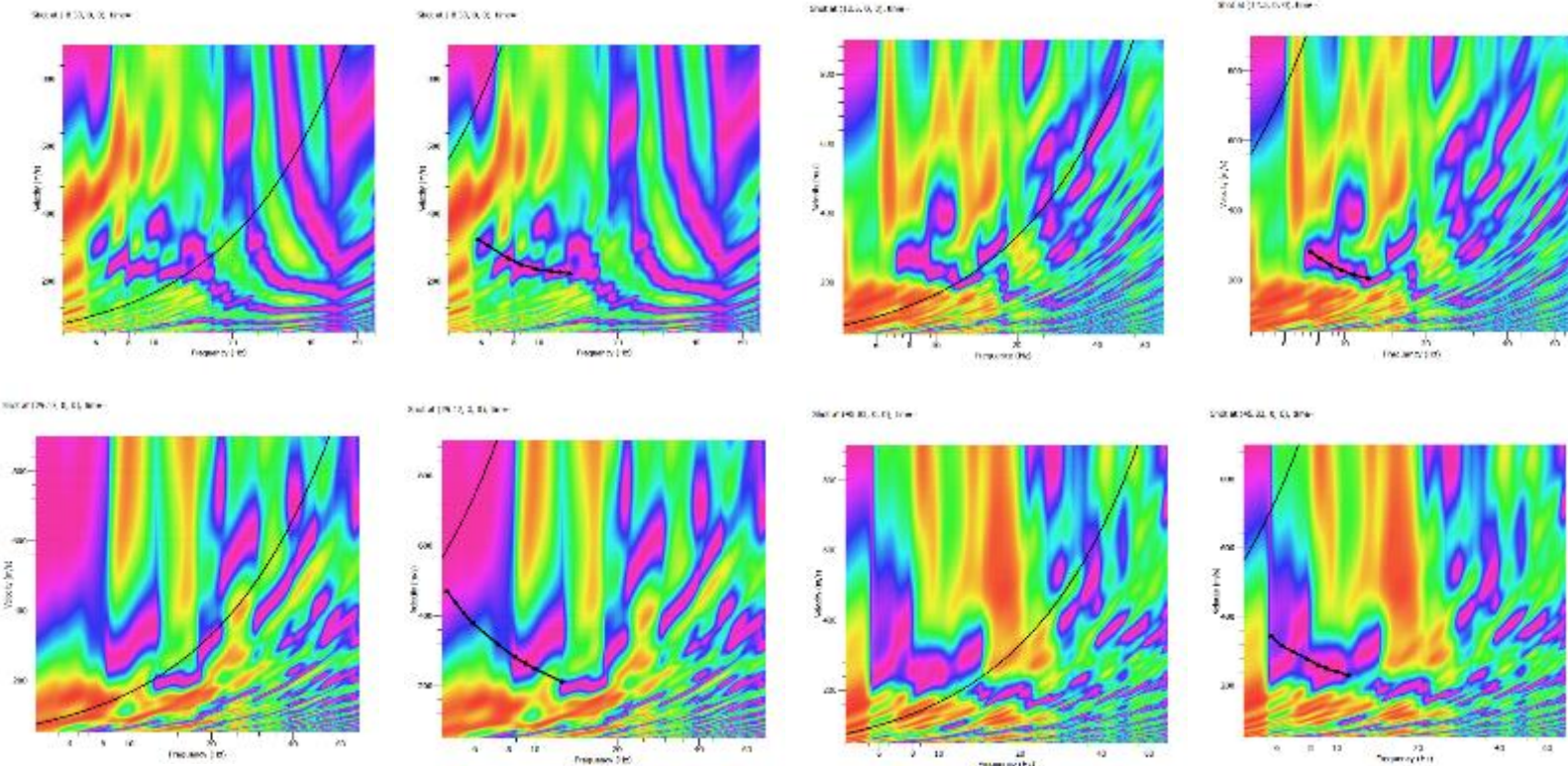


Figura A-51 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 17.

1.18 Tendido 18

TENDIDO 18			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 771975 E	17M 771909 E	17M 771841 E
	9962530 N	9962522 N	9962502 N
	31069 m	31116 m	31216 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
	14-15	112.50	
Contraperfil	133.33		

1.18.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



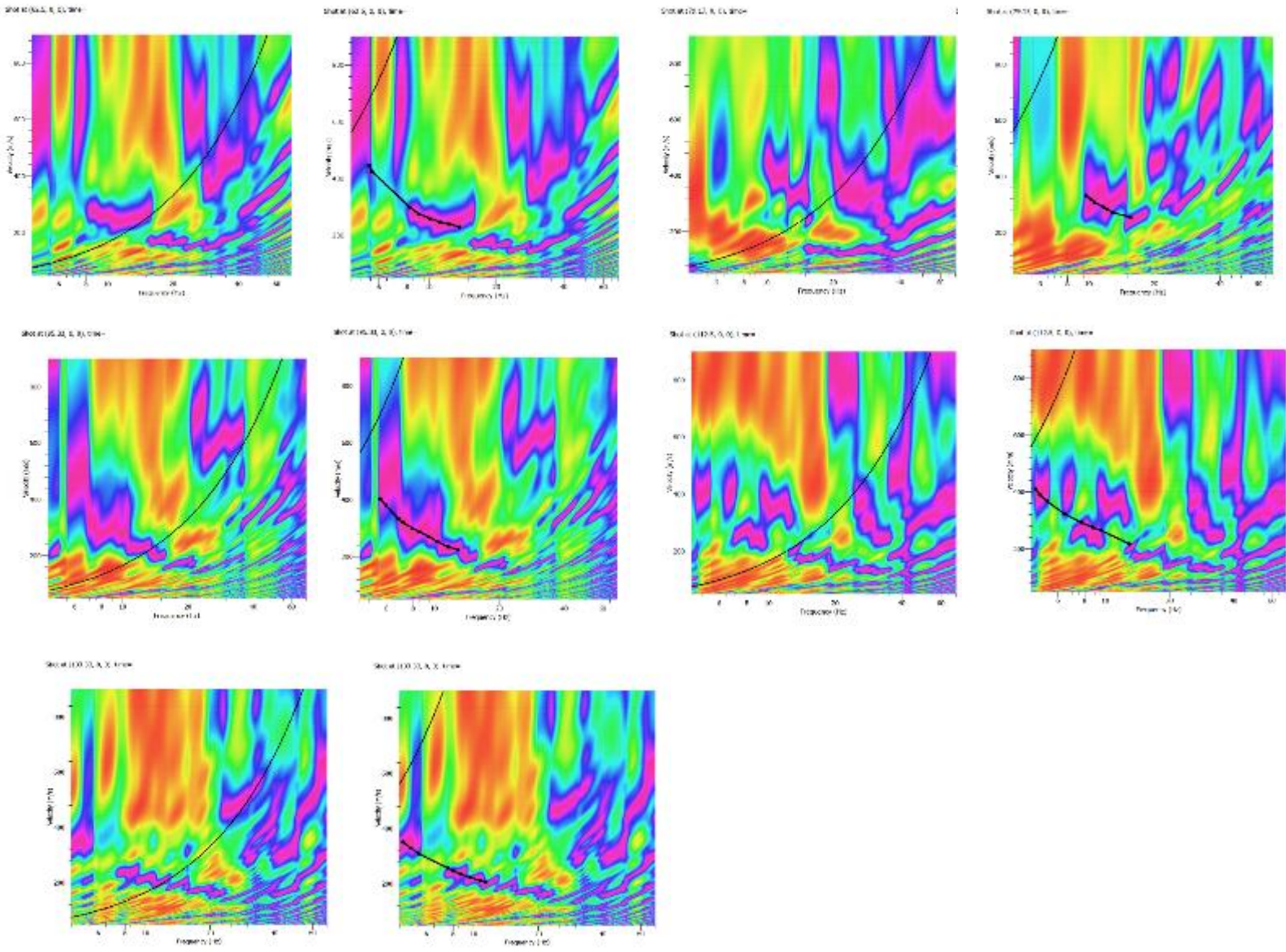
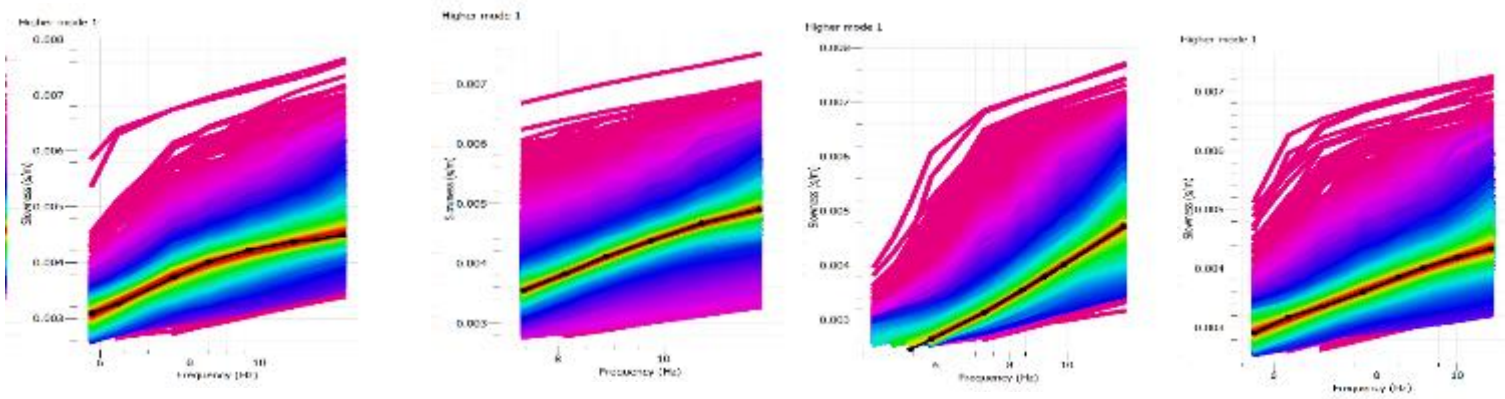


Figura A-52 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 18.

1.18.2 Curva de dispersión teórica y experimental



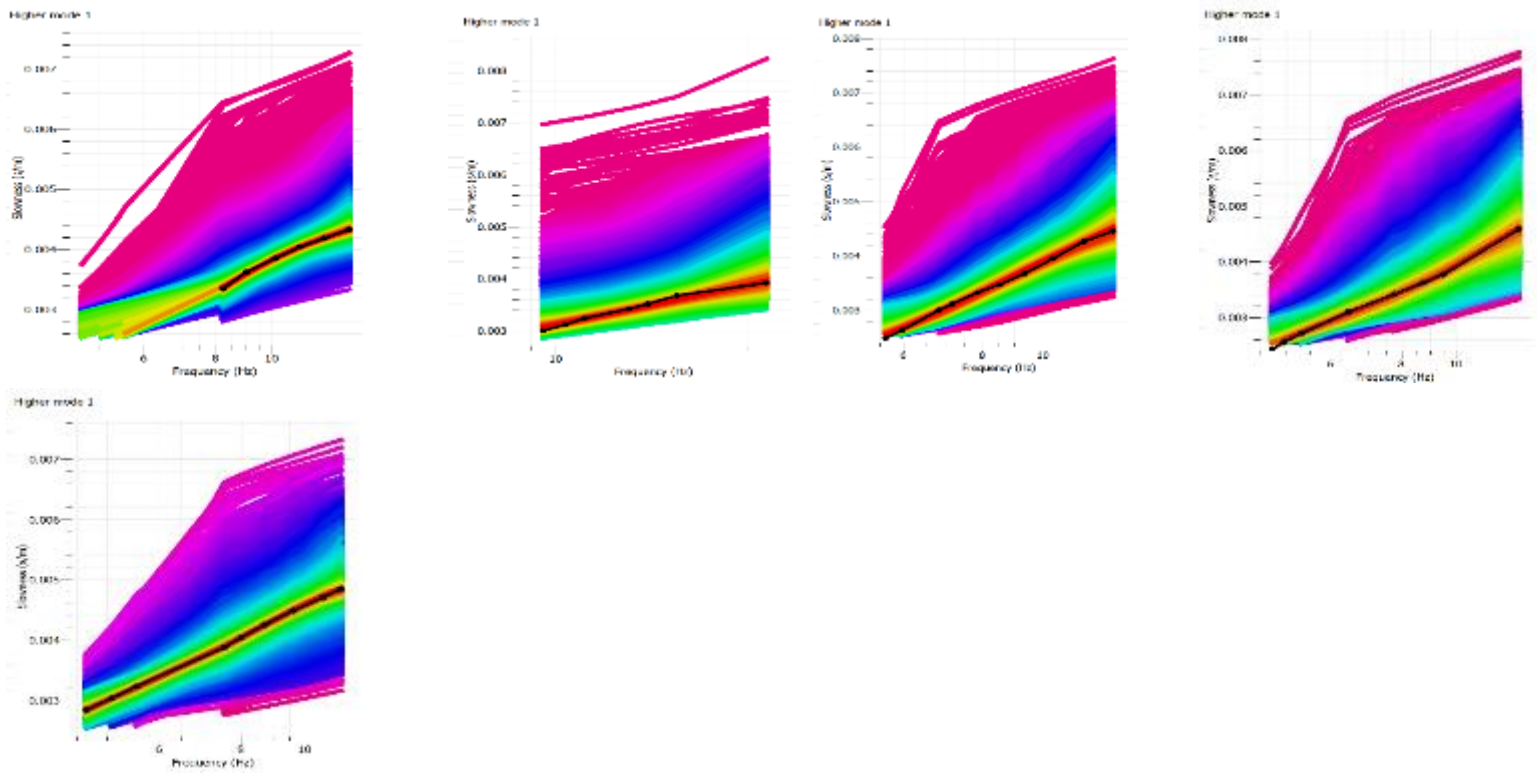
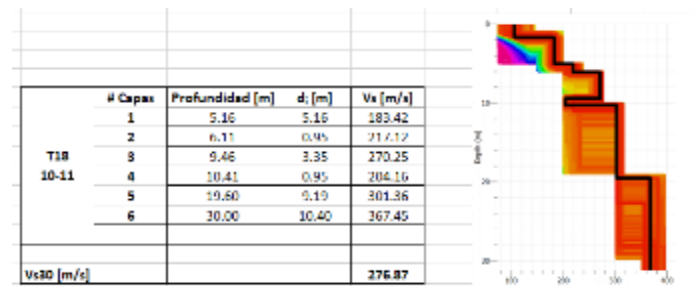
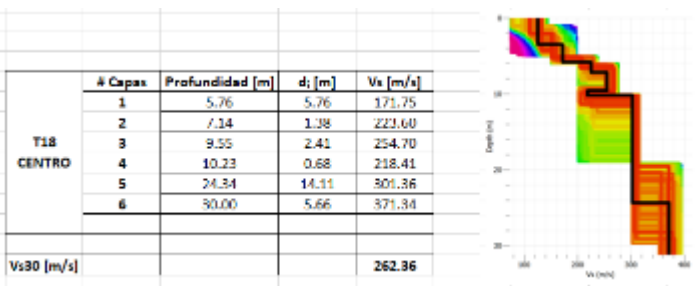
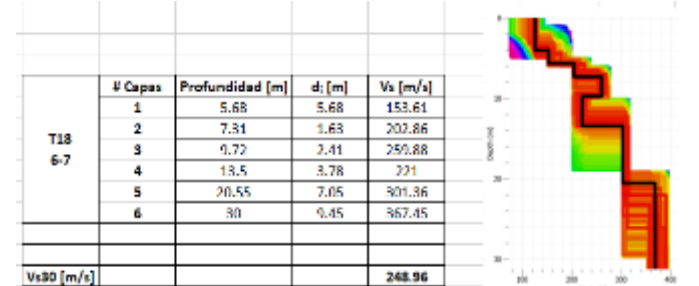
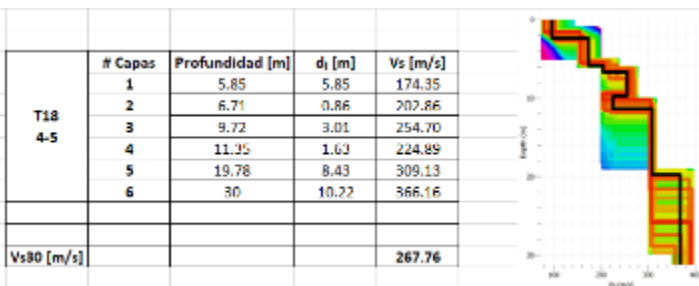
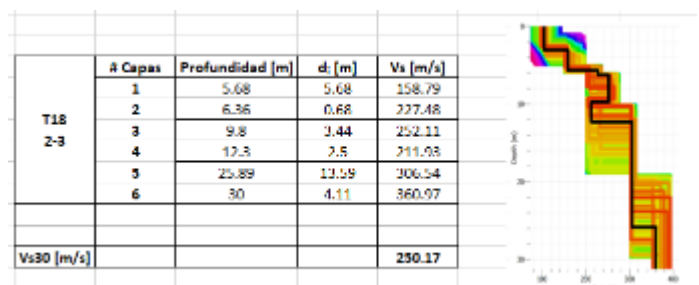
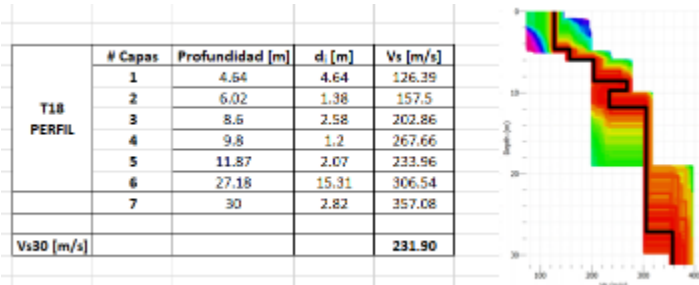


Figura A-53 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 18.

1.18.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30



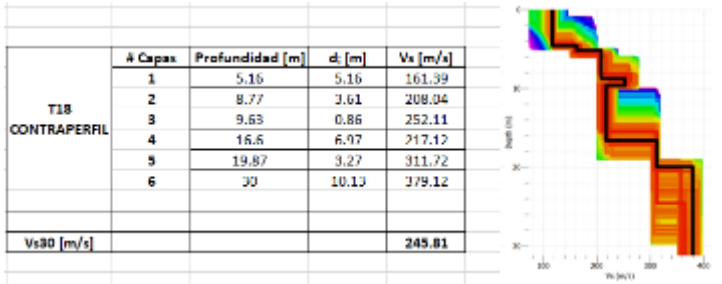
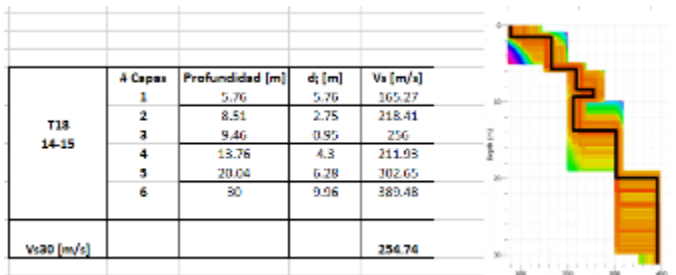
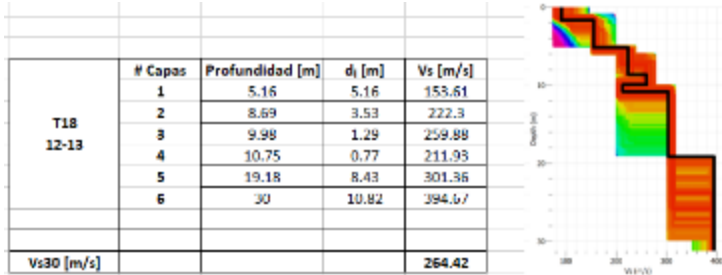
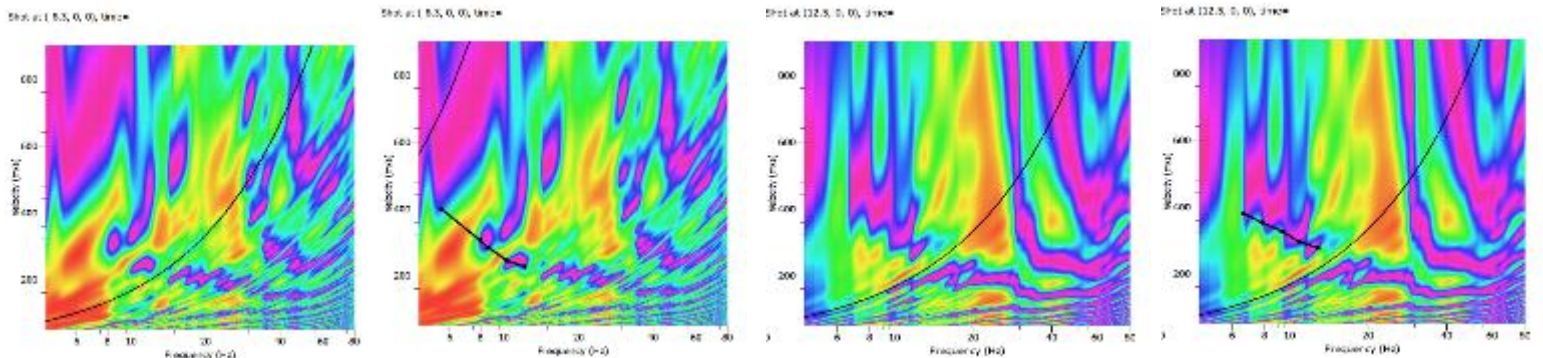


Figura A-54 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 18.

1.19 Tendido 19

TENDIDO 19			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 772008 E	17M 771940 E	17M 771883 E
	9962507 N	9962485 N	9962458 N
	3114 m	3121 m	3122 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
14-15	112.50		
Contraperfil	133.33		

1.19.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



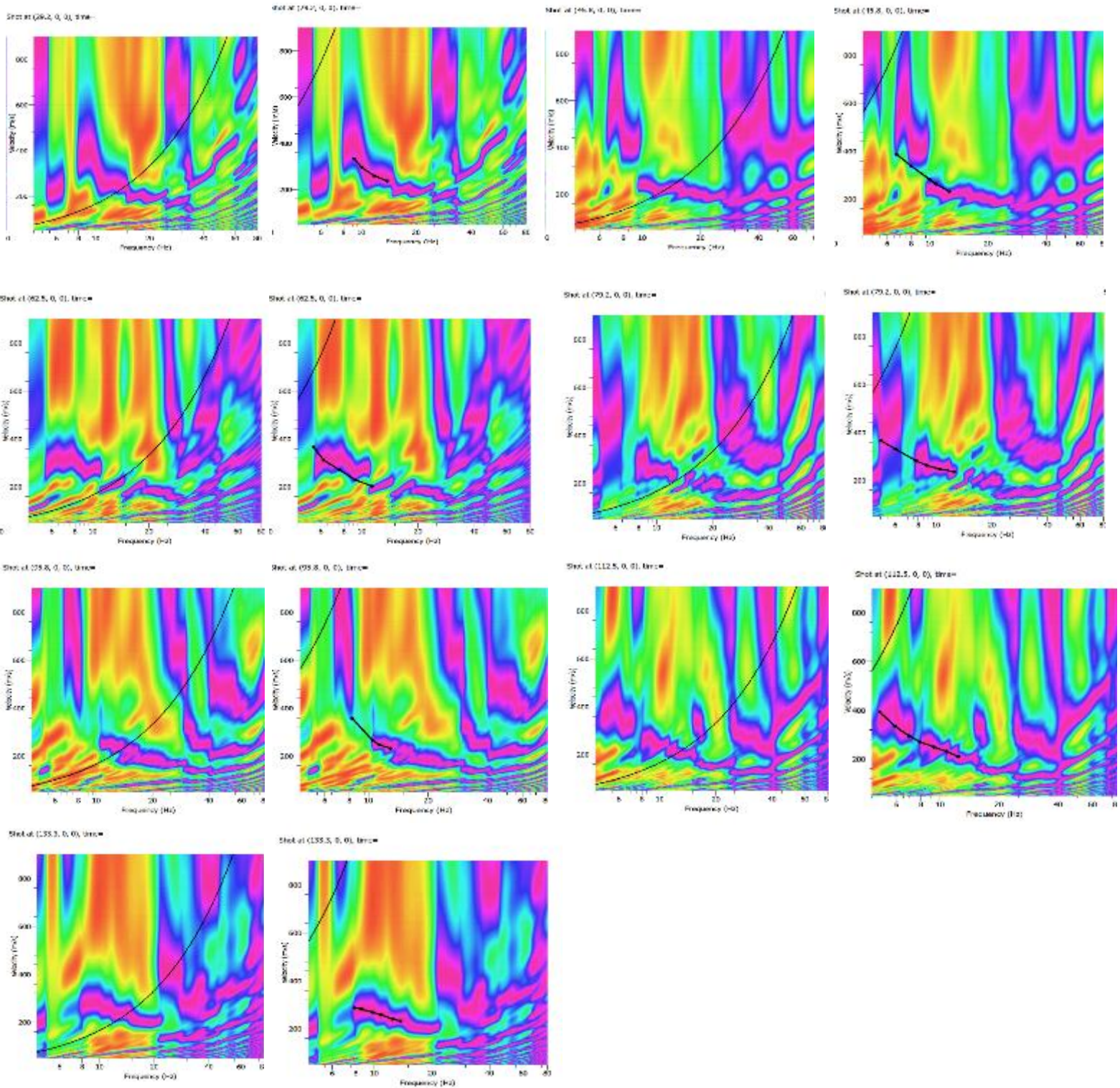


Figura A-55 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 19.

1.19.2 Curva de dispersión teórica y experimental

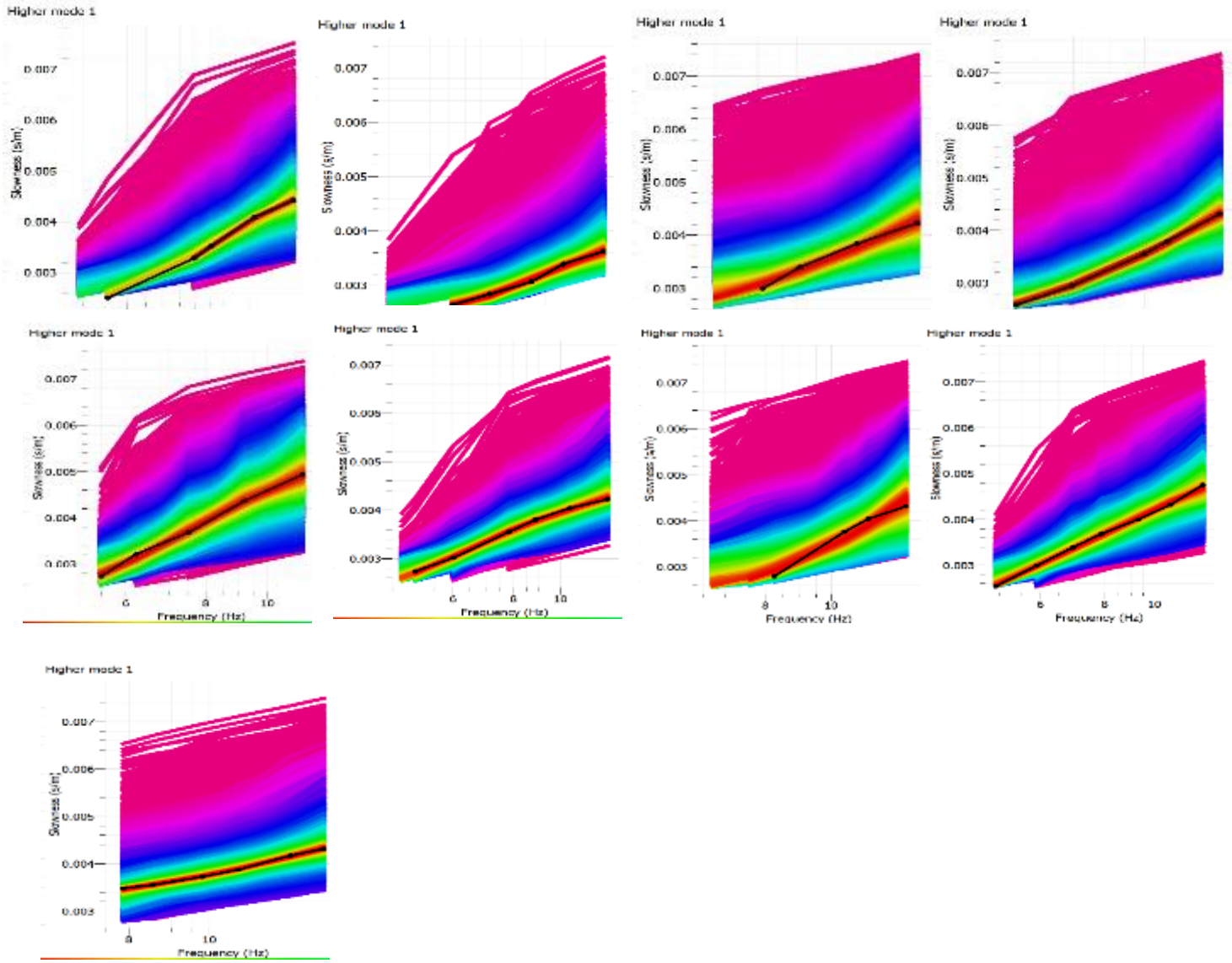
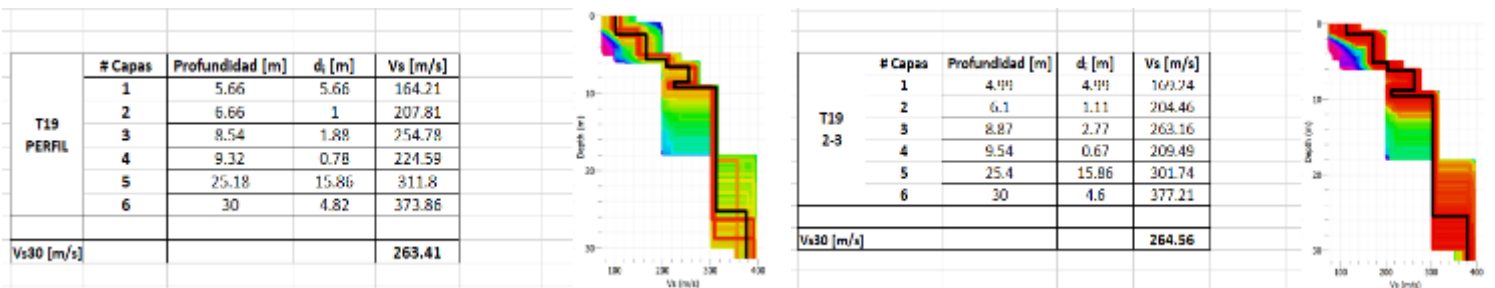


Figura A-56 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 19.

1.19.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30



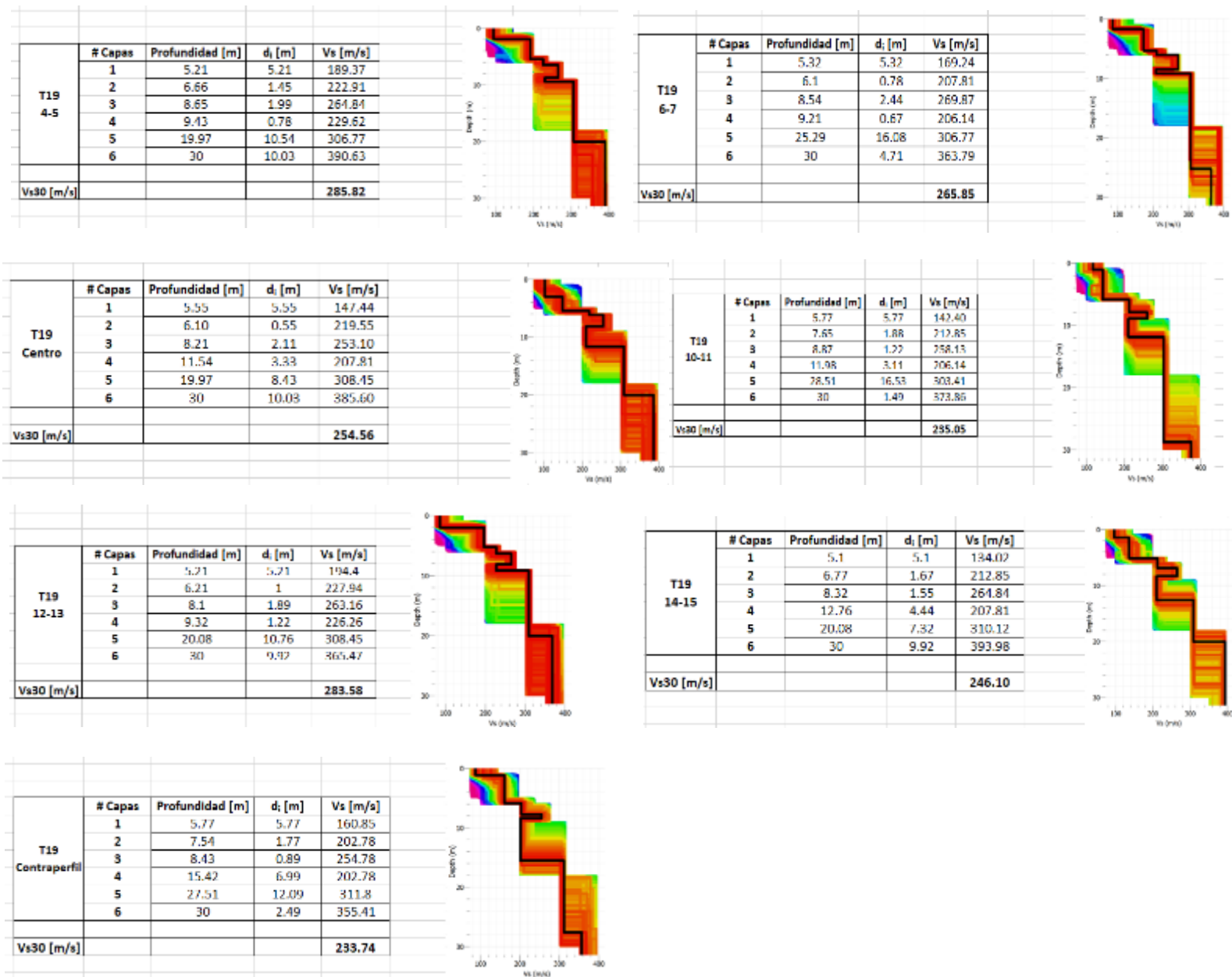
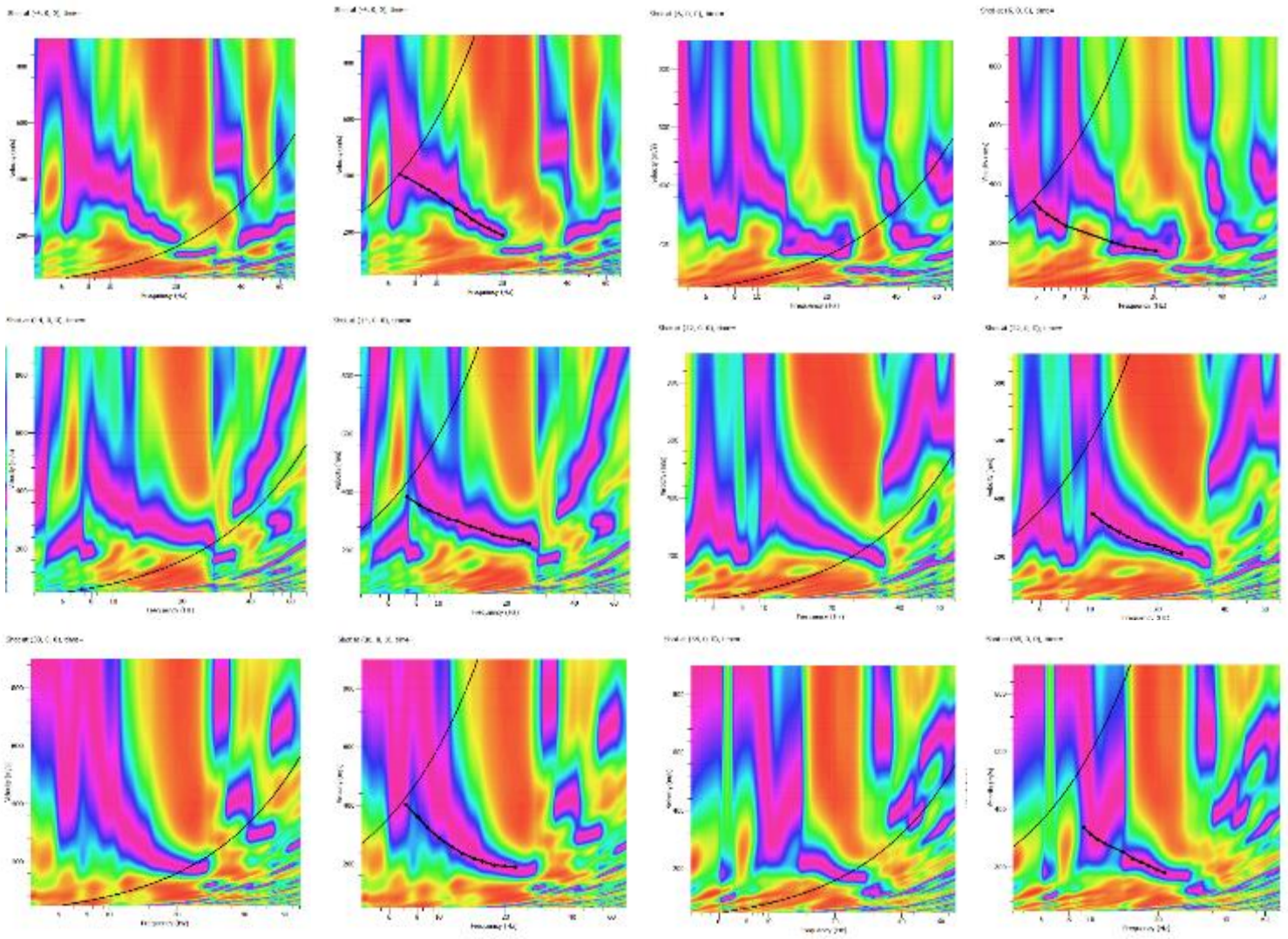


Figura A-57 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 19.

1.20 Tendido 20

TENDIDO 20			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 7721710 E	17M 772155 E	17M 772135 E
	9962538 N	9962566 N	9962595 N
	3096 m	3096 m	3094 m
LONGITUD	60 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-4.00	
	2-3	6.00	
	4-5	14.00	
	6-7	22.00	
	8-9	30.00	
	10-11	38.00	
	12-13	46.00	
Contraperfil	64.00		

1.20.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



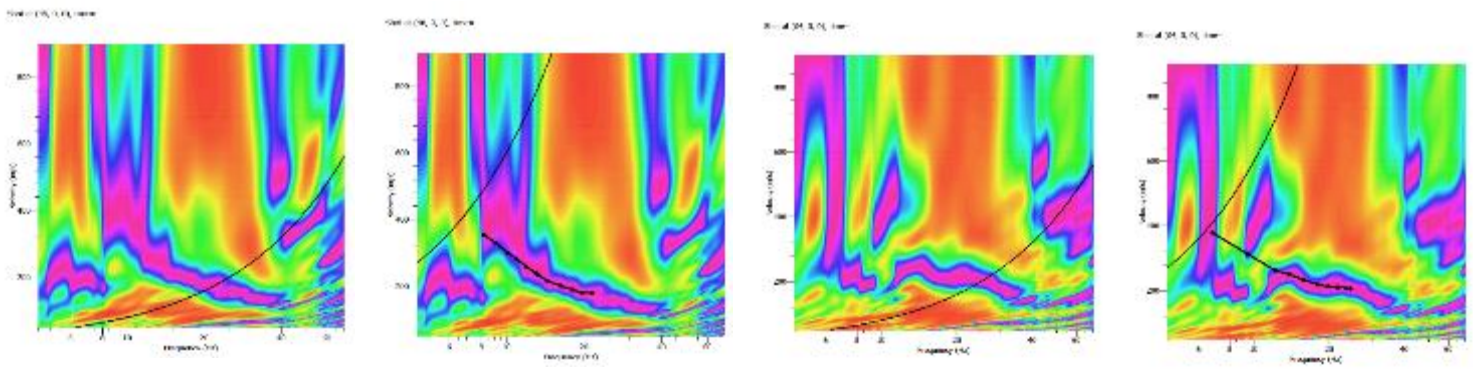


Figura A-58 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 20.

1.20.2 Curva de dispersión teórica y experimental

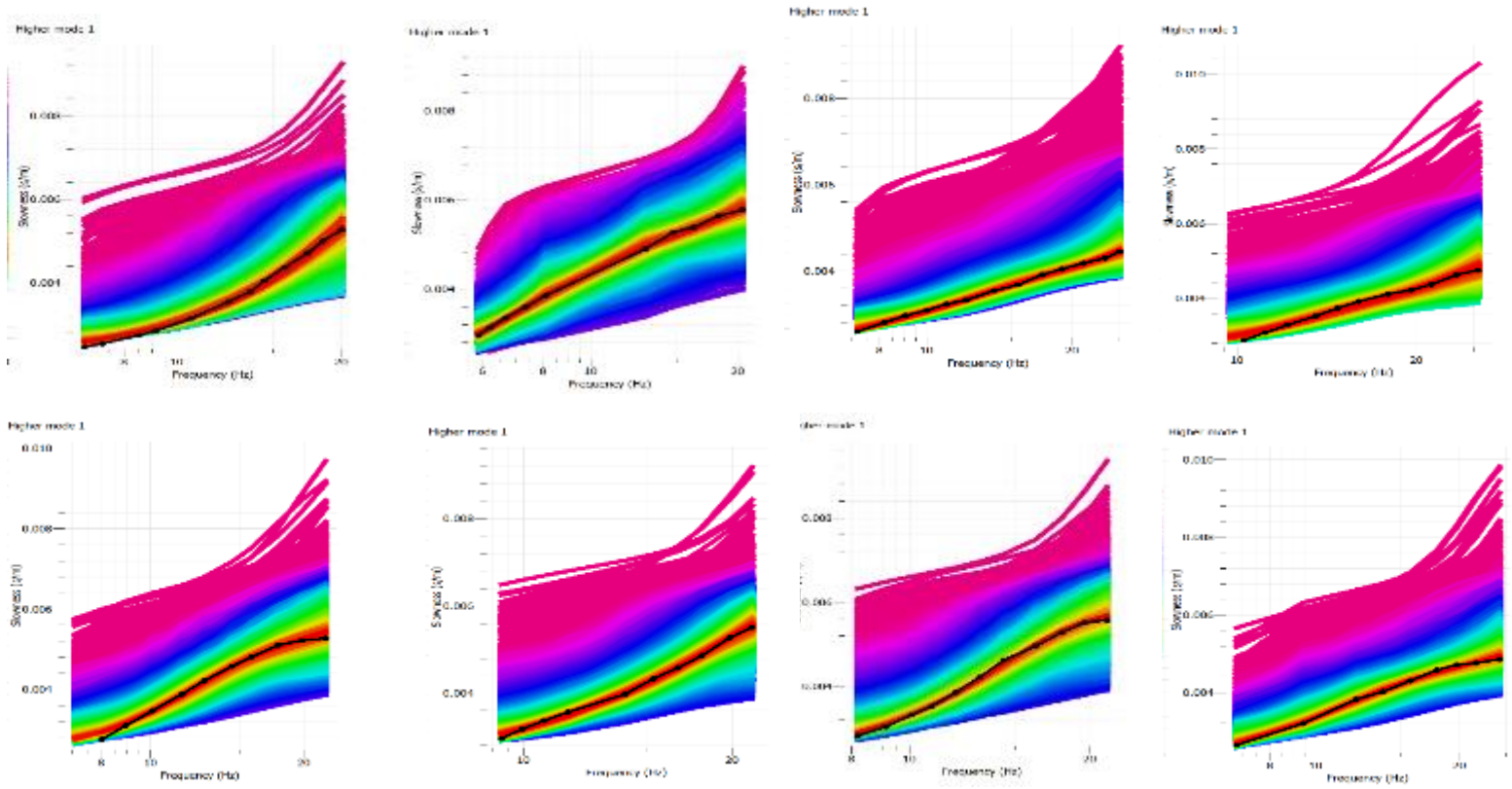
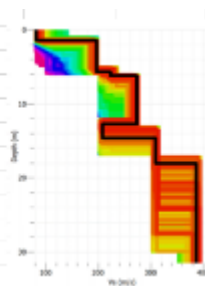


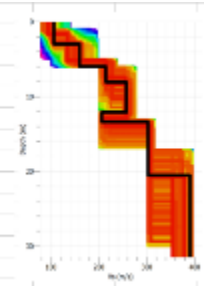
Figura A-59 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 20.

1.20.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
T20 PERFIL	1	5.72	0.52	196.88
	2	6.24	0.52	222.43
	3	12.75	6.51	273.55
	4	14.65	1.9	209.65
	5	17.95	3.3	309.33
	6	30	17.05	384.77
Vs30 [m/s]				282.38



	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
T20 2-3	1	5.0	5.0	150.82
	2	8.05	2.16	214.77
	3	12.14	4.08	258.21
	4	13.27	1.13	205.82
	5	20.46	7.19	302.94
	6	30	9.54	389.83
Vs30 [m/s]				257.57



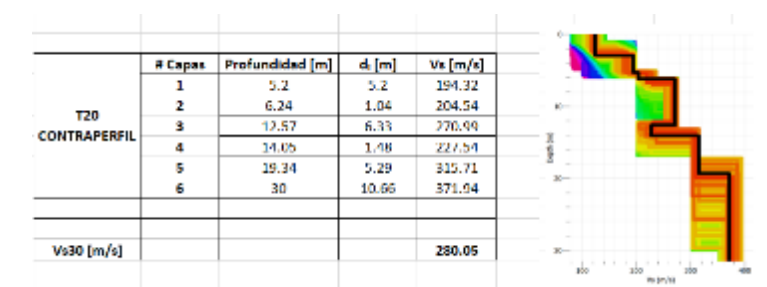
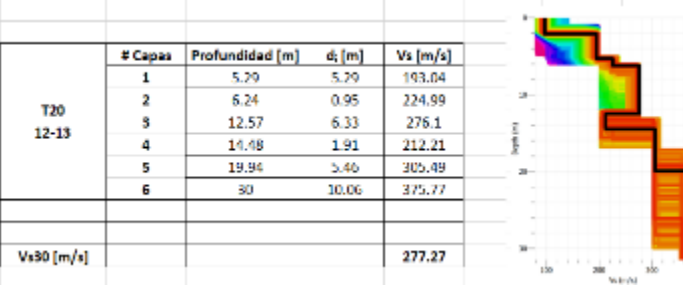
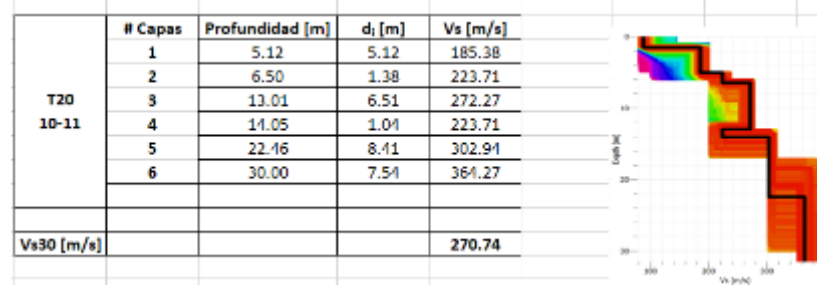
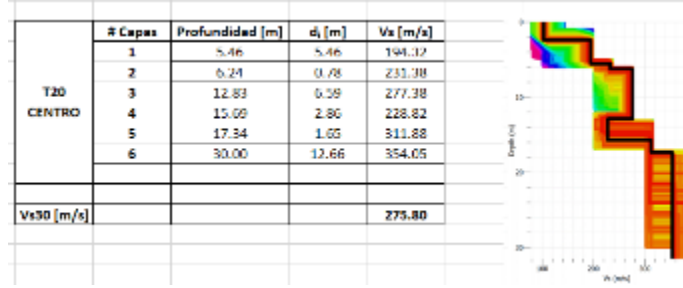
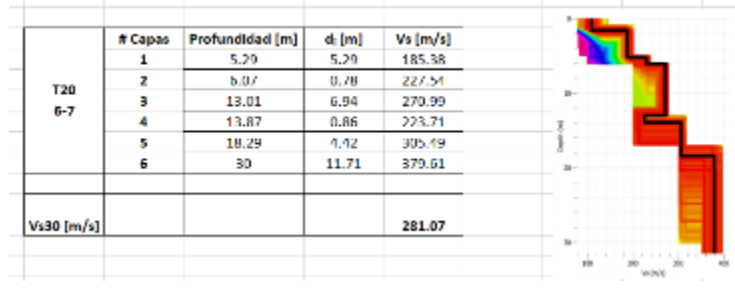
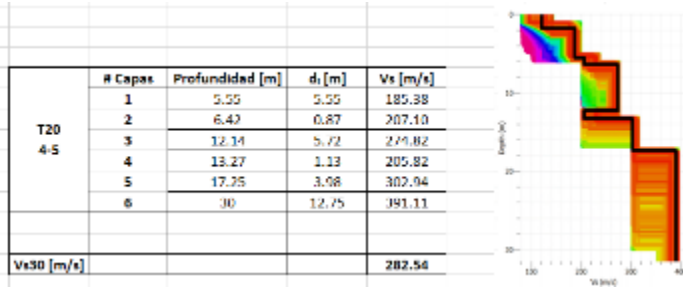


Figura A-60 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 20.

1.21 Tendido 21

TENDIDO 21			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 772142 E	17M 772156 E	17M 772164 E
	9962535 N	9962561 N	9962598 N
	3102 m	3100 m	3096 m
LONGITUD	60 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-4.00	
	2-3	6.00	
	4-5	14.00	
	6-7	22.00	
	8-9	30.00	
	10-11	38.00	
	12-13	46.00	
	14-15	54.00	
	Contraperfil	64.00	

1.21.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia

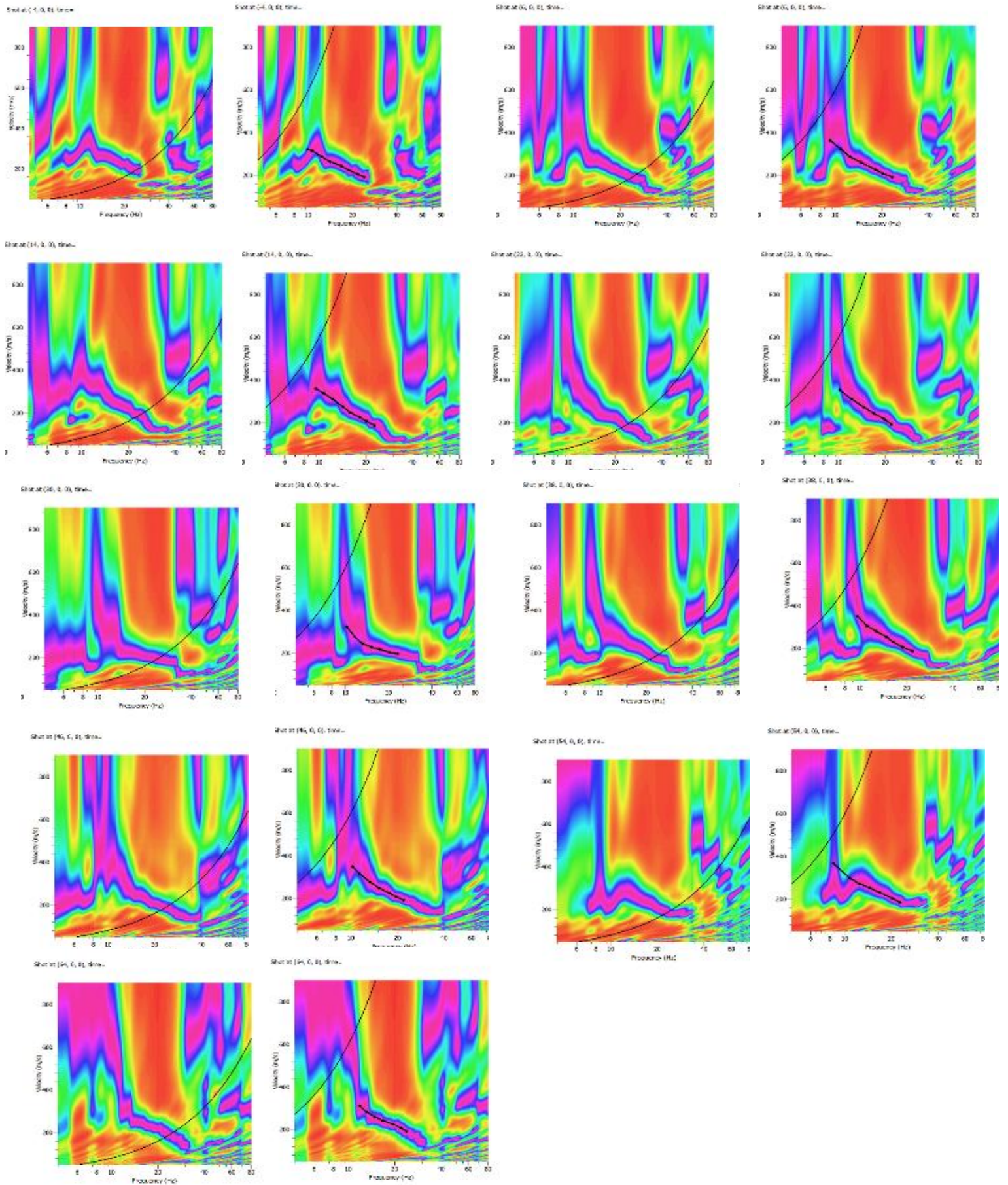


Figura A-61 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 21.

1.21.2 Curva de dispersión teórica y experimental

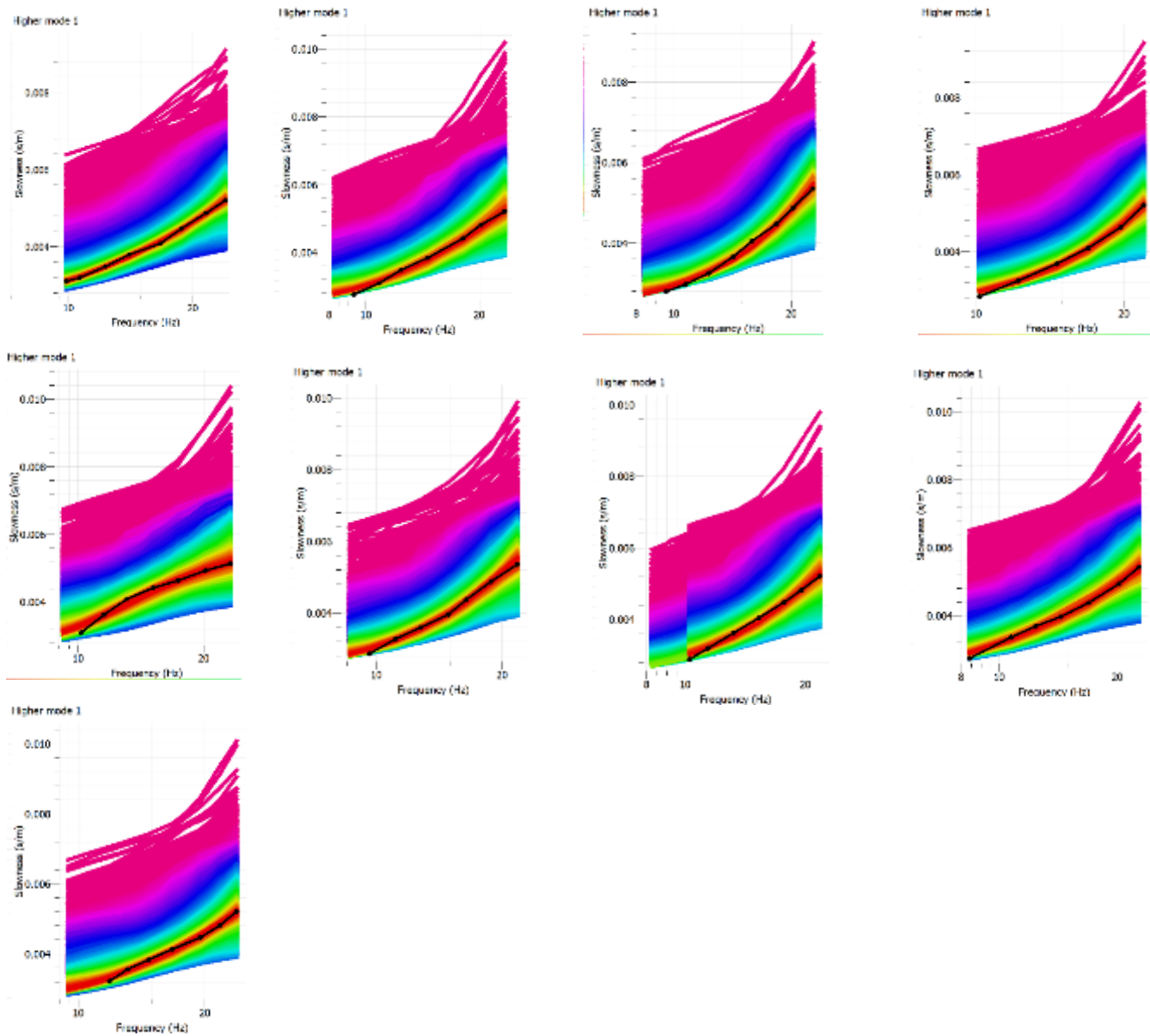
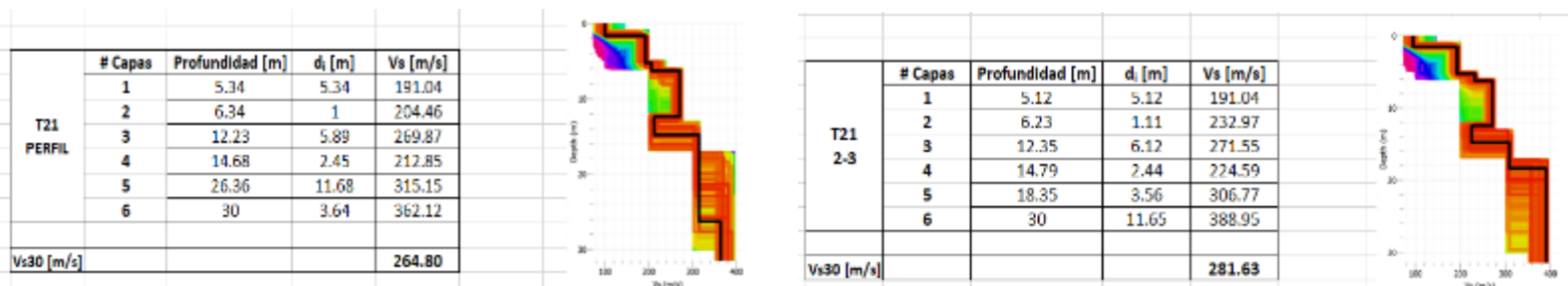


Figura A-62 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 21.

1.21.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30



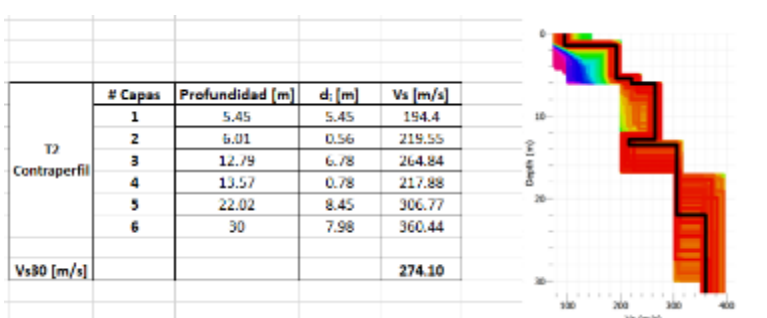
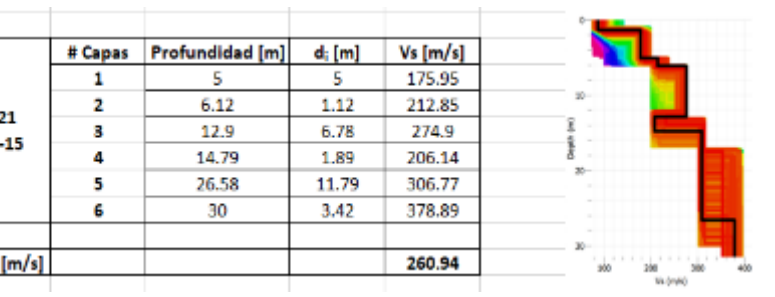
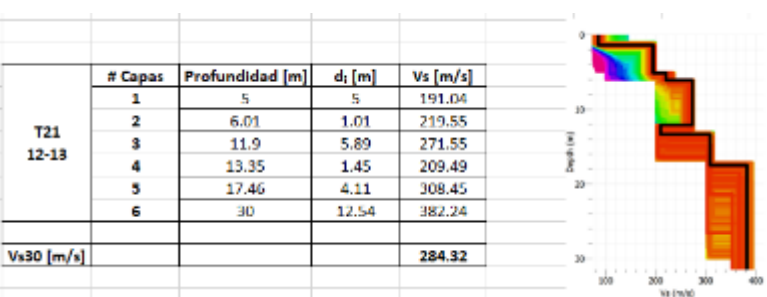
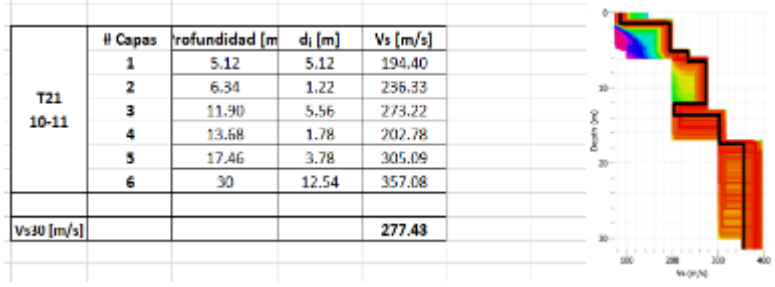
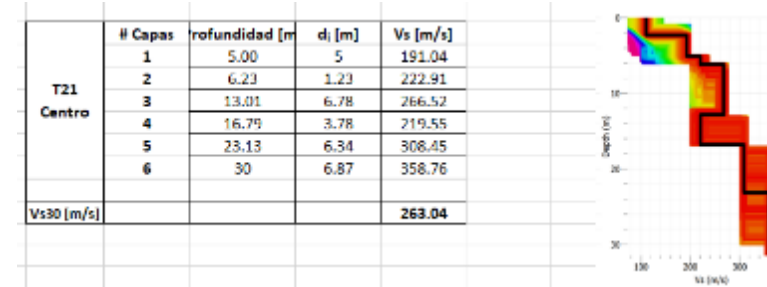
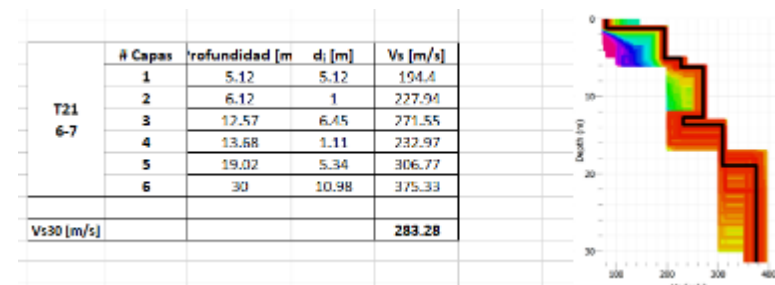
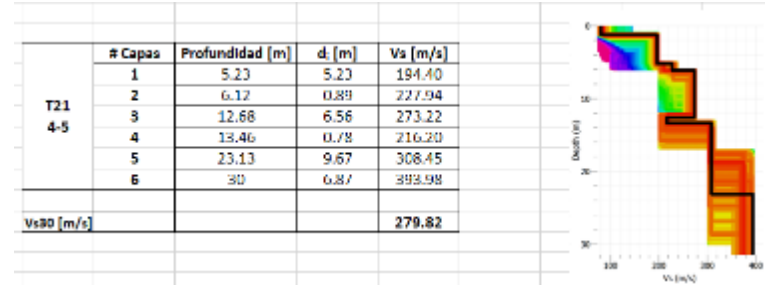
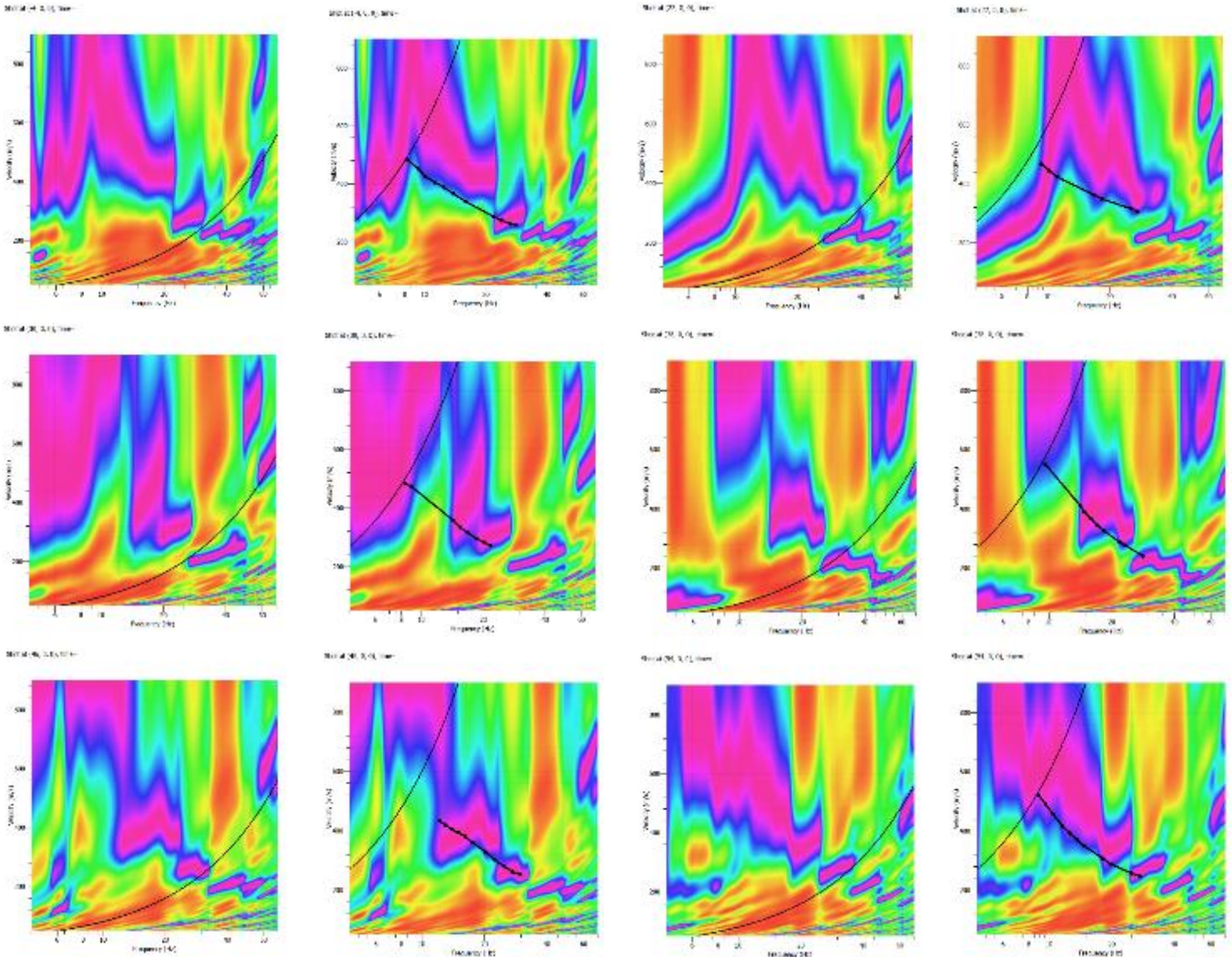


Figura A-63 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 21.

1.22 Tendido 22

TENDIDO 22			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 772381 E	17M 772378 E	17M 772382 E
	9962536 N	9962553 N	9962579 N
	3084 m	3087 m	3089 m
LONGITUD	60 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-4.00	
	6-7	22.00	
	8-9	30.00	
	10-11	38.00	
	12-13	46.00	
	14-15	54.00	
Contraperfil	64.00		

1.22.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



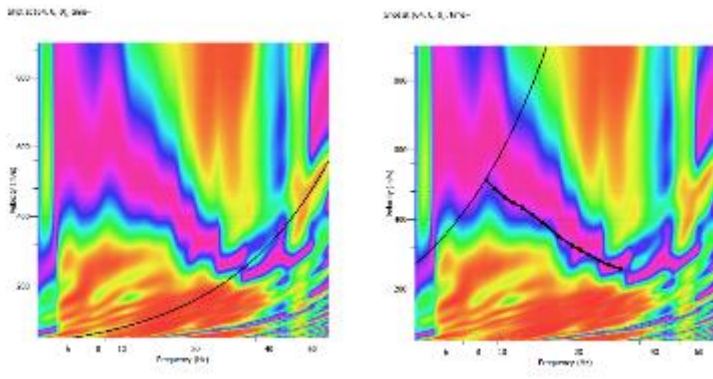


Figura A-64 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 22.

1.22.2 Curva de dispersión teórica y experimental

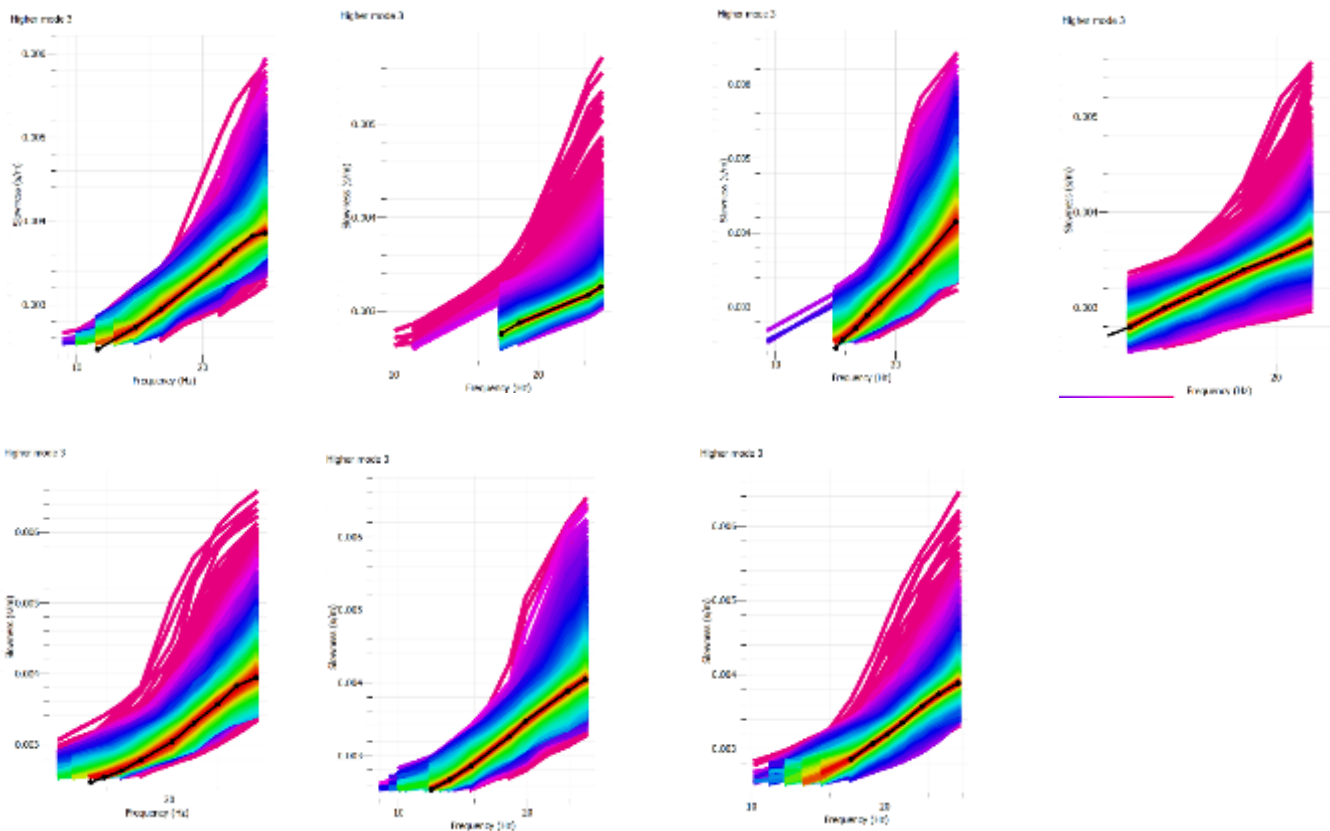
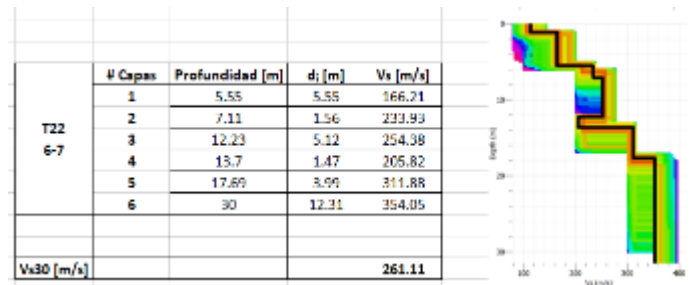
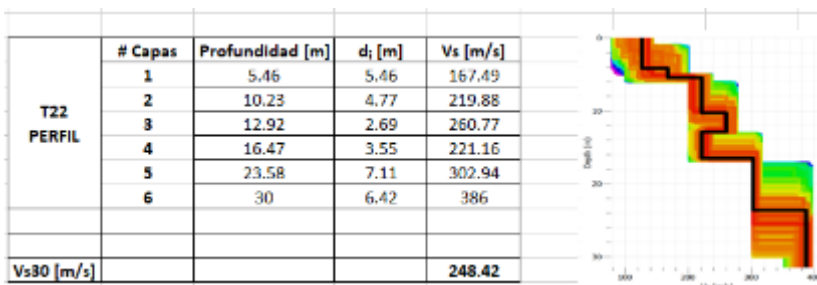


Figura A-65 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 22.

1.22.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30



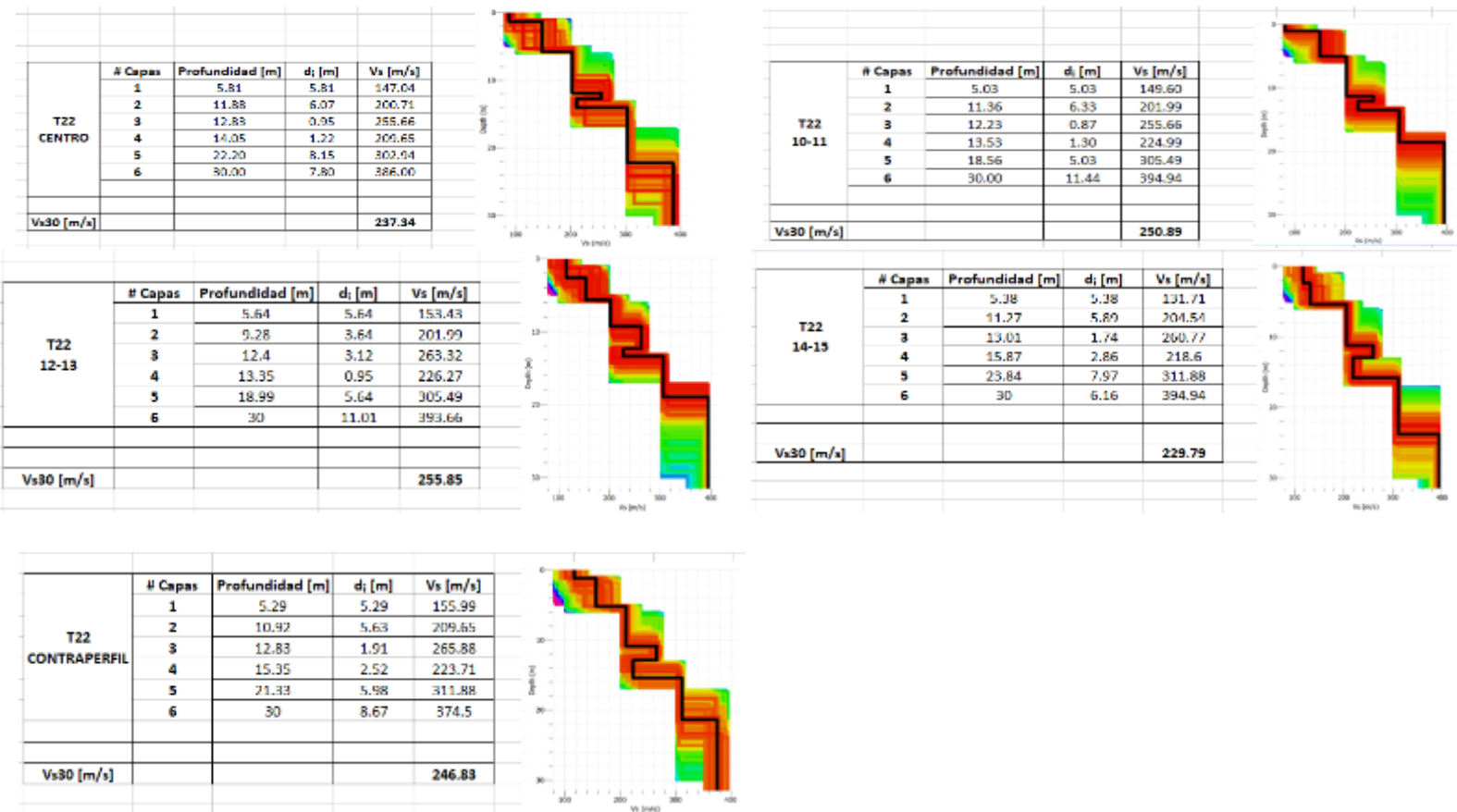


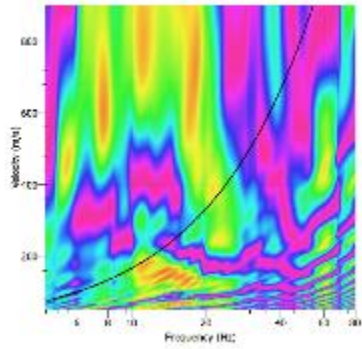
Figura A-66 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 22.

1.23 Tendido 23

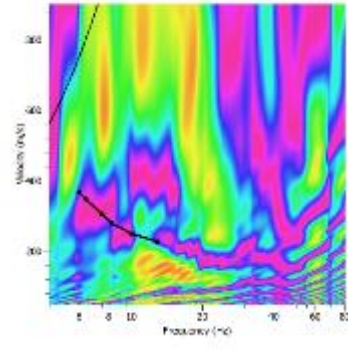
TENDIDO 23			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 772423 E	17M 772362 E	17M 772294 E
	9962512 N	9962494 N	9962481 N
	3092 m	3090 m	3091 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
14-15	112.50		
Contraperfil	133.33		

1.23.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia

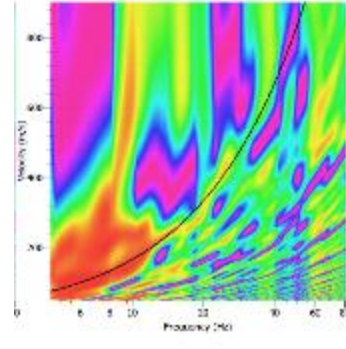
Shot at (1.85, 0, 0), time=



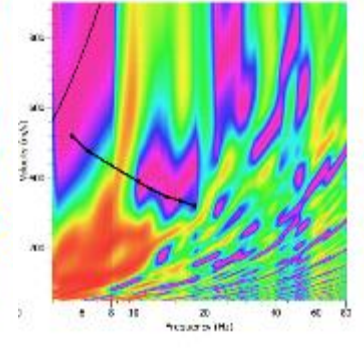
Shot at (4.33, 0, 0), time=



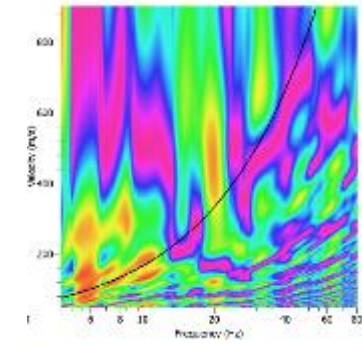
Shot at (12.5, 0, 0), time=



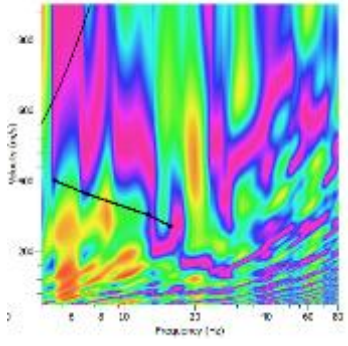
Shot at (22.7, 0, 0), time=



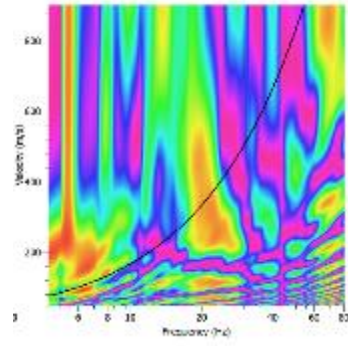
Shot at (26.45, 0, 0), time=



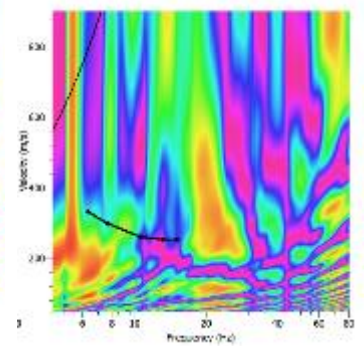
Shot at (29.17, 0, 0), time=



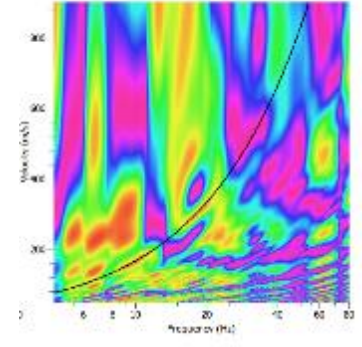
Shot at (46.6, 0, 0), time=



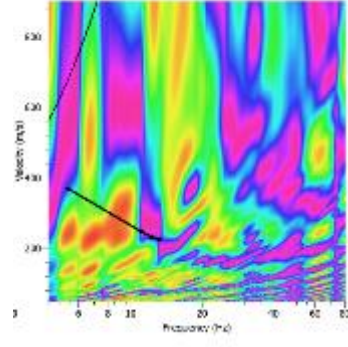
Shot at (46.6, 0, 0), time=



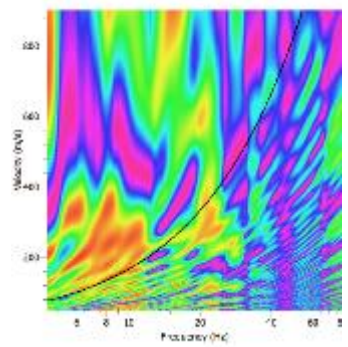
Shot at (62.6, 0, 0), time=



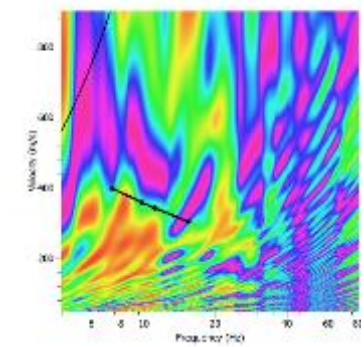
Shot at (62.6, 0, 0), time=



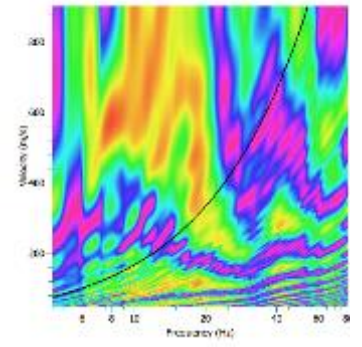
Shot at (76.15, 0, 0), time=



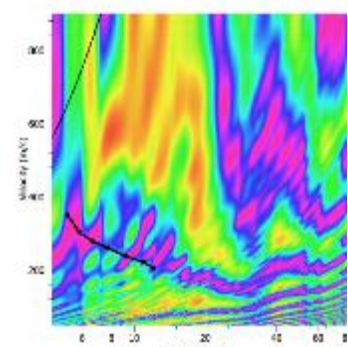
Shot at (76.17, 0, 0), time=



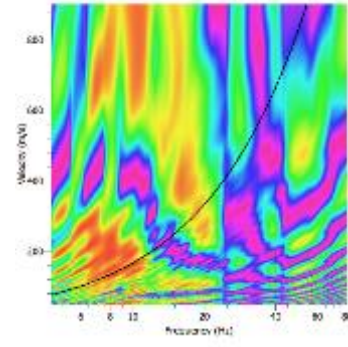
Shot at (86.0, 0, 0), time=



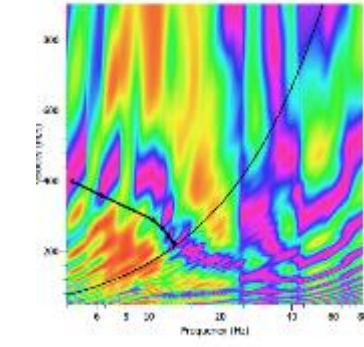
Shot at (85.8, 0, 0), time=



Shot at (112.5, 0, 0), time=



Shot at (112.5, 0, 0), time=



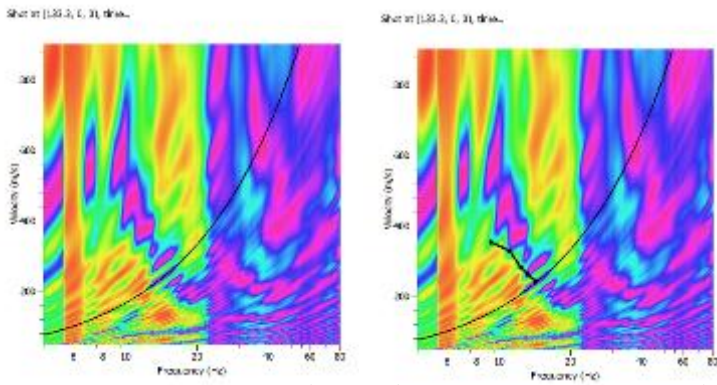


Figura A-67 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 23.

1.23.2 Curva de dispersión teórica y experimental

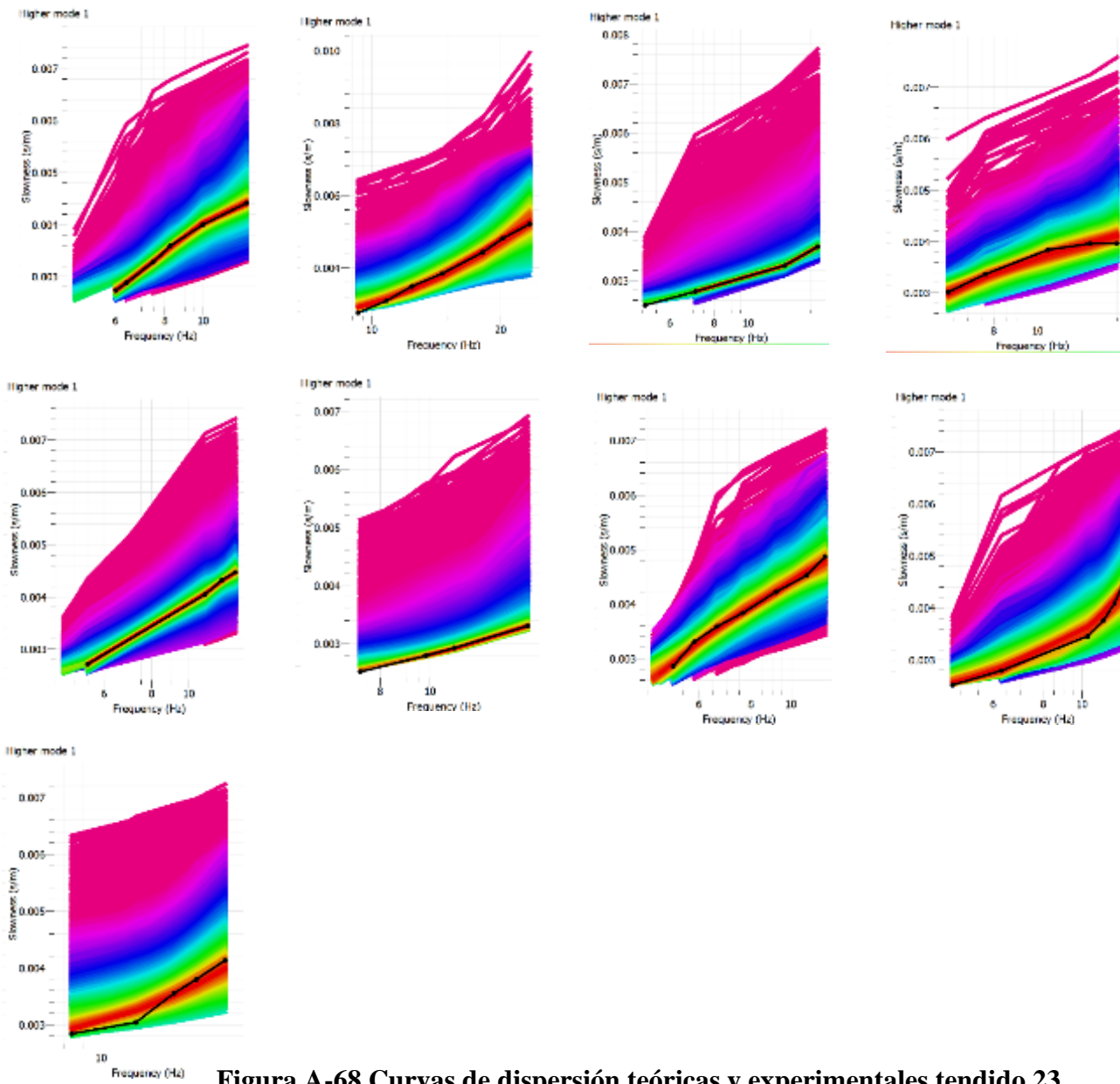


Figura A-68 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 23.

1.23.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

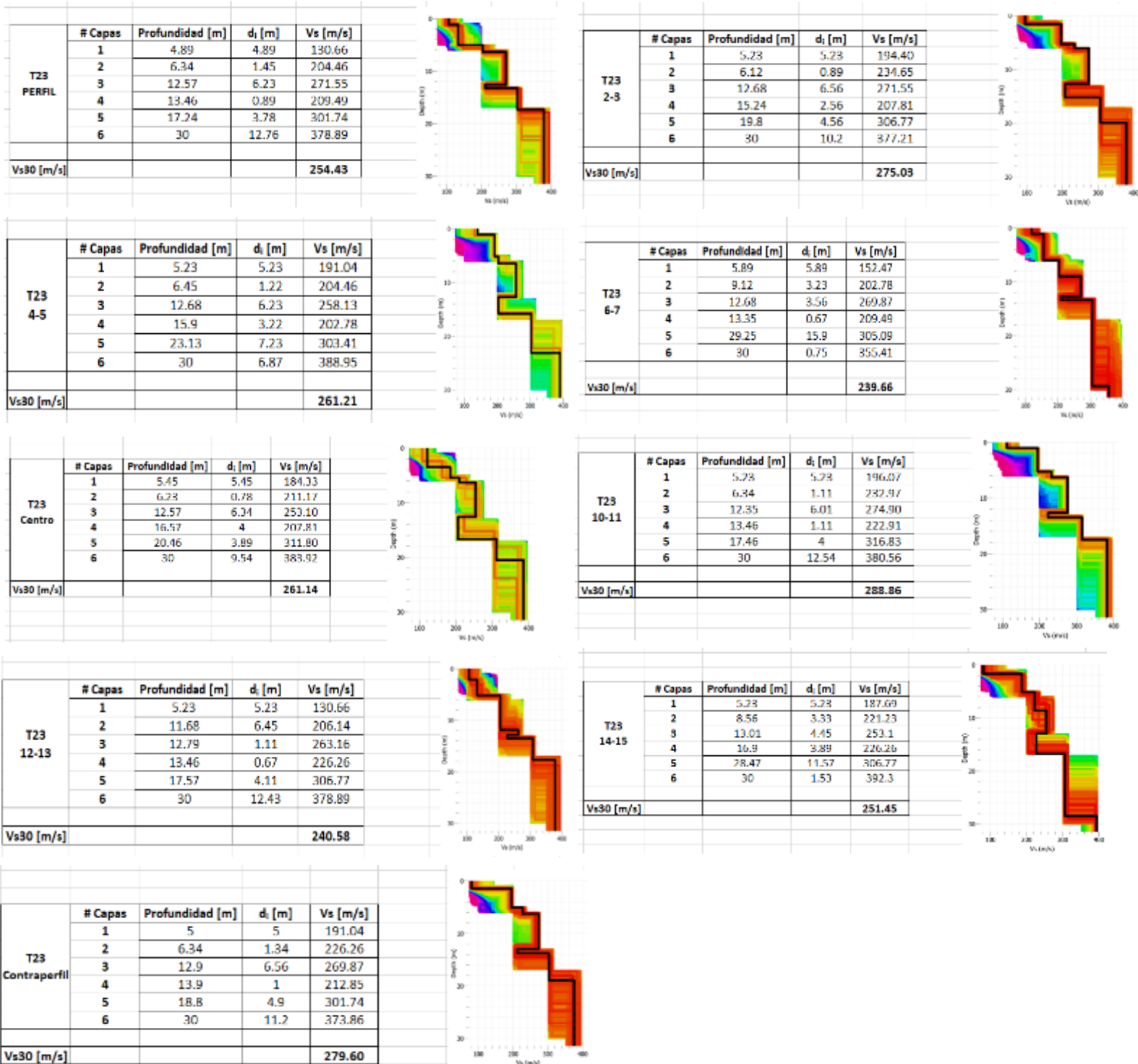
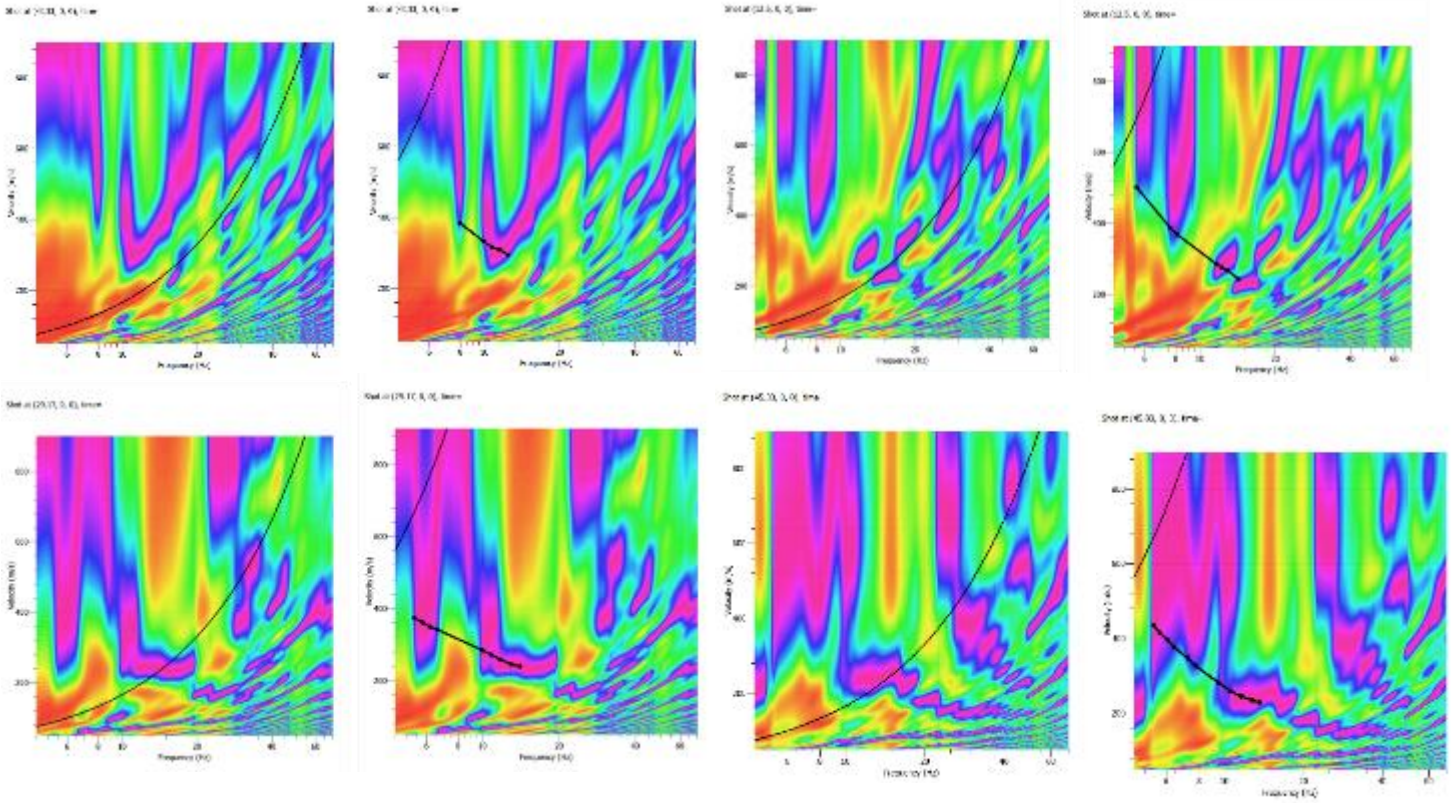


Figura A-69 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 23.

1.24 Tendido 24

TENDIDO 24			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 772574 E	17M 772505 E	17M 772430 E
	9962537 N	9962521 N	9962510 N
	3077 m	3082 m	3084 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
	14-15	112.50	
Contraperfil	133.33		

1.24.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



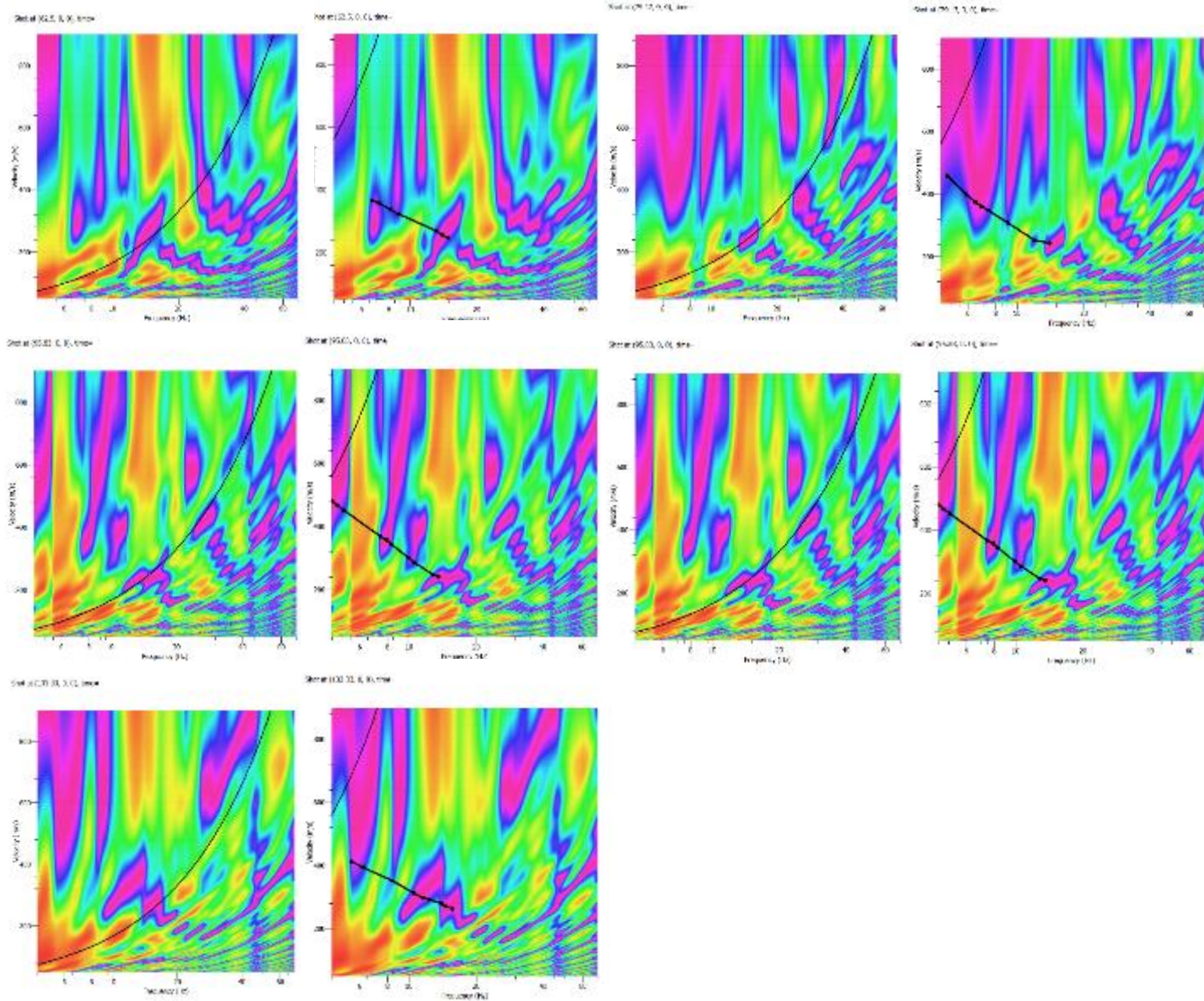
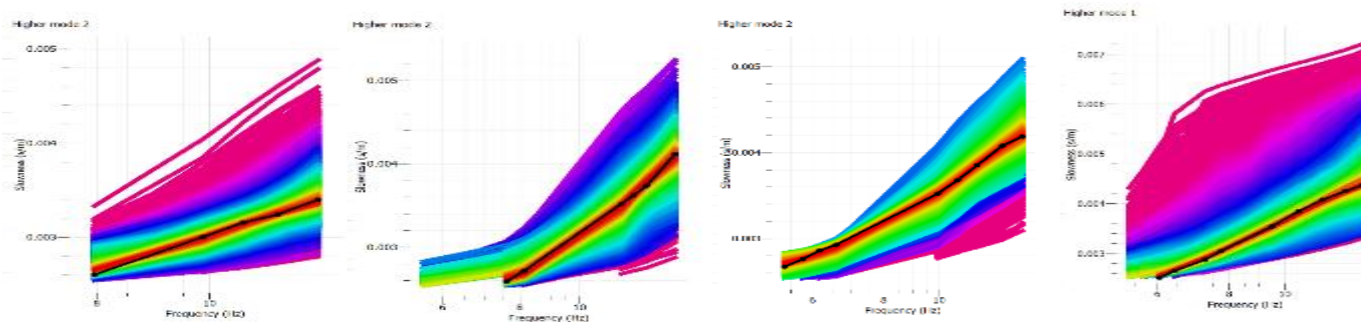


Figura A-70 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 24.

1.24.2 Curva de dispersión teórica y experimental



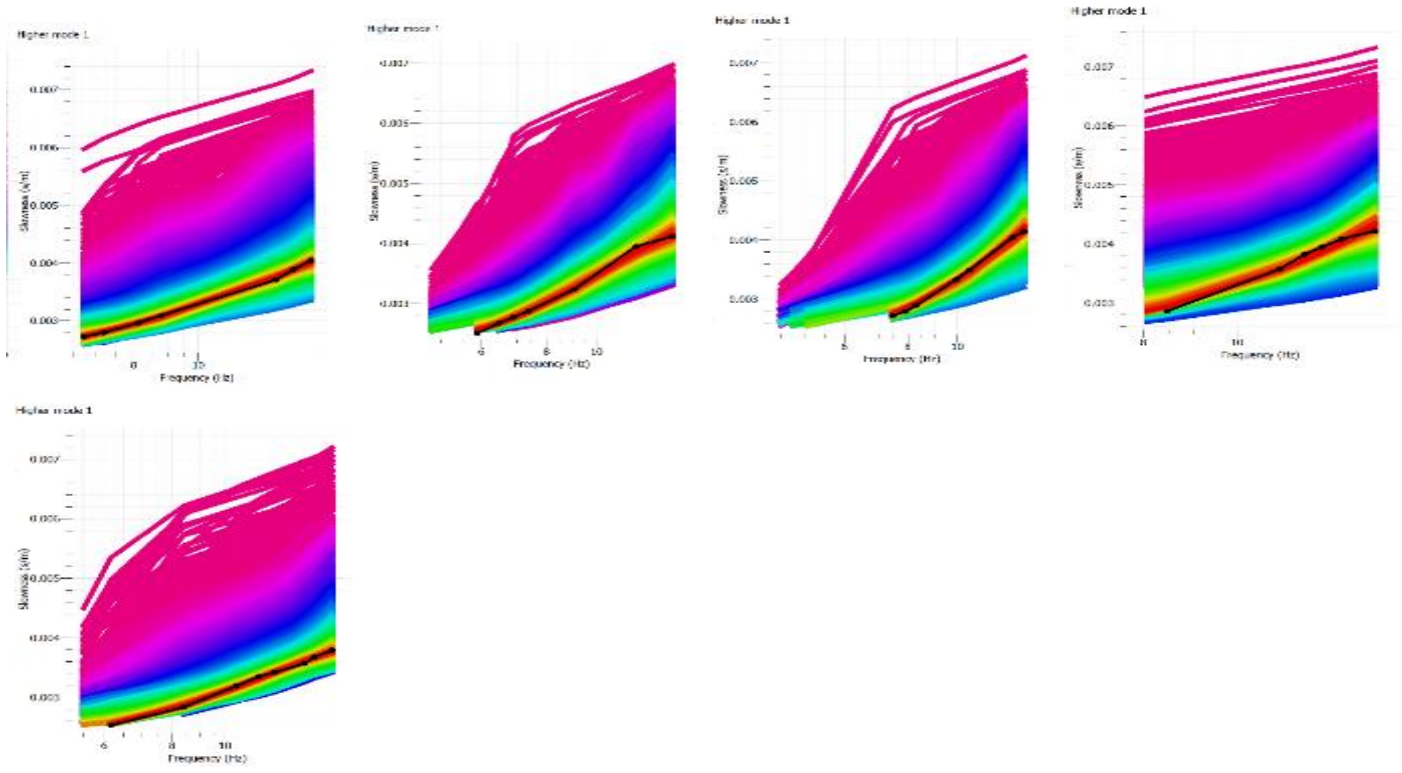
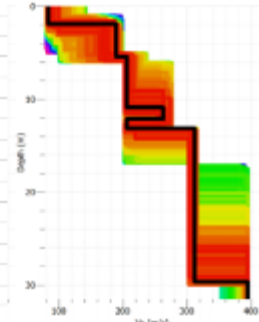


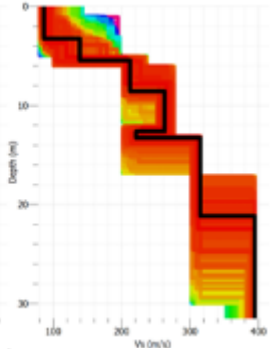
Figura A-71 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 24.

1.24.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

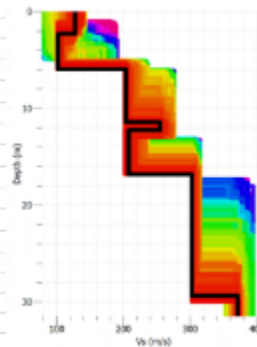
# Capas	Profundidad [m]	d _i [m]	Vs [m/s]
1	5.38	5.38	187.93
2	10.92	5.54	205.82
3	12.14	1.22	268.32
4	13.09	0.95	204.54
5	30	16.91	311.88
Vs30 [m/s]			
252.01			



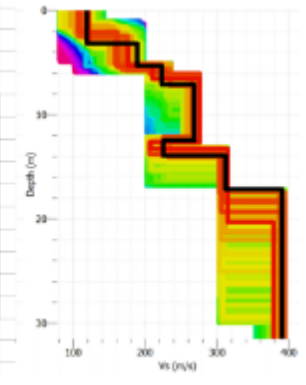
# Capas	Profundidad [m]	d _i [m]	Vs [m/s]
1	5.46	5.46	139.37
2	8.58	3.12	212.21
3	12.57	3.99	263.32
4	13.27	0.7	219.88
5	21.16	7.89	315.71
6	30	8.84	394.94
Vs30 [m/s]			
250.86			



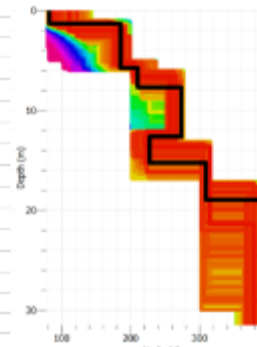
# Capas	Profundidad [m]	d _i [m]	Vs [m/s]
1	5.98	5.98	103.59
2	11.36	5.38	204.54
3	12.31	0.95	258.21
4	16.65	4.34	208.38
5	29.39	12.74	305.46
6	30	0.61	371.94
Vs30 [m/s]			
197.52			



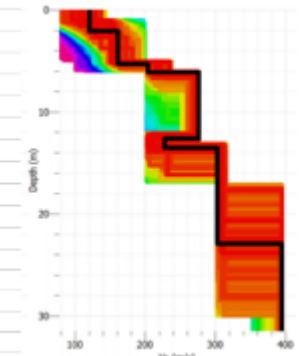
# Capas	Profundidad [m]	d _i [m]	Vs [m/s]
1	5.2	5.2	189.21
2	7.2	2	223.71
3	12.57	5.37	268.44
4	13.96	1.39	224.99
5	17.17	3.21	311.88
6	30	12.83	391.11
Vs30 [m/s]			
283.82			



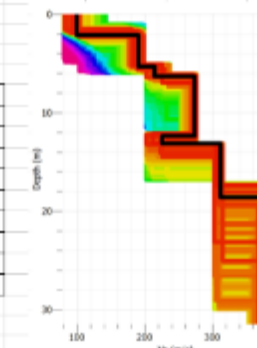
# Capas	Profundidad [m]	d _i [m]	Vs [m/s]
1	5.72	5.72	185.38
2	7.72	2.00	209.65
3	12.66	4.94	273.55
4	15.26	2.60	227.54
5	18.99	3.73	309.33
6	30.00	11.01	391.11
Vs30 [m/s]			
272.51			



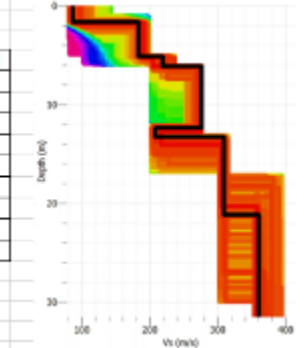
# Capas	Profundidad [m]	d _i [m]	Vs [m/s]
1	5.20	5.20	161.10
2	6.16	0.96	203.27
3	12.57	6.41	276.10
4	13.44	0.87	226.27
5	22.89	9.45	302.94
6	30.00	7.11	393.66
Vs30 [m/s]			
264.74			



# Capas	Profundidad [m]	d _i [m]	Vs [m/s]
1	5.29	5.29	190.49
2	6.33	1.04	214.77
3	12.4	6.07	273.55
4	13.09	0.69	223.71
5	18.56	5.47	311.88
6	30	11.44	375.77
Vs30 [m/s]			
283.37			



# Capas	Profundidad [m]	d _i [m]	Vs [m/s]
1	5.12	5.12	182.82
2	6.16	1.04	218.6
3	12.4	6.24	277.38
4	13.27	0.87	207.1
5	21.16	7.89	309.33
6	30	8.84	360.44
Vs30 [m/s]			
273.99			



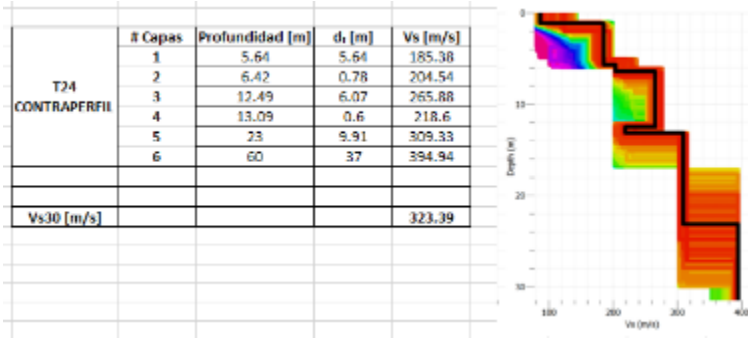
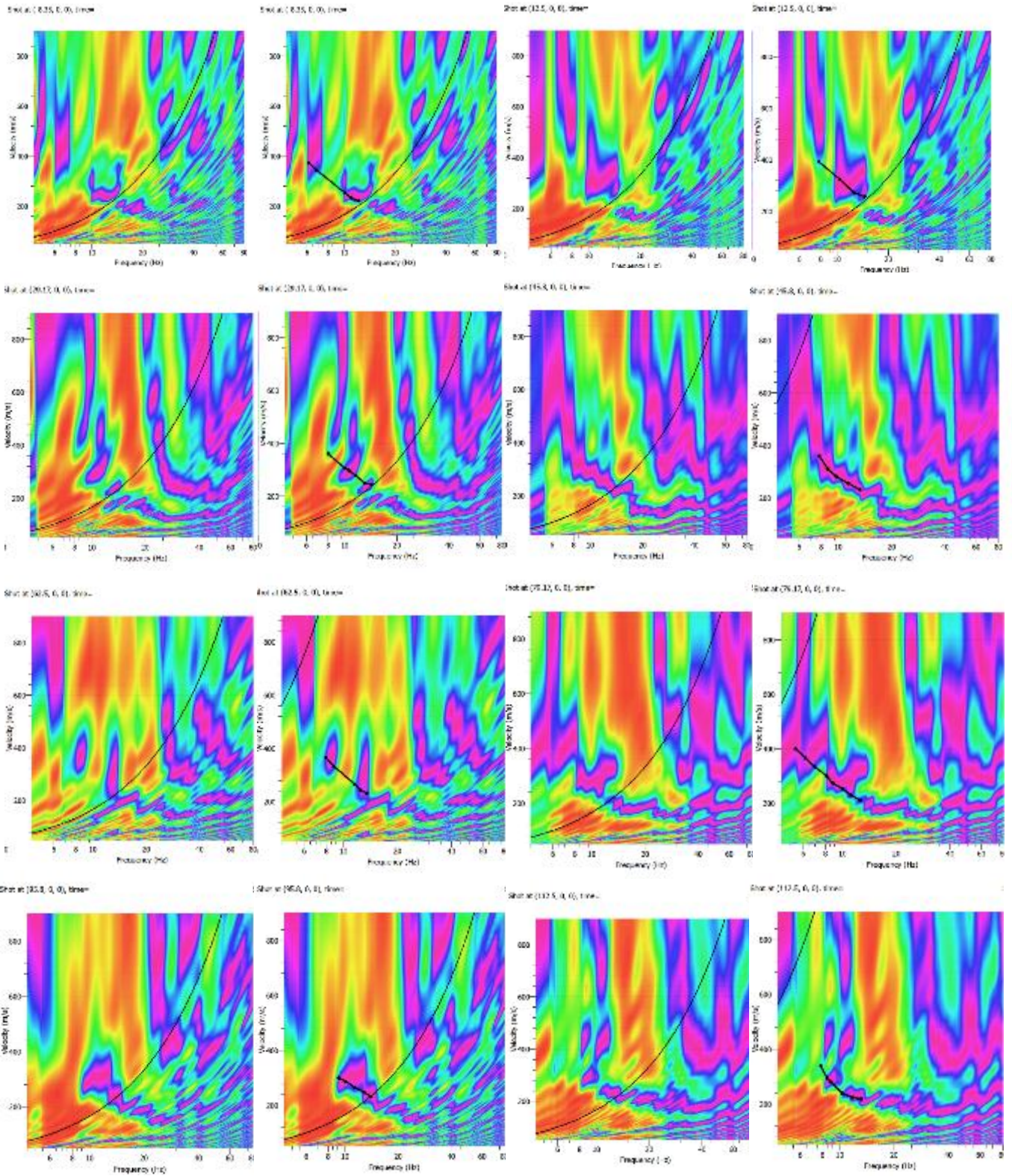


Figura A-72 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 24.

1.25 Tendido 25

TENDIDO 25			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 772537 E	17M 772522 E	17M 772509 E
	9962537 N	9962614 N	9962680 N
	3077 m	3079 m	3077 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
	14-15	112.50	
Contraperfil	133.33		

1.25.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



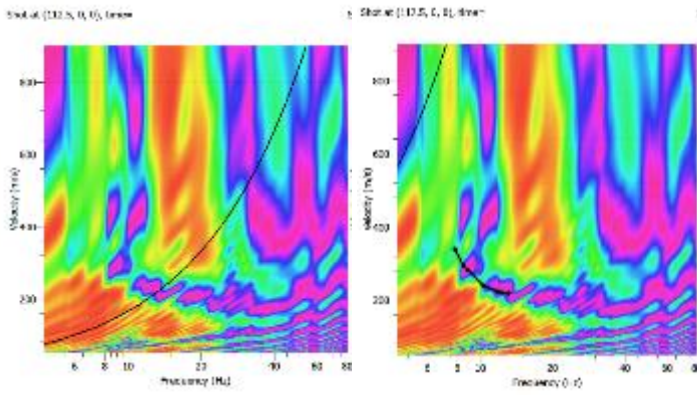


Figura A-73 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 25.

1.25.2 Curva de dispersión teórica y experimental

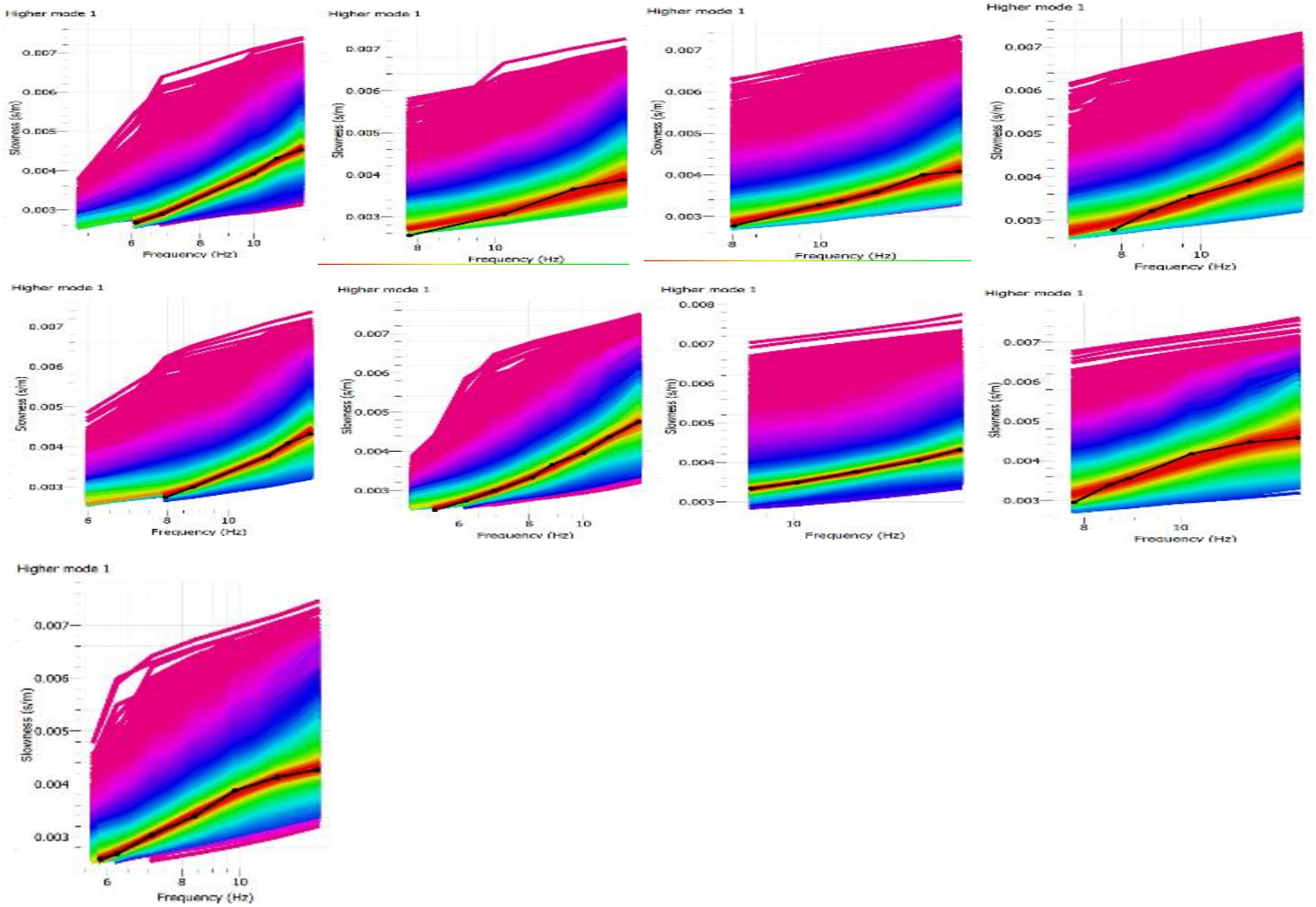


Figura A-74 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 25.

1.25.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

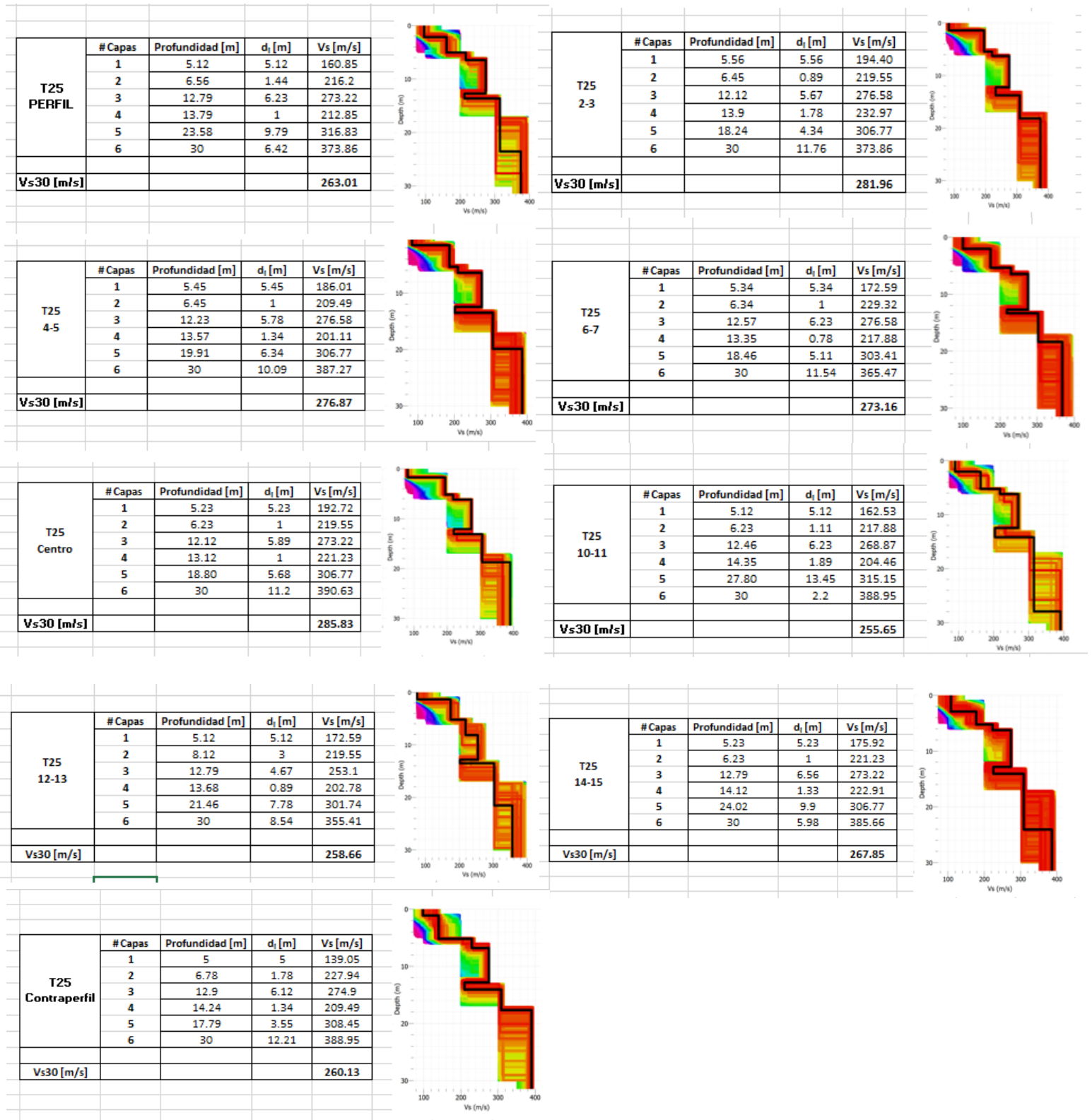
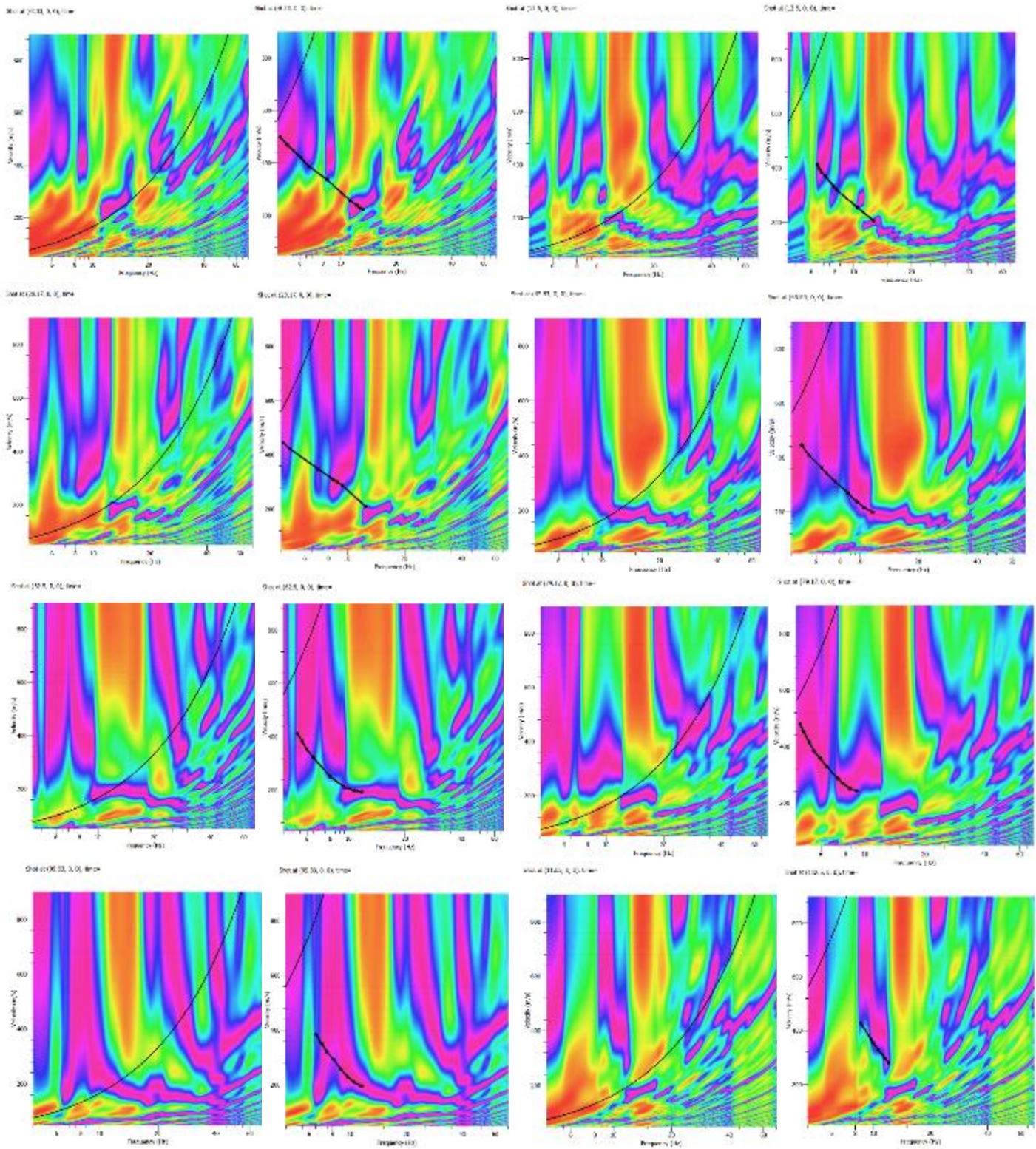


Figura A-75 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 25.

1.26 Tendido 26

TENDIDO 26			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 772940 E	17M 772923 E	17M 772910 E
	9962446 N	9962519 N	9962584 N
	3048 m	3048 m	3044 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS		Geófonos	Distancia (m)
		Perfil	-8.33
		2-3	12.50
		4-5	29.17
		6-7	45.83
		8-9	62.50
		10-11	79.17
		12-13	95.83
		14-15	112.50
		Contraperfil	133.33

1.26.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



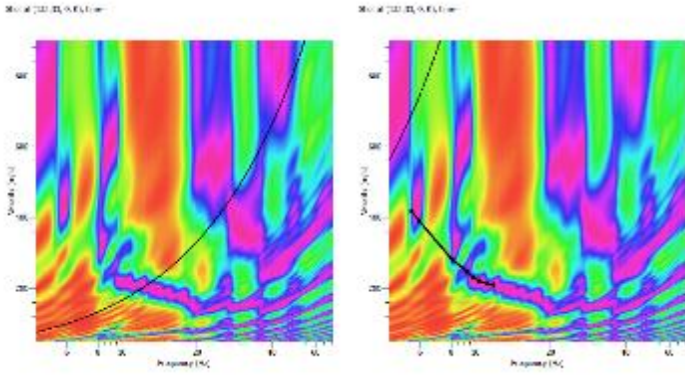
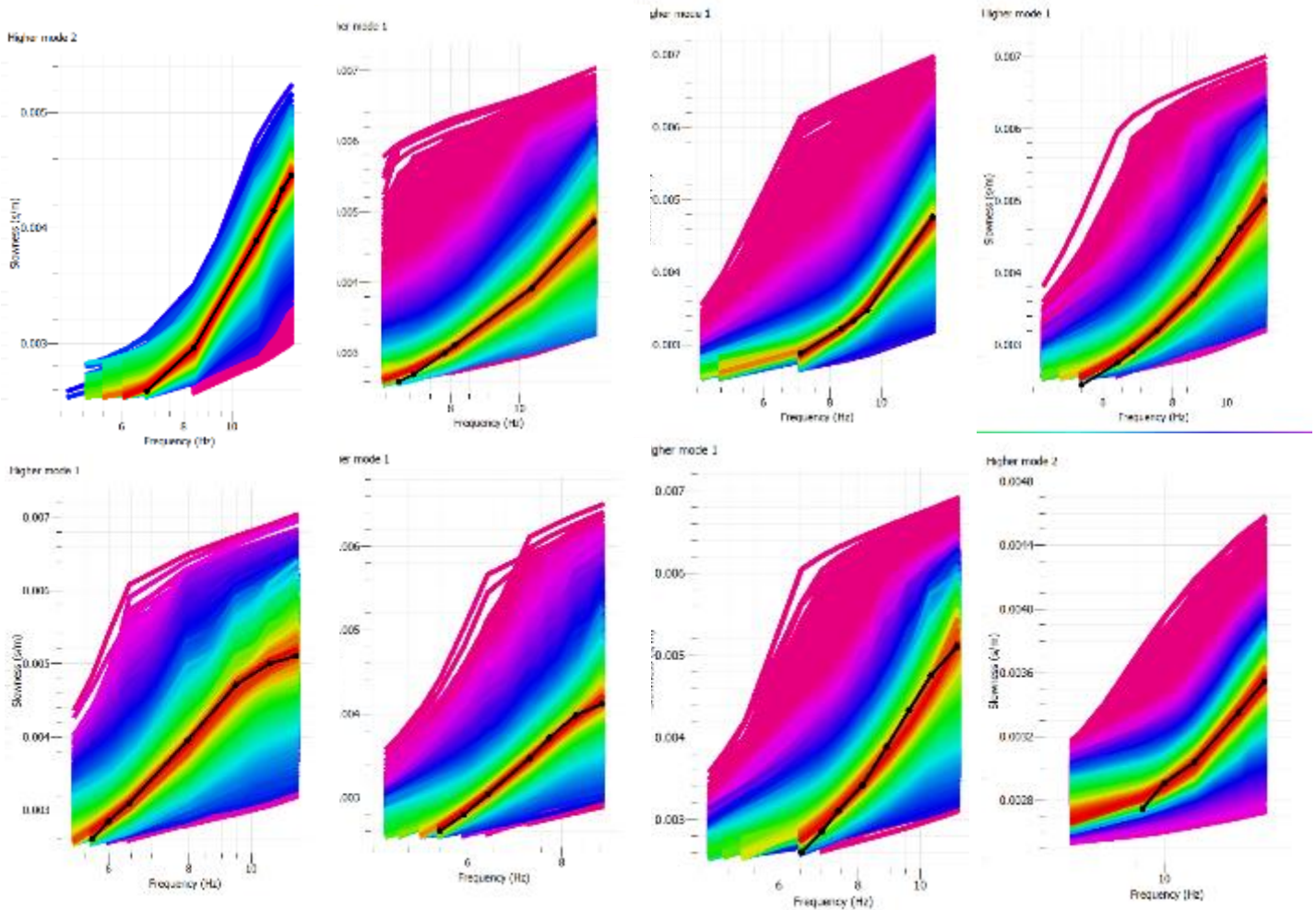


Figura A-76 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 26.

1.26.2 Curva de dispersión teórica y experimental



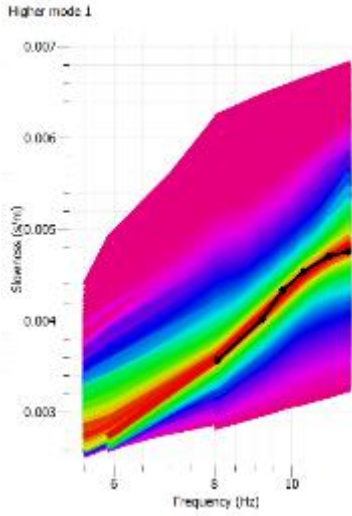
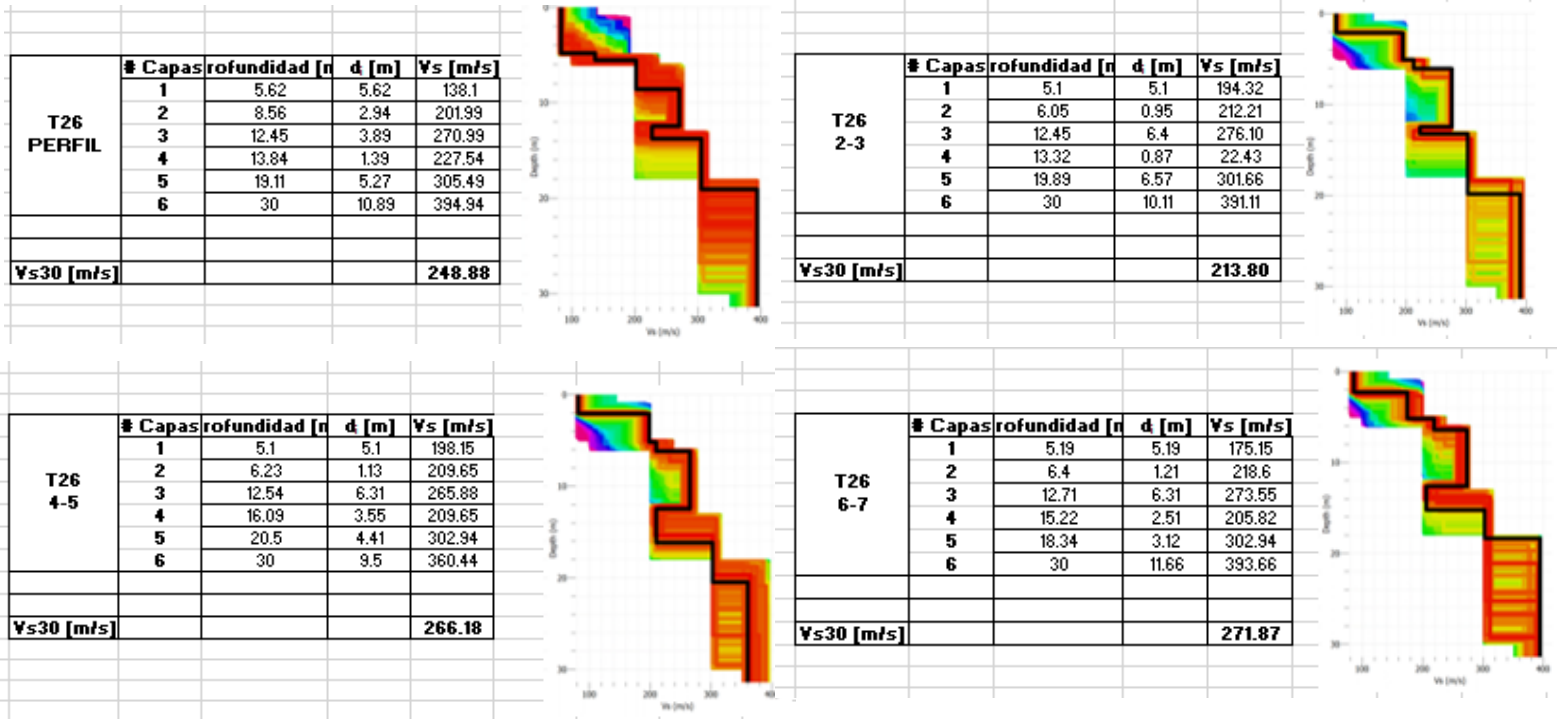


Figura A-77 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 26.

1.26.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30



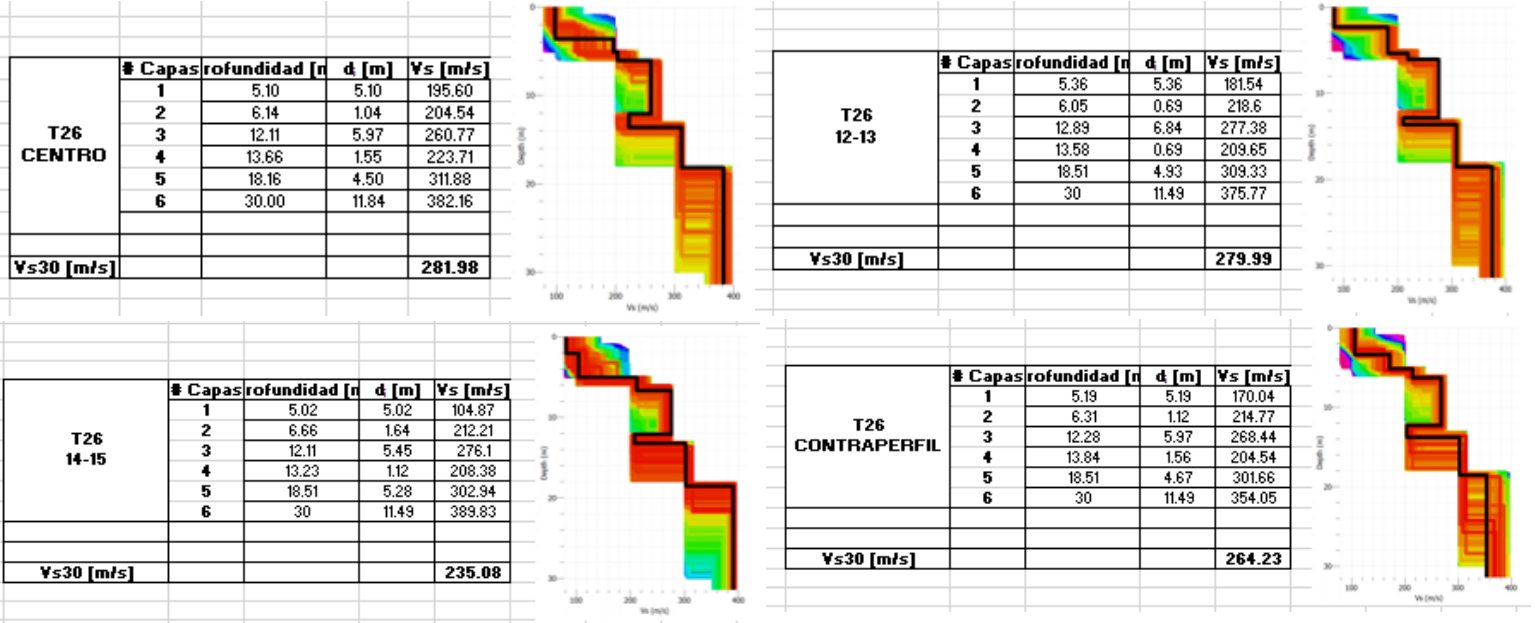
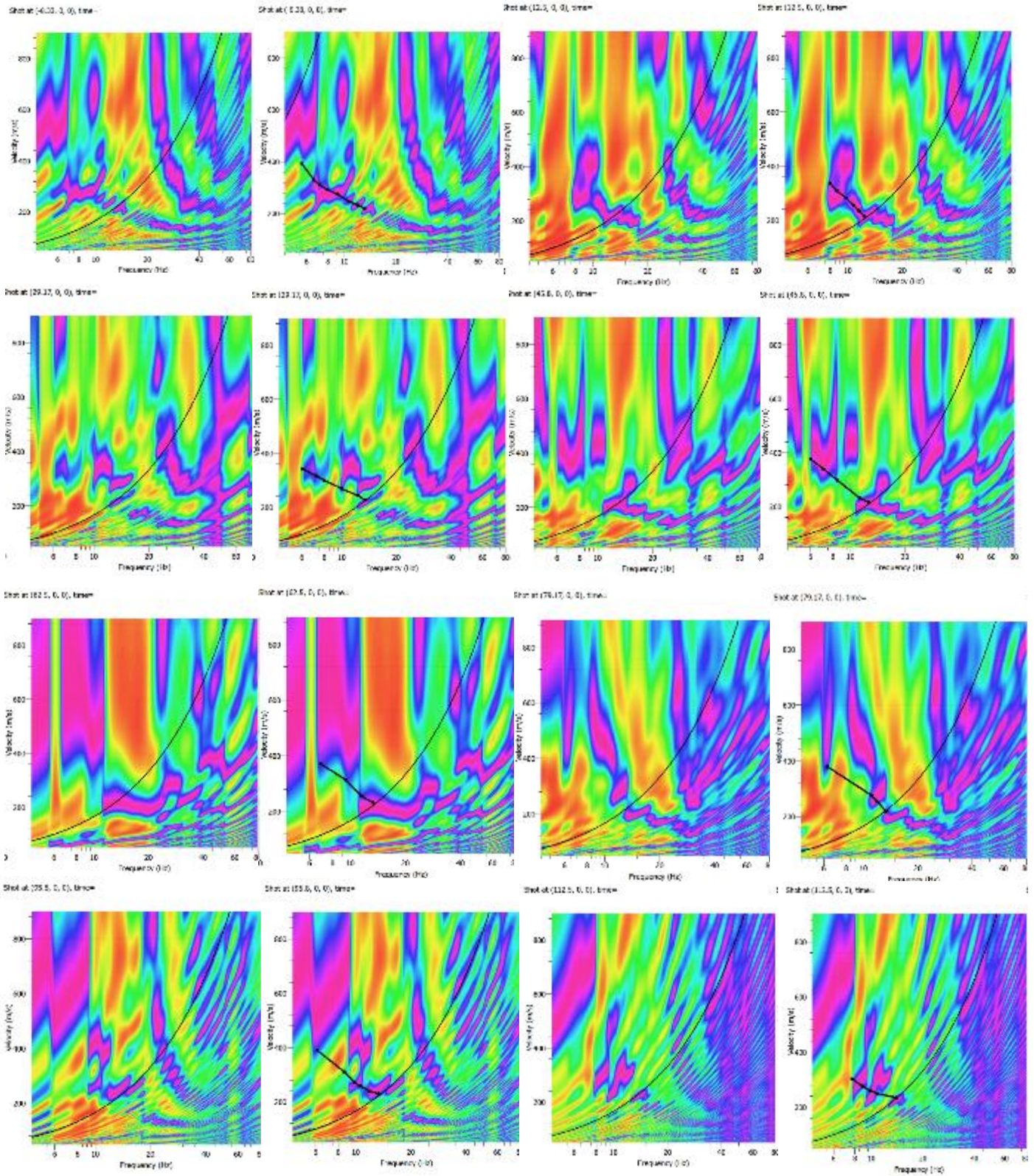


Figura A-78 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 26.

1.27 Tendido 27

TENDIDO 27			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 773091 E	17M 773022 E	17M 7729605 E
	9962629 N	9962618 N	9962605 N
	3037 m	3040 m	3059 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
14-15	112.50		
Contraperfil	133.33		

1.27.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



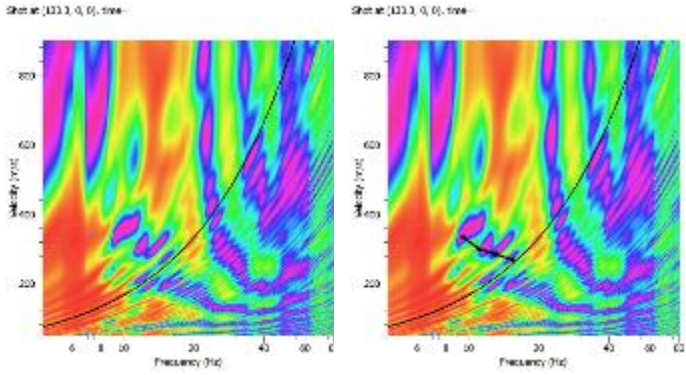
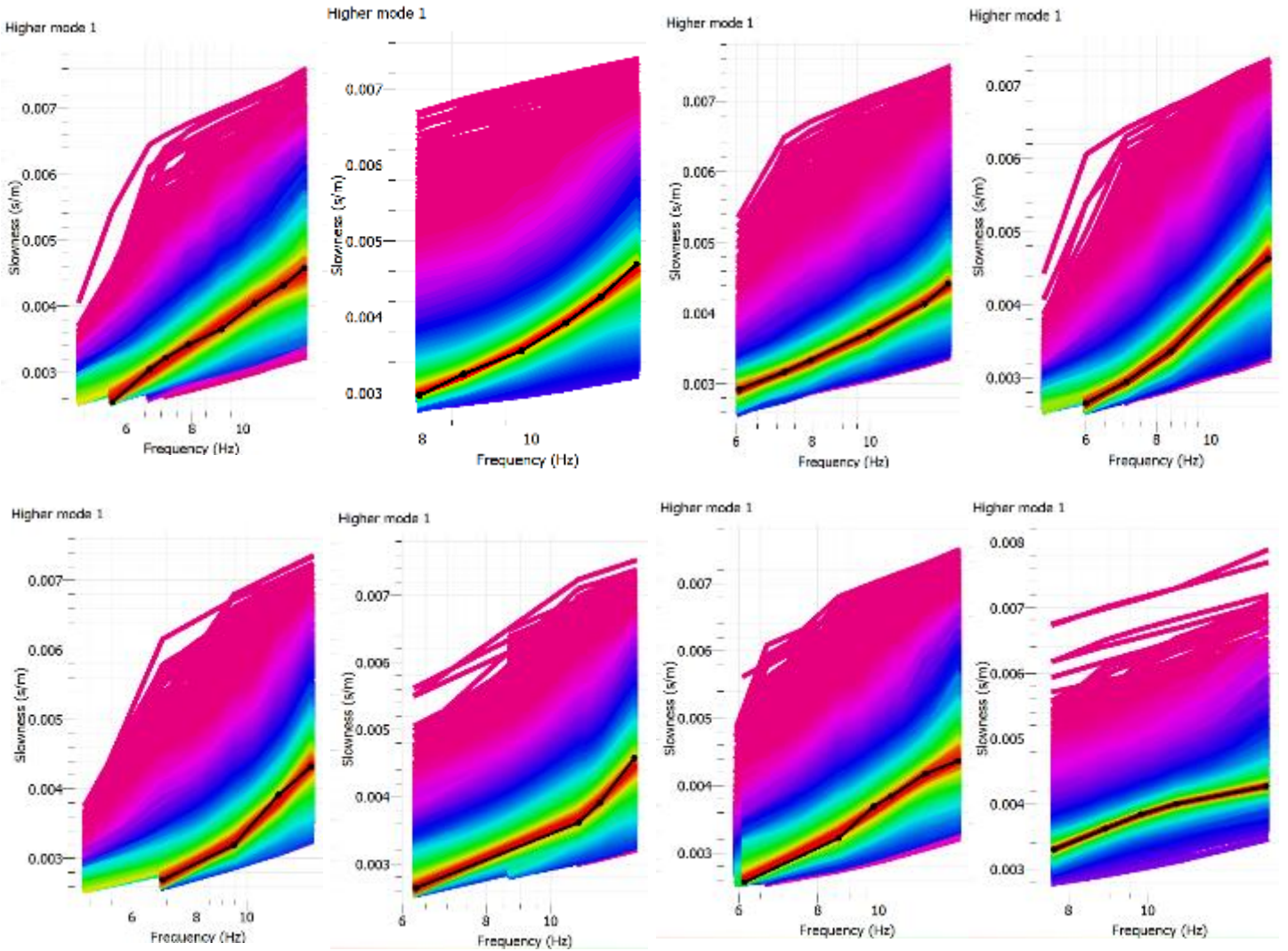


Figura A-79 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 27.

1.27.2 Curva de dispersión teórica y experimental



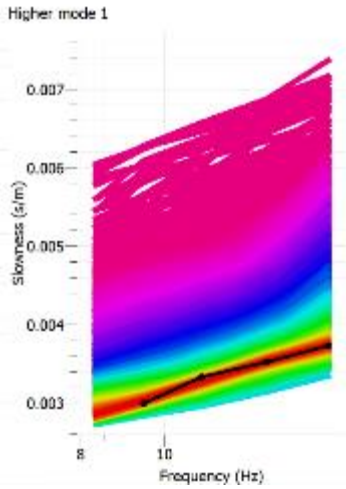
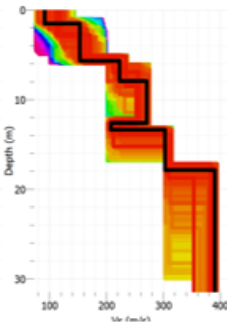


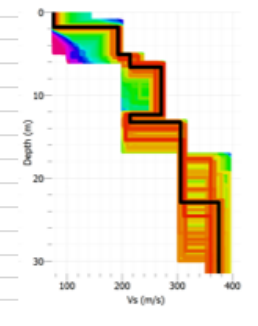
Figura A-80 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 27.

1.27.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

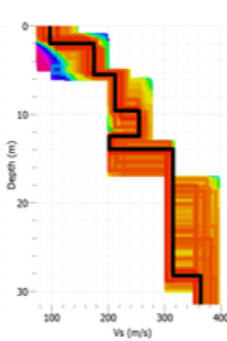
	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
T27 PERFIL	1	5.56	5.56	152.47
	2	7.79	2.23	222.91
	3	12.46	4.67	271.55
	4	13.46	1	206.14
	5	17.79	4.33	303.41
	6	30	12.21	388.95
Vs30 [m/s]				262.74



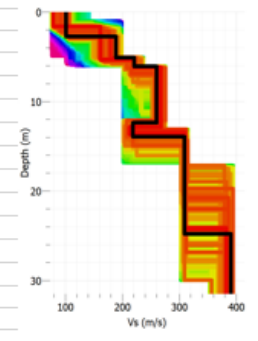
	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
T27 2-3	1	5.12	5.12	191.04
	2	6.78	1.66	212.85
	3	12.12	5.34	269.87
	4	13.35	1.23	214.52
	5	22.8	9.45	305.09
	6	30	7.2	373.86
Vs30 [m/s]				271.85



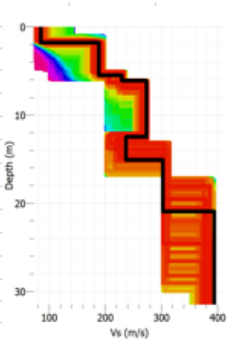
	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
T27 4-5	1	5.45	5.45	172.59
	2	9.45	4	211.17
	3	12.23	2.78	253.10
	4	13.9	1.67	201.11
	5	28.25	14.35	313.48
	6	30	1.75	363.79
Vs30 [m/s]				249.18



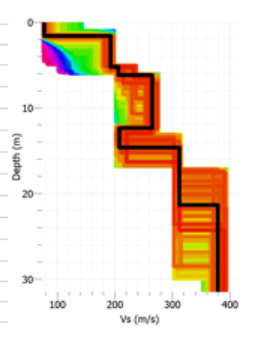
	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
T27 6-7	1	5	5	189.37
	2	6.01	1.01	221.23
	3	12.23	6.22	256.45
	4	14.01	1.78	219.55
	5	24.8	10.79	308.45
	6	30	5.2	388.95
Vs30 [m/s]				268.62



	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
T27 Centro	1	5.45	5.45	187.69
	2	6.12	0.67	229.62
	3	12.35	6.23	271.55
	4	15.24	2.89	234.65
	5	20.80	5.56	303.41
	6	30	9.2	393.98
Vs30 [m/s]				275.51



	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
T27 10-11	1	5.34	5.34	191.04
	2	6.34	1	204.46
	3	12.35	6.01	264.84
	4	14.68	2.33	206.14
	5	21.13	6.45	311.80
	6	30	8.87	377.21
Vs30 [m/s]				270.17



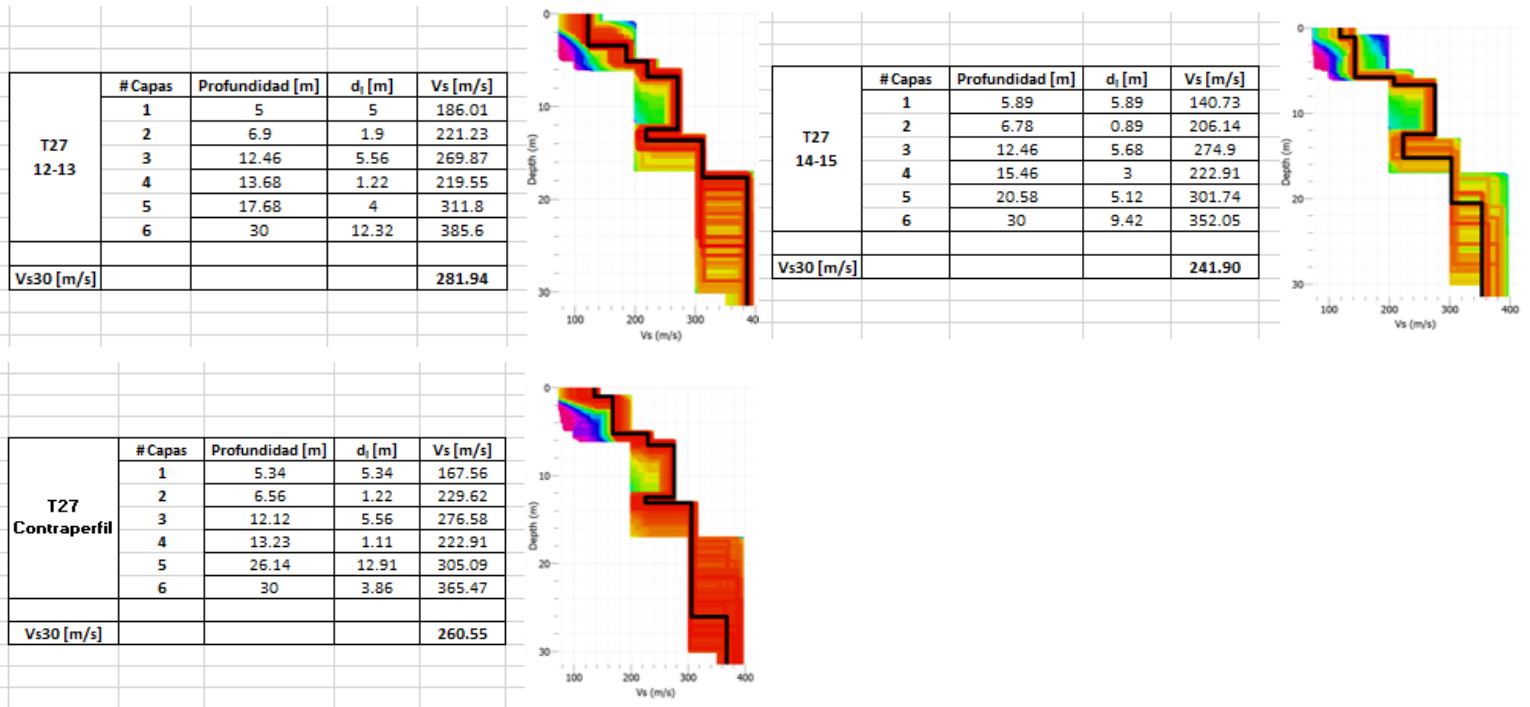
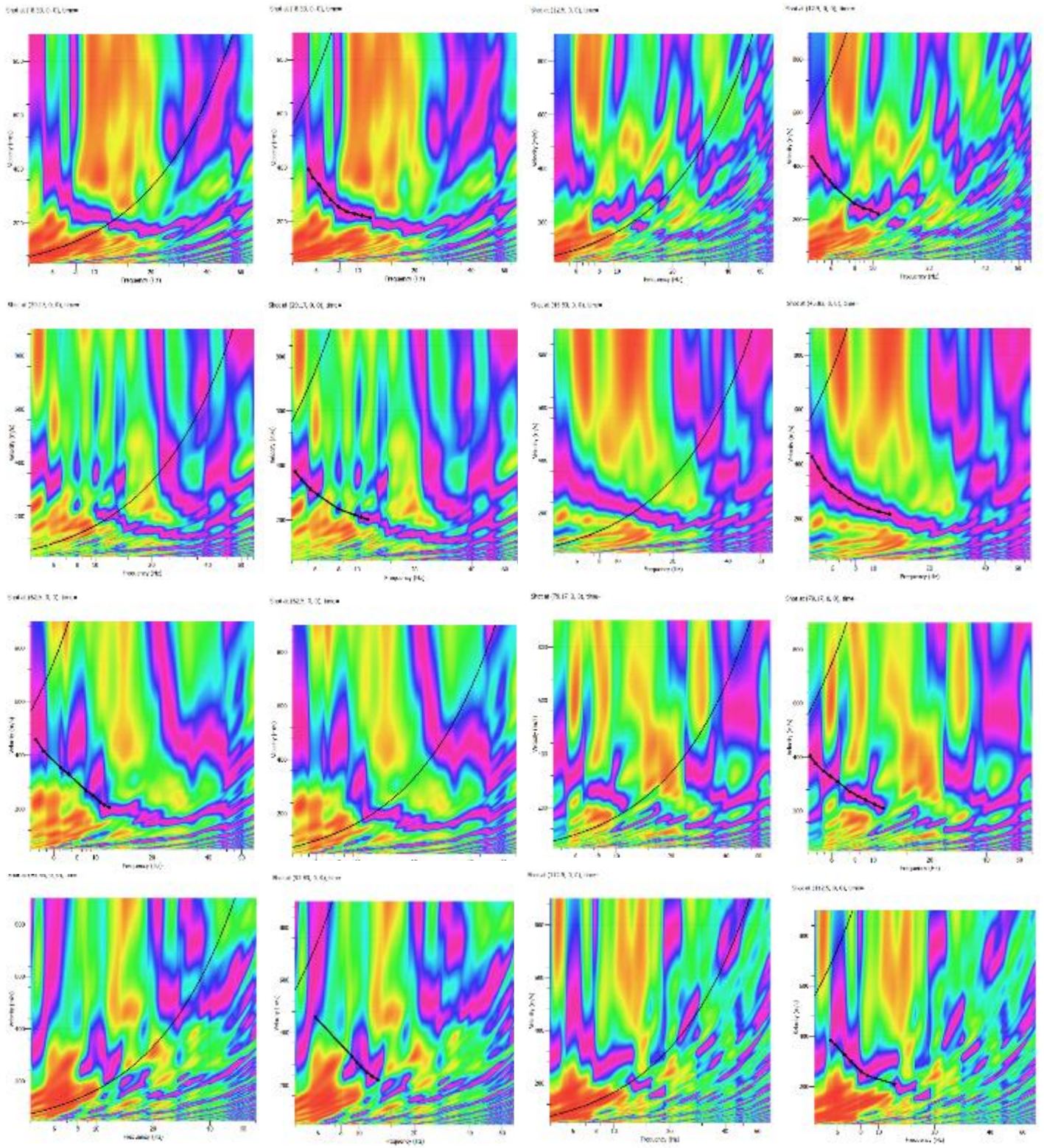


Figura A-81 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 27.

1.28 Tendido 28

TENDIDO 28			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 773047 E	17M 773036 E	17M 773020 E
	9962636 N	9962706 N	9962782 N
	3044 m	3044 m	3052 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.33	
	2-3	12.50	
	4-5	29.17	
	6-7	45.83	
	8-9	62.50	
	10-11	79.17	
	12-13	95.83	
14-15	112.50		
Contraperfil	133.33		

1.28.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



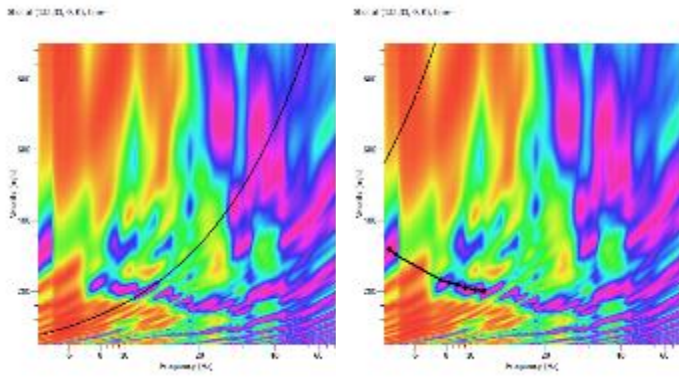


Figura A-82 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 28.

1.28.2 Curva de dispersión teórica y experimental

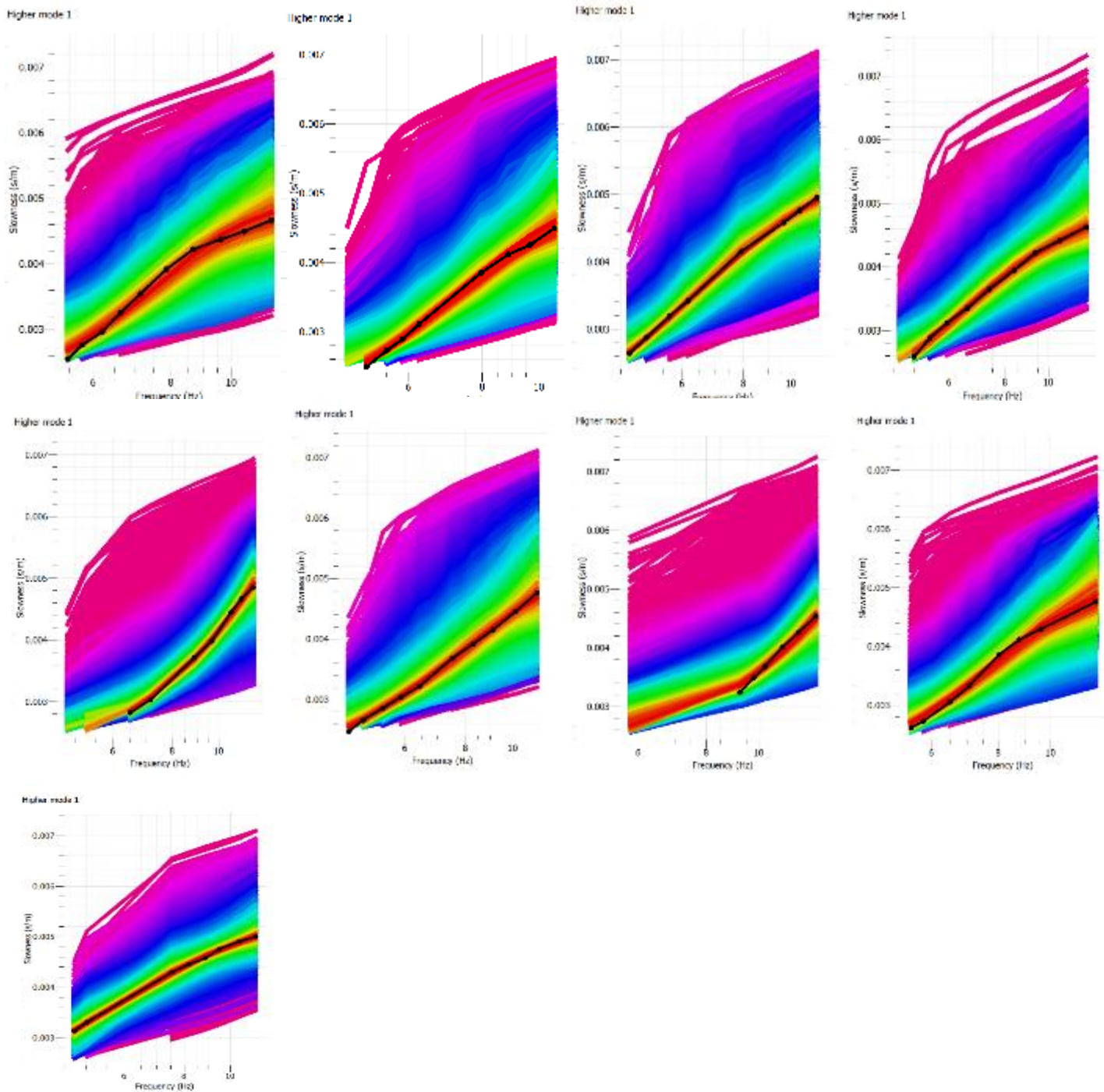


Figura A-83 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 28.

1.28.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

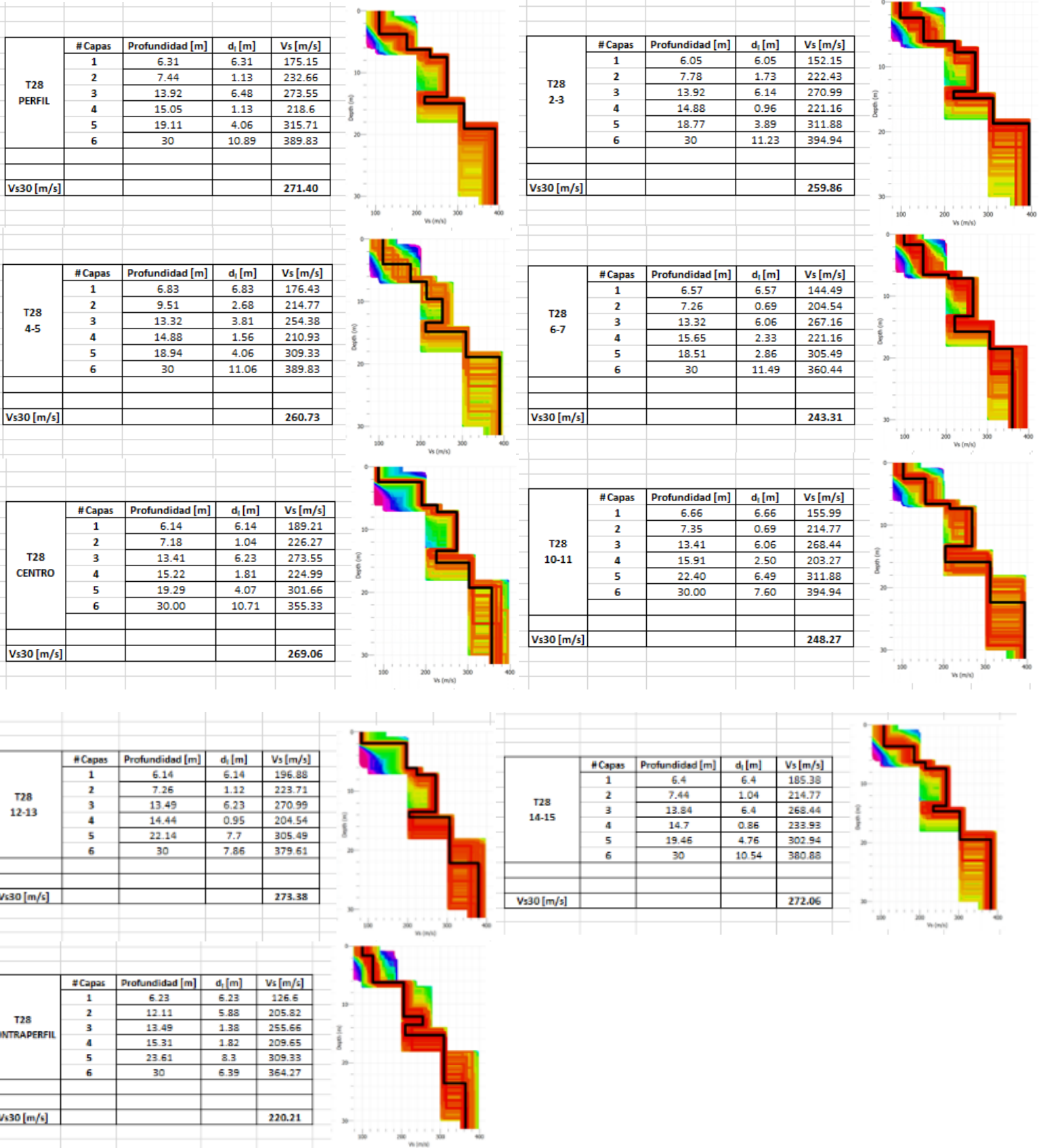
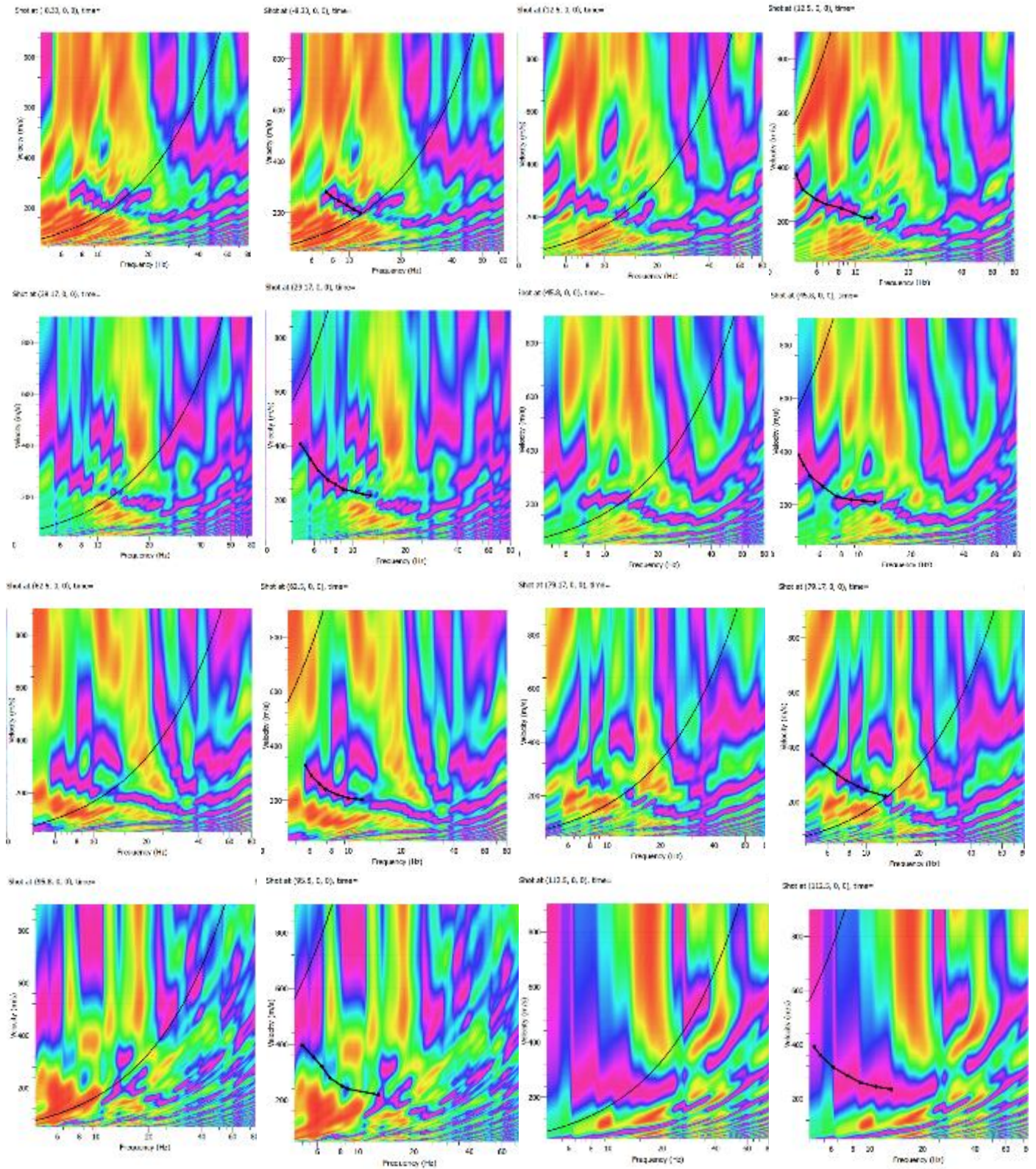


Figura A-84 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 28.

1.29 Tendido 29

TENDIDO 29			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 773141 E	17M 773136 E	17M 773127 E
	9962653 N 3038 m	9962723 N 3039 m	9962797 N 3034 m
LONGITUD	125 m		
DISPAROS		Geófonos	Distancia (m)
		Perfil	-8.33
		2-3	12.50
		4-5	29.17
		6-7	45.83
		8-9	62.50
		10-11	79.17
		12-13	95.83
		14-15	112.50
		Contraperfil	133.33

1.29.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



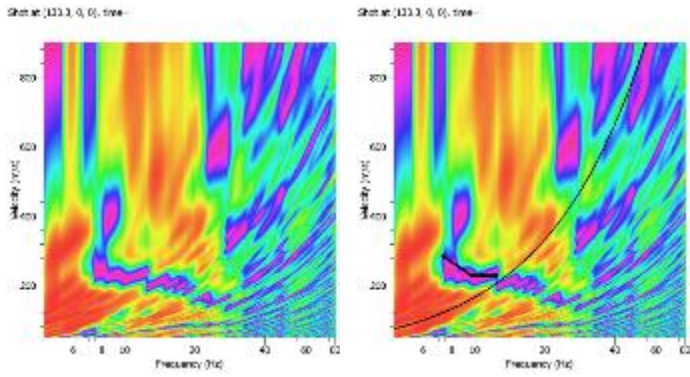
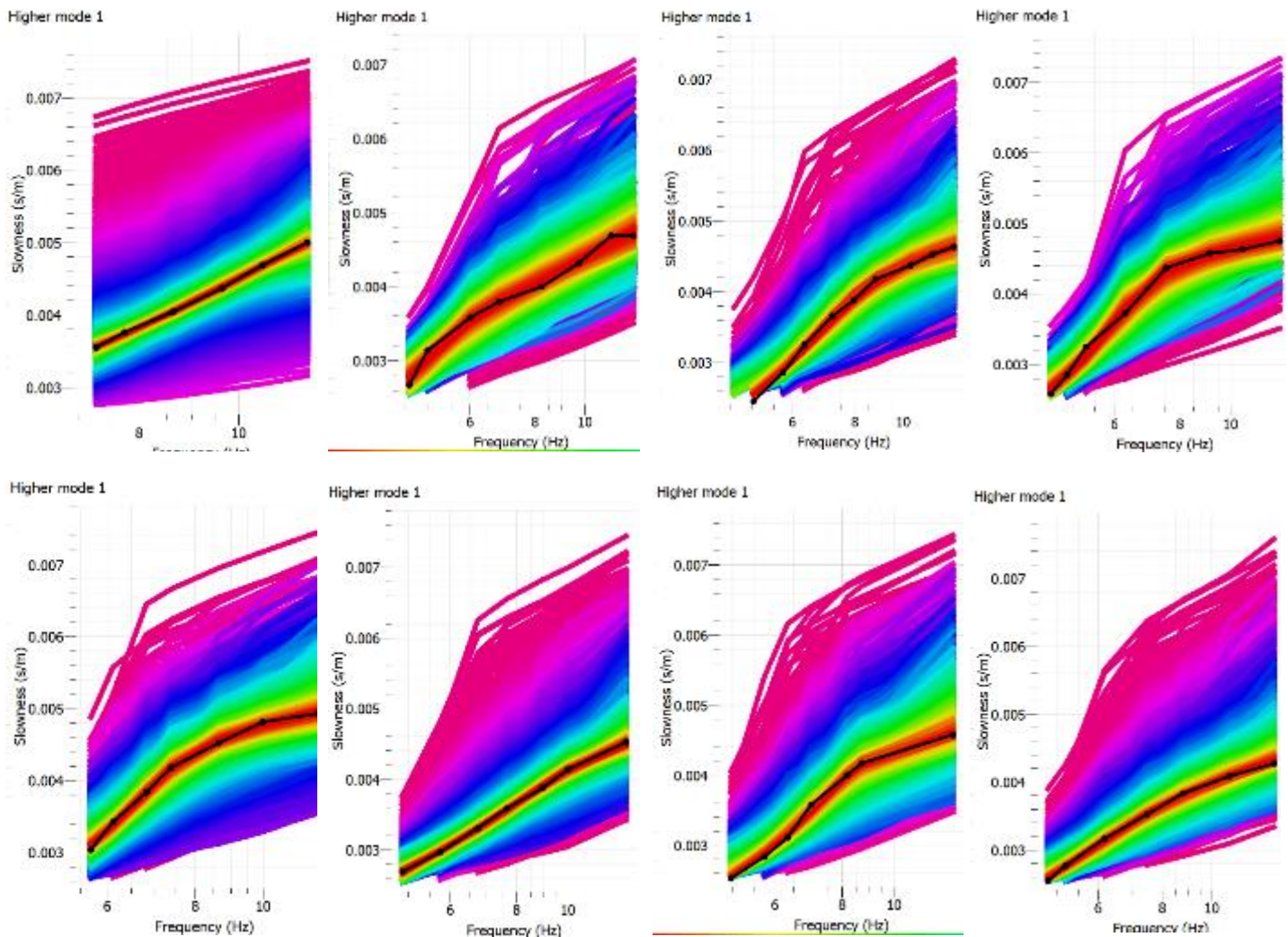


Figura A-85 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 29.

1.29.2 Curva de dispersión teórica y experimental



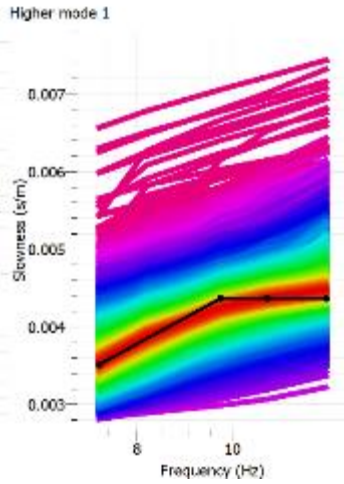
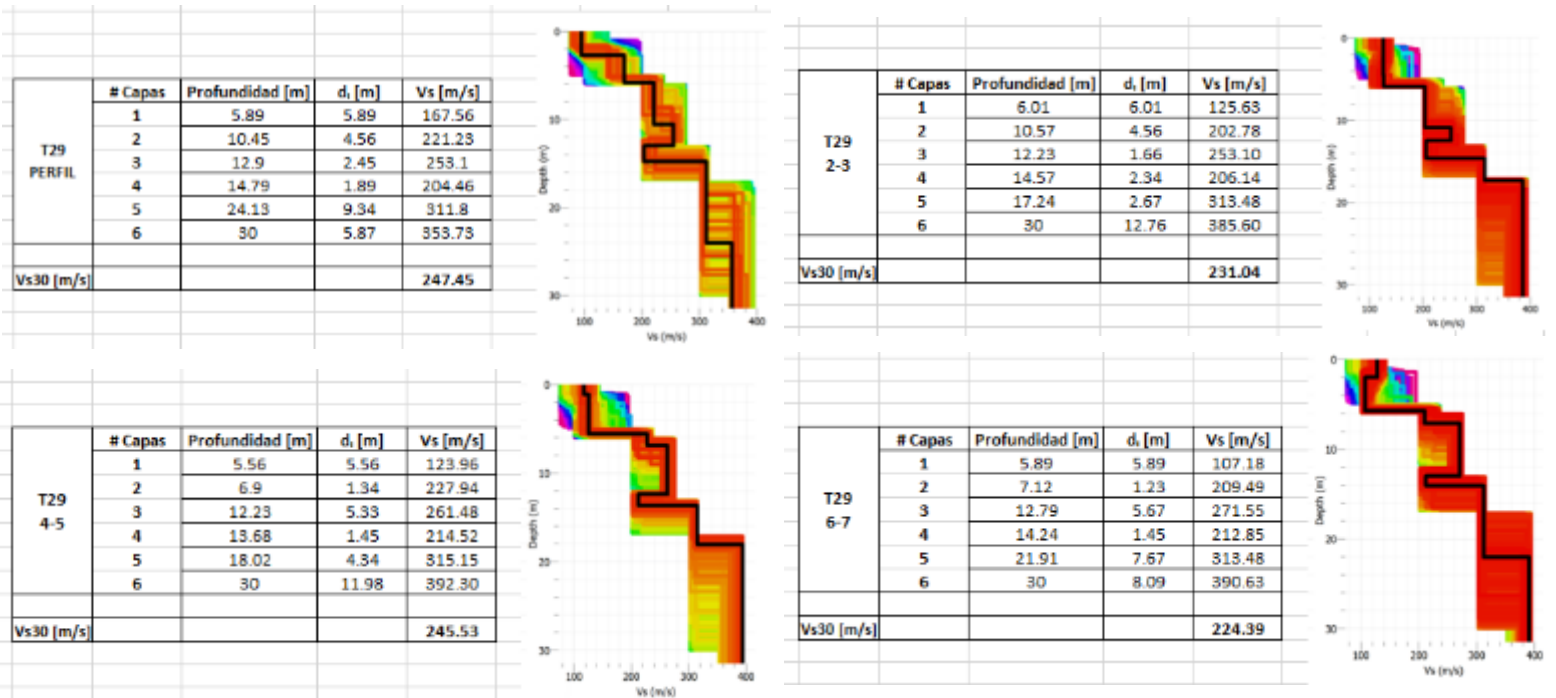


Figura A-86 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 29.

1.29.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30



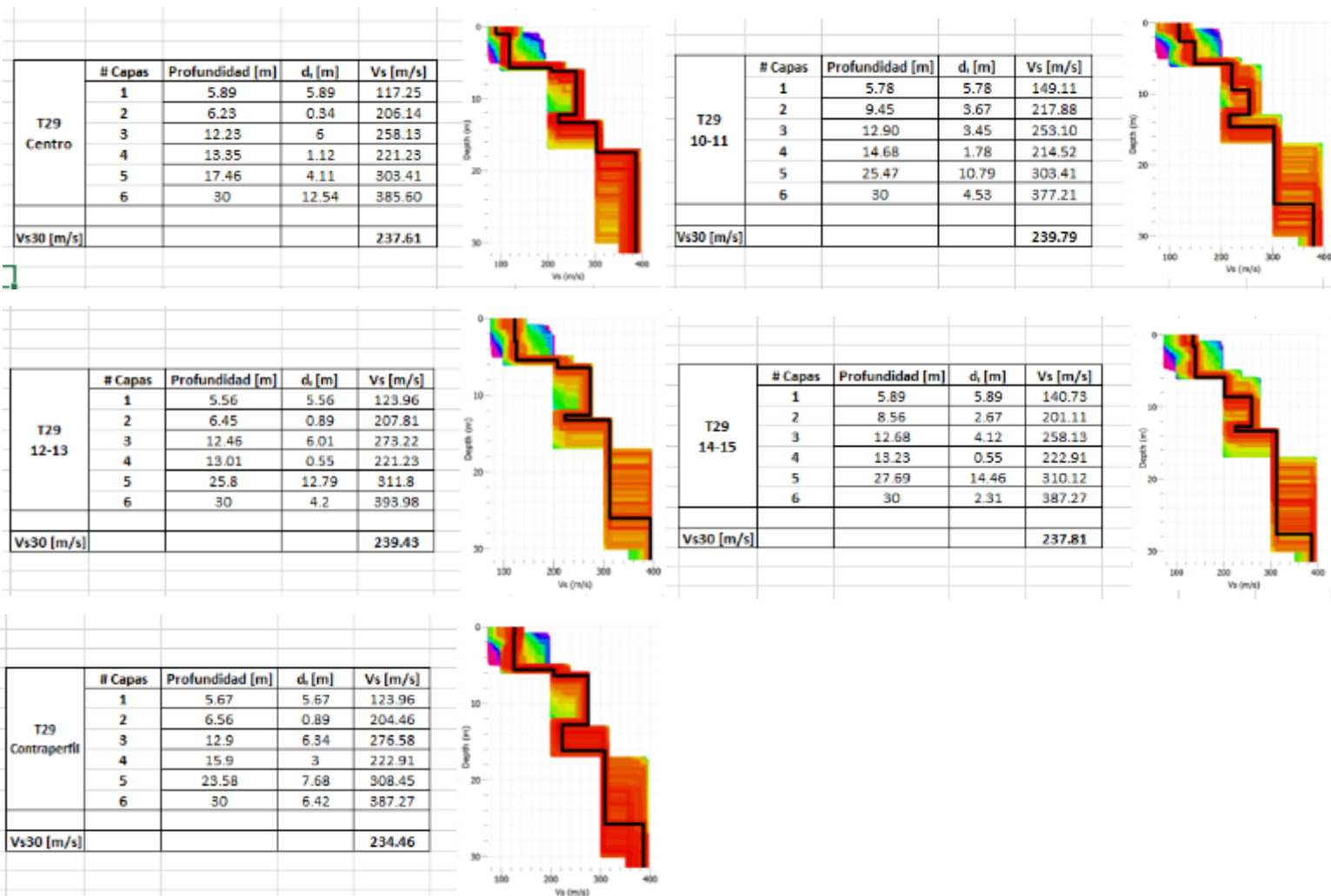
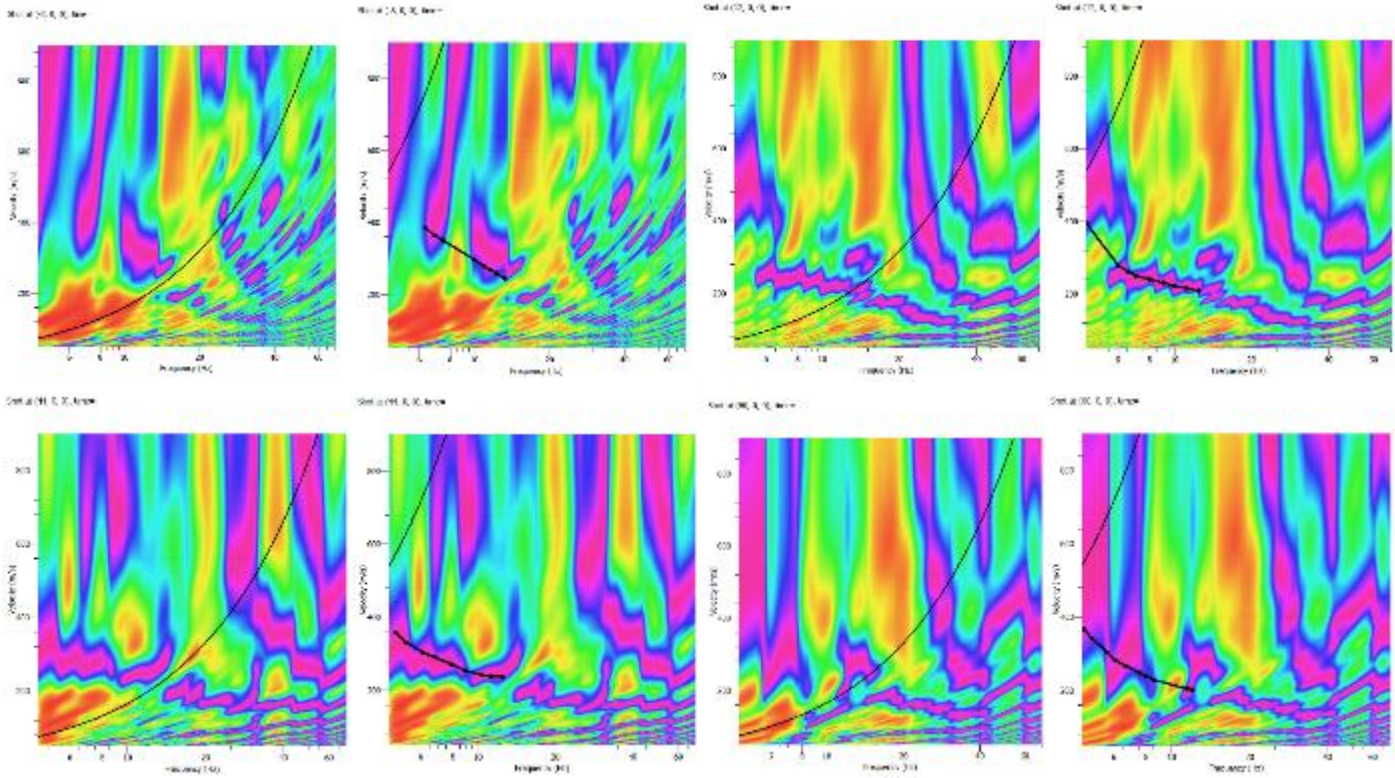


Figura A-87 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 29.

1.30 Tendido 30

TENDIDO 30			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 773299 E	17M 773305 E	17M 773307 E
	9962507 N	9962632 N	9962766 N
	3036 m	3032 m	3036 m
LONGITUD	120 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.00	
	2-3	12.00	
	6-7	44.00	
	8-9	60.00	
	10-11	76.00	
	12-13	92.00	
	14-15	108.00	
Contraperfil	128.00		

1.30.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



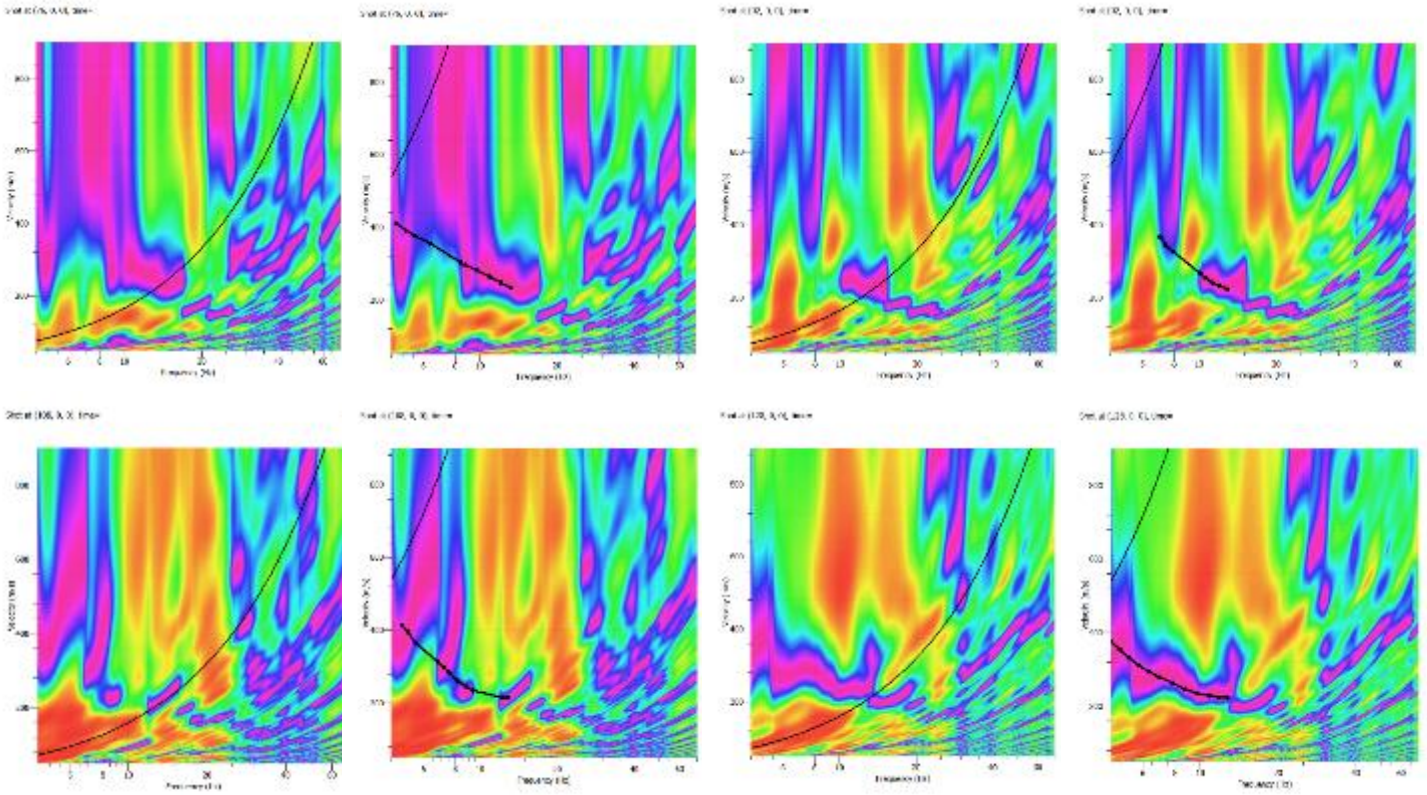
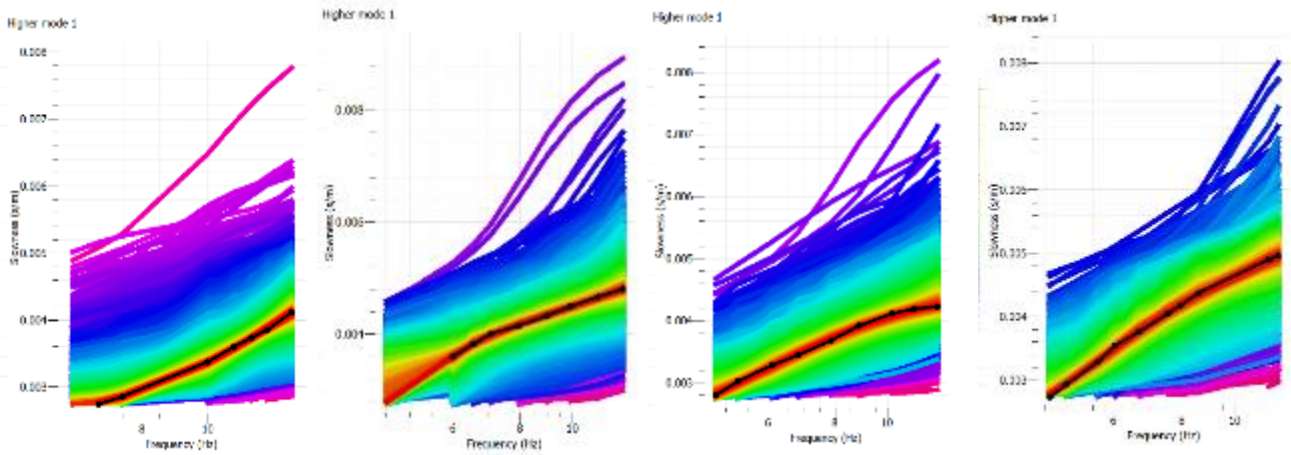


Figura A-88 Espectro de velocidad de fase frecuencia tendido 30.

1.30.2 Curva de dispersión teórica y experimental



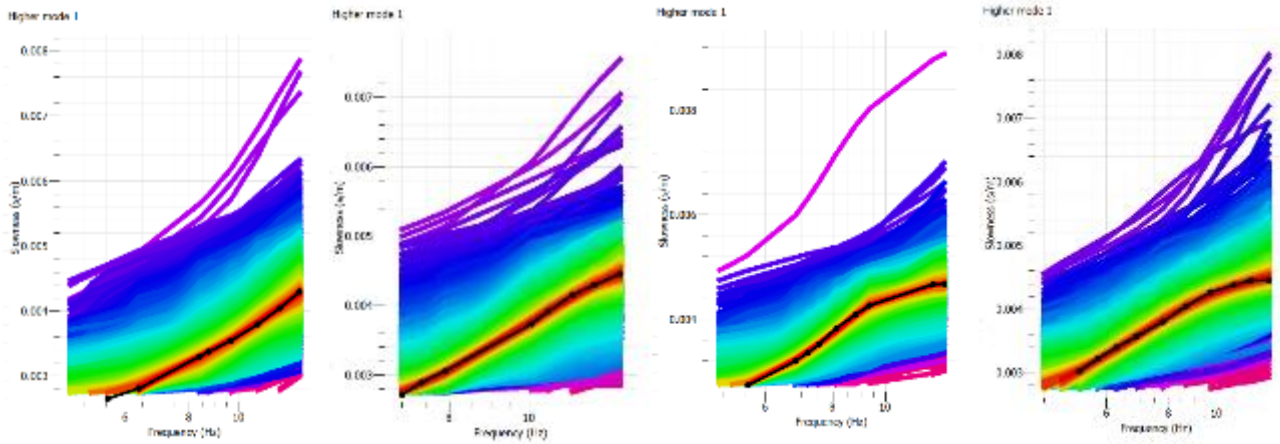
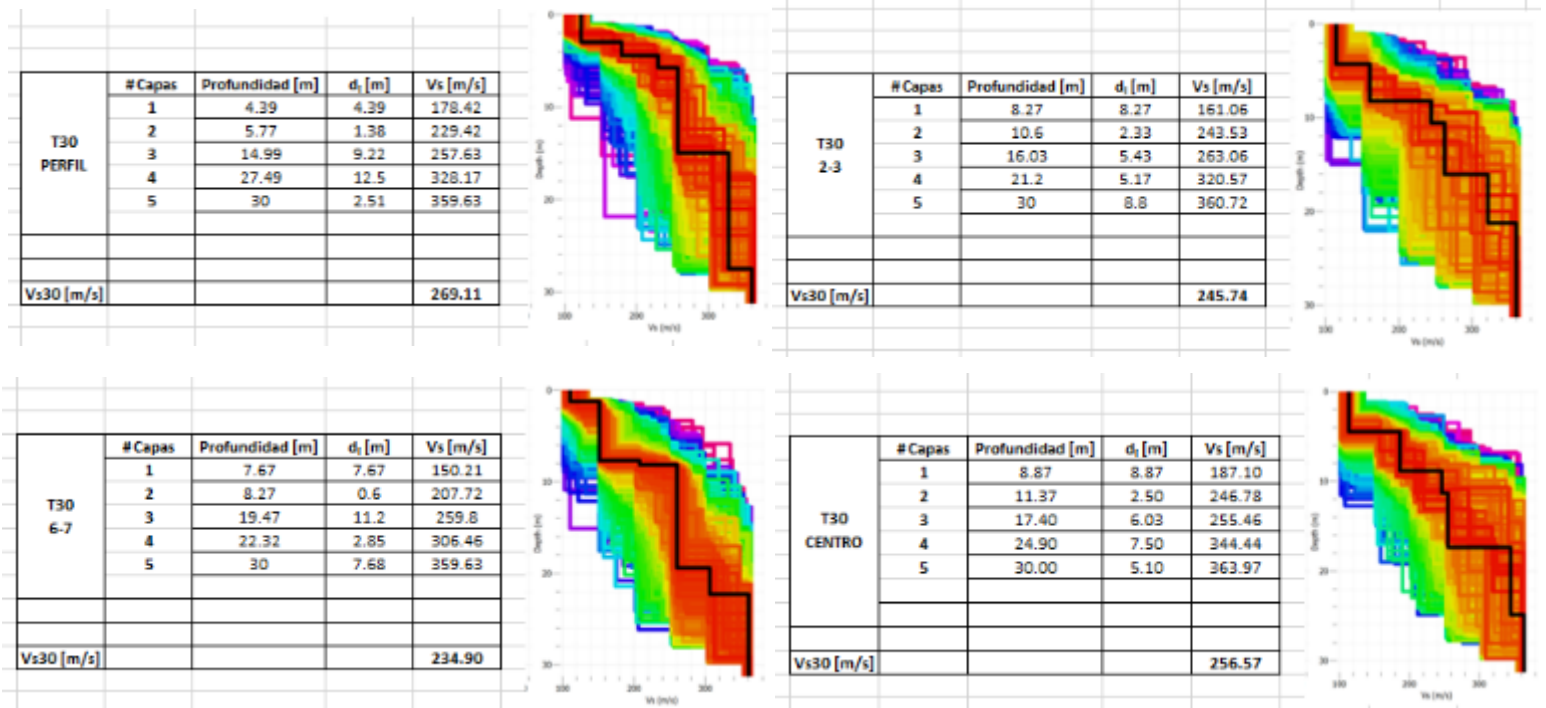


Figura A-89 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 30.

1.30.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30



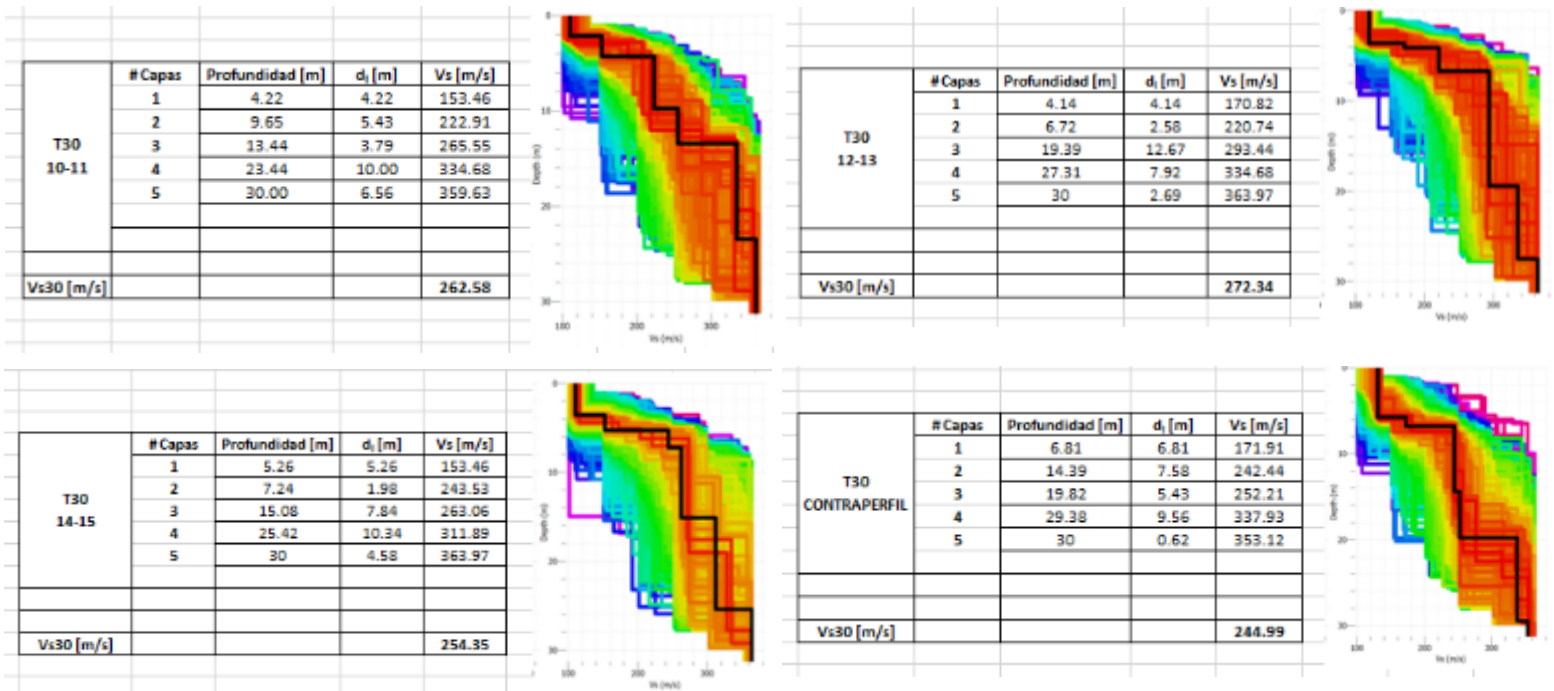
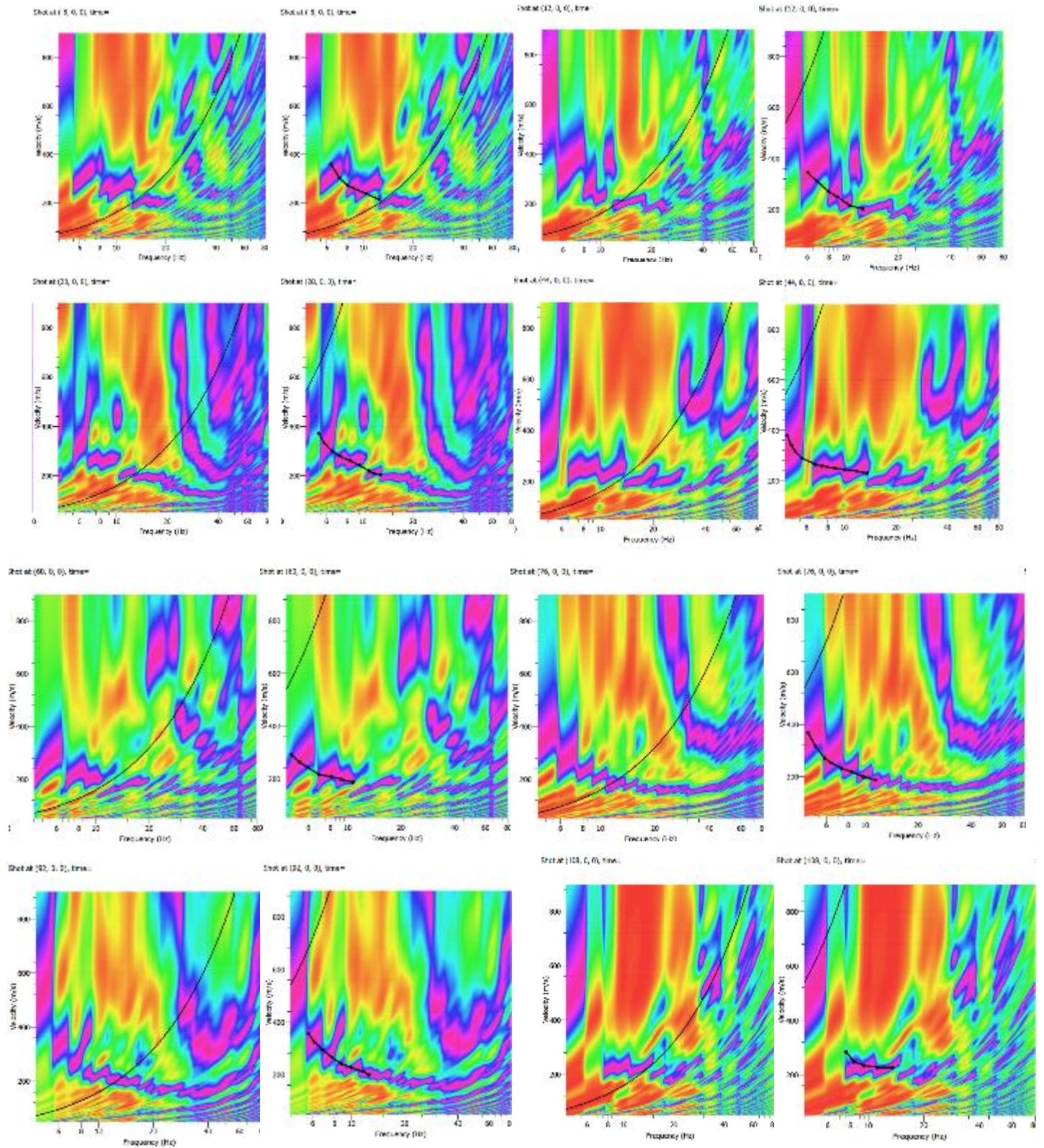


Figura A-90 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 30.

1.31 Tendido 31

TENDIDO 31			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 773238 E	17M 773305 E	17M 773372 E
	9962719 N	9962715 N	9962702 N
	3034 m	3035 m	3036 m
LONGITUD	120 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.00	
	2-3	12.00	
	4-5	28.00	
	6-7	44.00	
	8-9	60.00	
	10-11	76.00	
	12-13	92.00	
14-15	108.00		
Contraperfil	128.00		

1.31.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



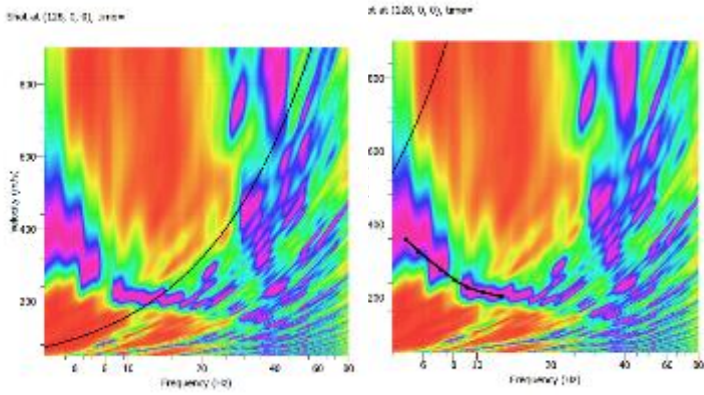


Figura A-91 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 31.

1.31.2 Curva de dispersión teórica y experimental

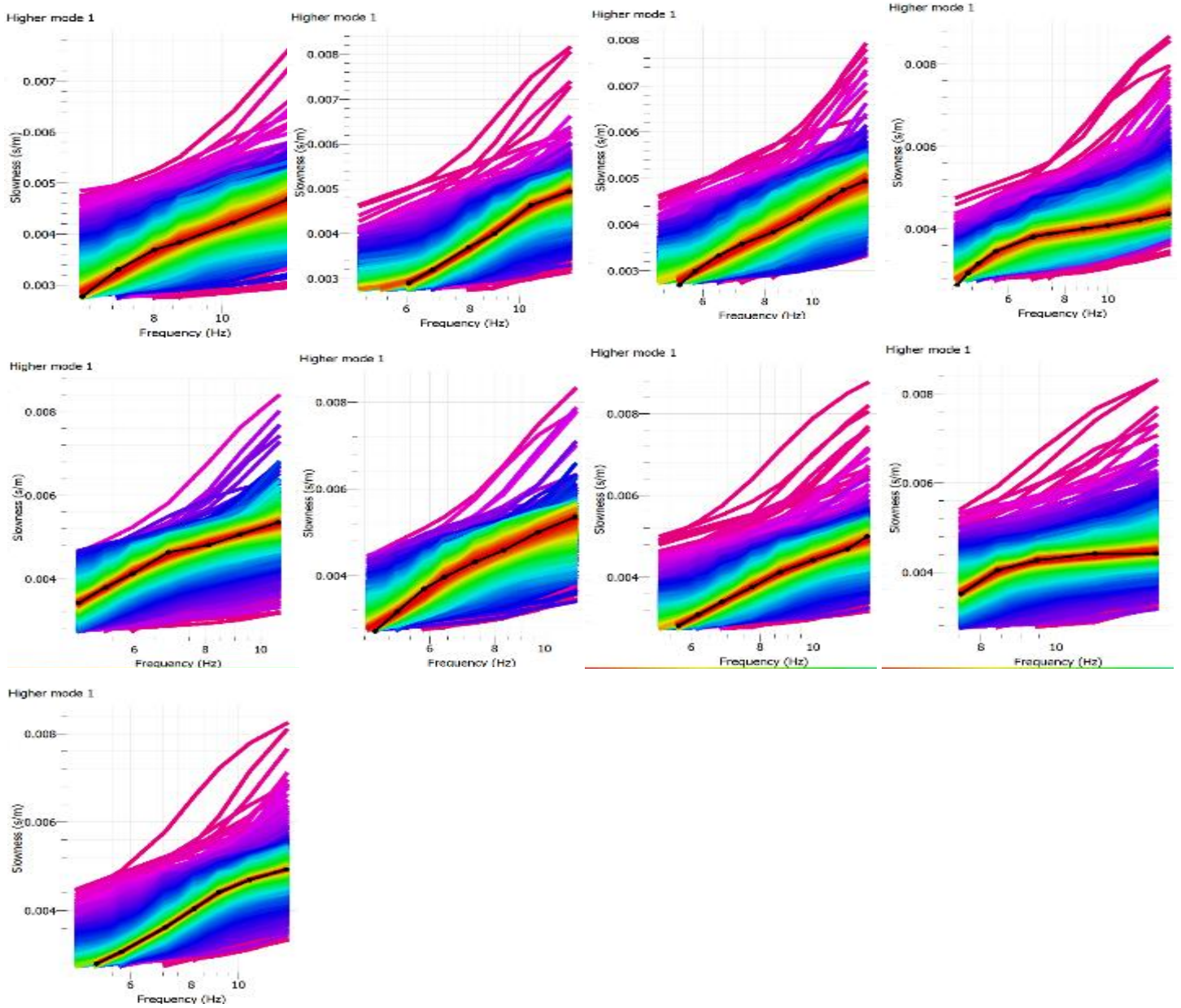
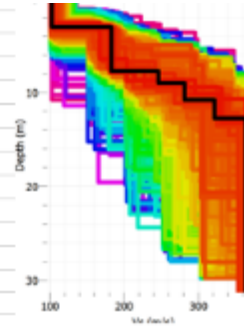


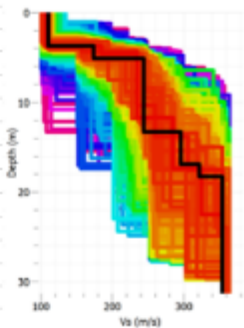
Figura A-92 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 31.

1.31.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30

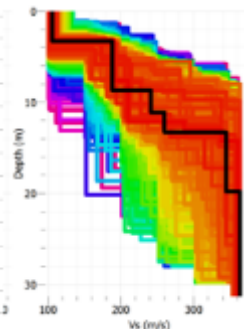
T31 PERFIL	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	7.63	7.63	181.61
	2	9.06	1.43	246.21
	3	10.61	1.55	281.31
	4	12.71	2.1	322.04
	5	30	17.29	361.36
Vs30 [m/s]				278.55



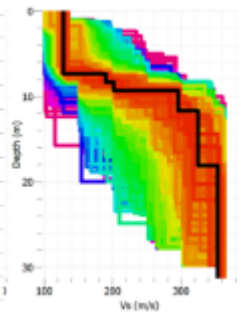
T31 2-3	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	4.97	4.97	173.19
	2	13.15	8.18	241.99
	3	16.8	3.65	296.76
	4	18.35	1.55	320.63
	5	30	11.65	352.93
Vs30 [m/s]				266.33



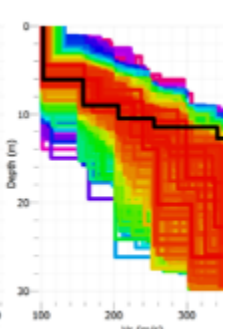
T31 4-5	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	8.51	8.51	187.23
	2	11.16	2.65	241.99
	3	13.26	2.1	260.25
	4	19.67	6.41	344.51
	5	30	10.33	364.17
Vs30 [m/s]				269.19



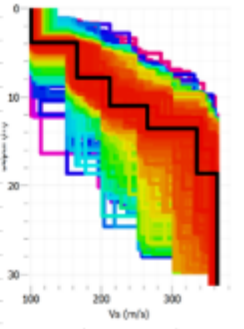
T31 6-7	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	8.18	8.18	190.04
	2	9.39	1.21	202.67
	3	11.6	2.21	296.76
	4	18.01	6.41	323.44
	5	30	11.99	352.93
Vs30 [m/s]				272.10



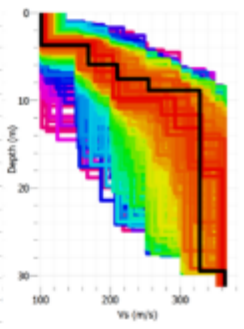
T31 Centro	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	5.97	5.97	102.97
	2	9.06	3.09	156.33
	3	10.50	1.44	205.48
	4	11.49	0.99	253.23
	5	12.82	1.33	340.29
	6	30	17.18	351.53
Vs30 [m/s]				212.10



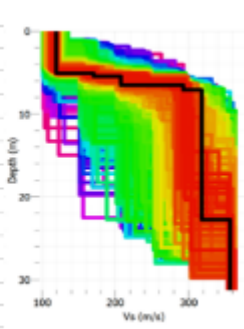
T31 10-11	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	7.74	7.74	164.76
	2	10.94	3.2	211.10
	3	13.59	2.65	265.87
	4	18.68	5.09	334.68
	5	30.00	11.32	362.76
Vs30 [m/s]				253.13



T31 12-13	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	6.08	6.08	168.97
	2	7.52	1.44	209.7
	3	8.84	1.32	254.63
	4	29.29	20.45	326.25
	5	30	0.71	362.76
Vs30 [m/s]				266.26



T31 14-15	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	5.64	5.64	168.97
	2	6.52	0.88	206.89
	3	7.07	0.55	292.55
	4	22.66	15.59	317.83
	5	30	7.34	354.34
Vs30 [m/s]				274.53



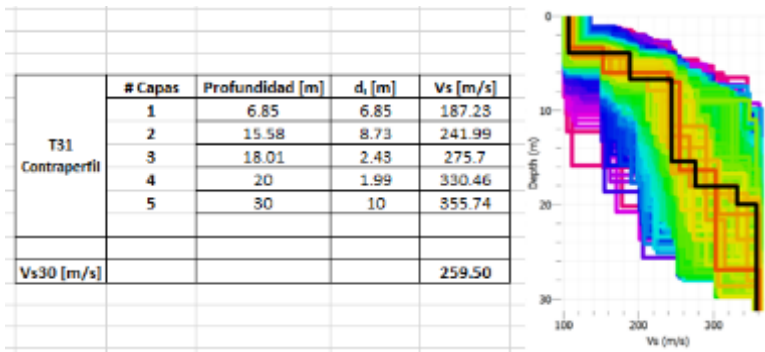
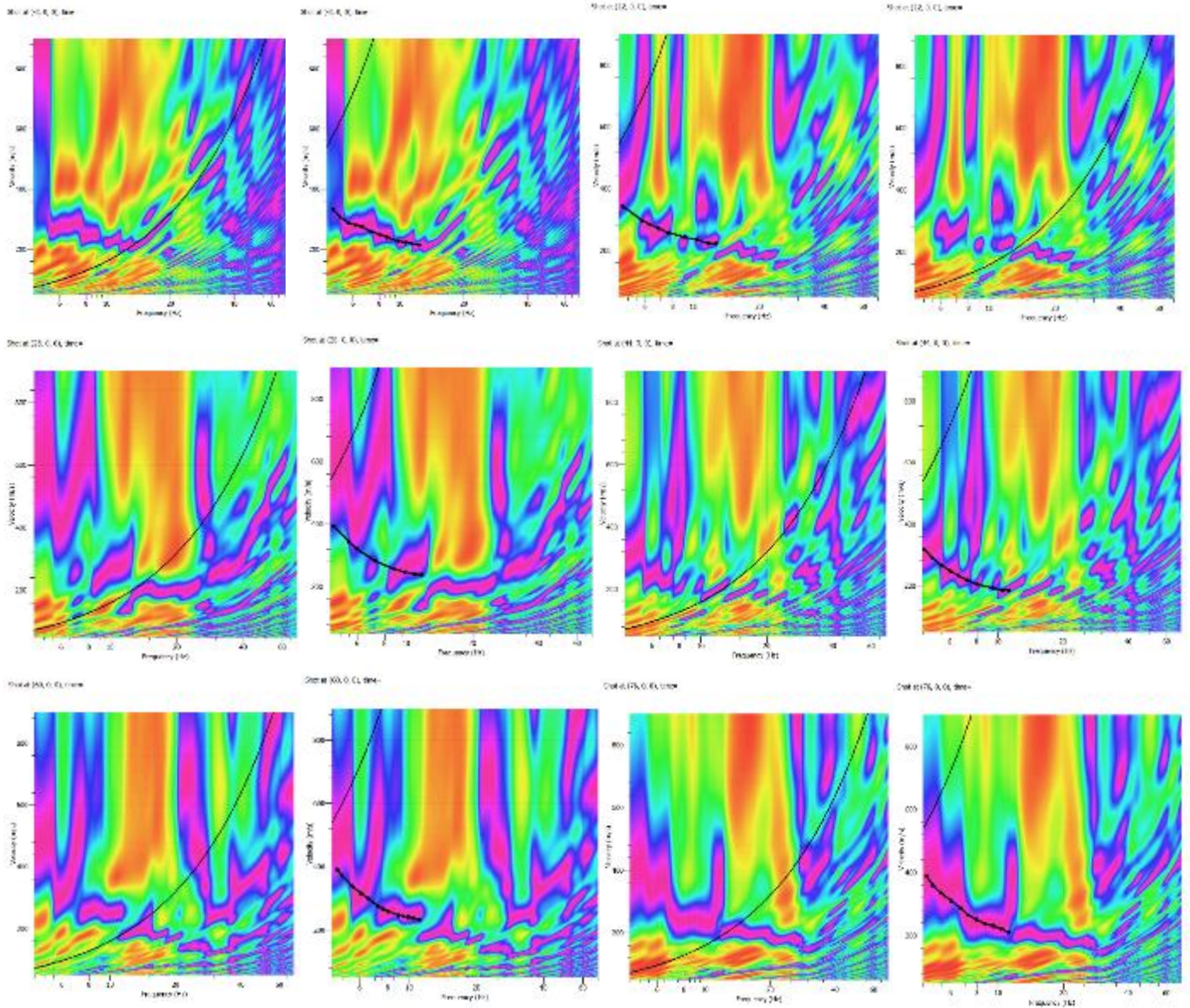


Figura A-93 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 31.

1.32 Tendido 32

TENDIDO 32			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 773374 E	17M 773448 E	17M 773511 E
	9962715 N	9962712 N	9962713 N
	3034 m	3034 m	3026 m
LONGITUD	120 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.00	
	2-3	12.00	
	4-5	28.00	
	6-7	44.00	
	8-9	60.00	
	10-11	76.00	
	12-13	92.00	
	14-15	108.00	
Contraperfil	128.00		

1.32.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



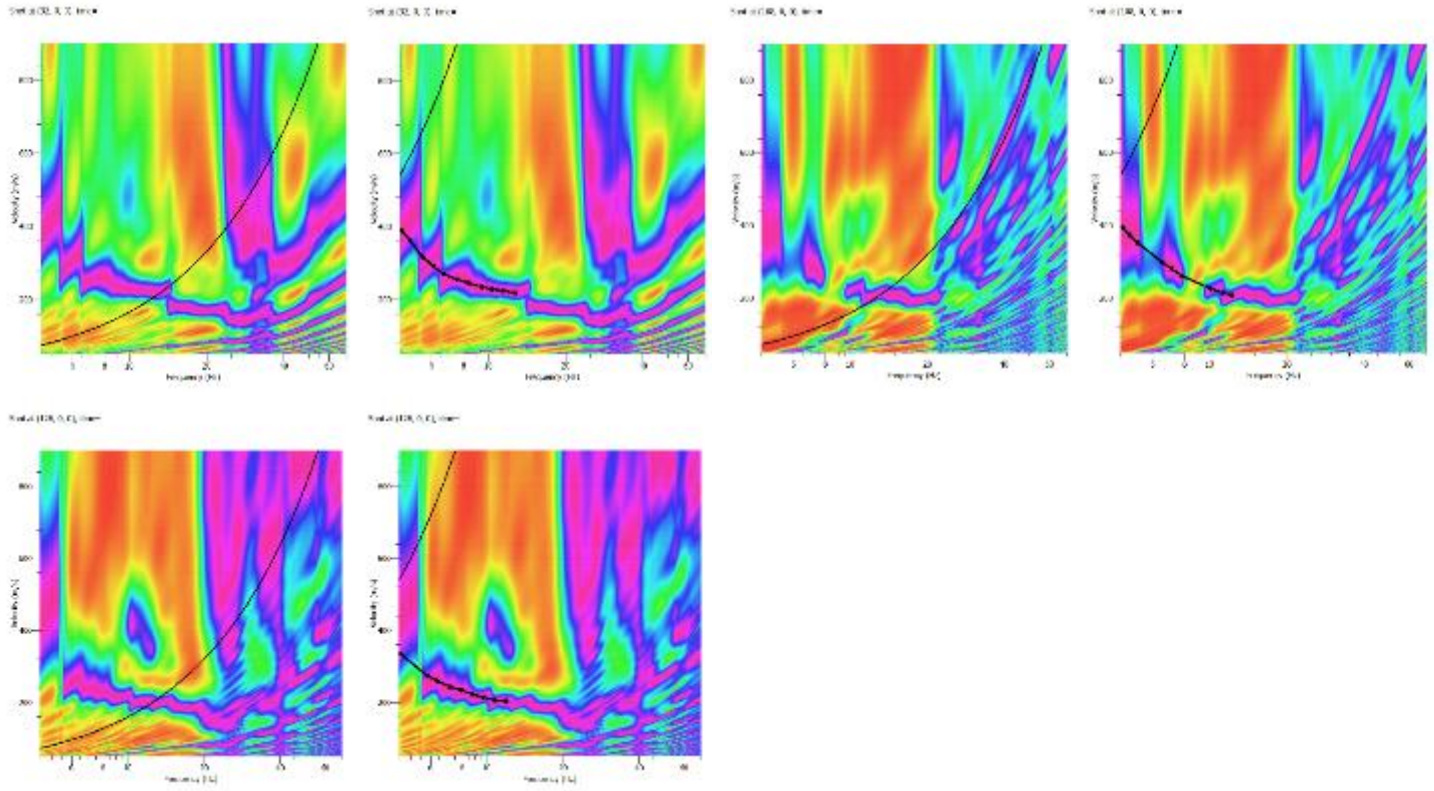
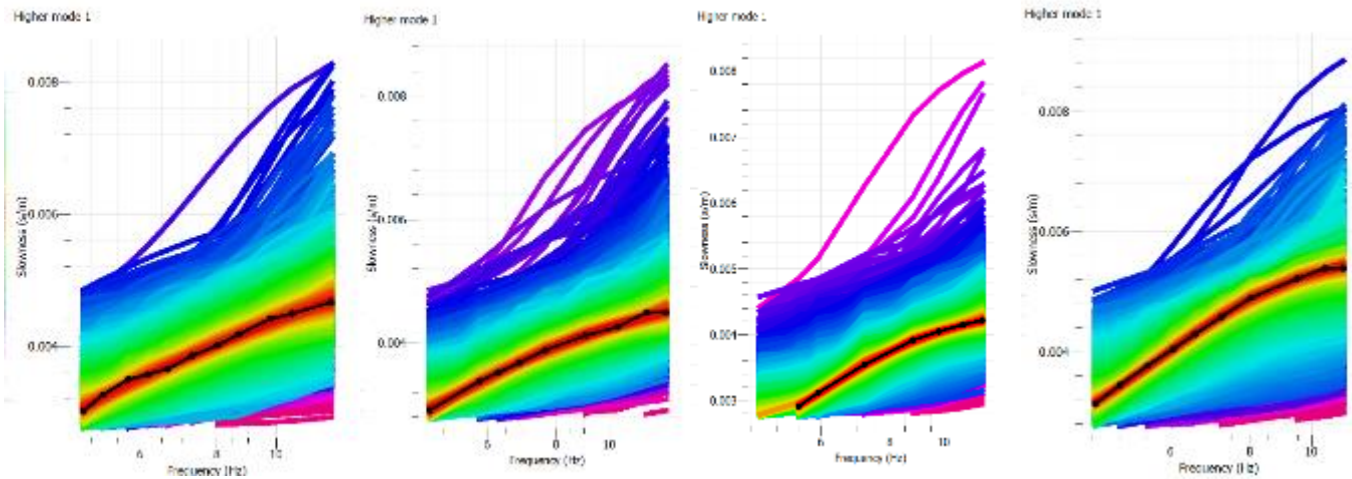


Figura A-94 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 32.

1.32.2 Curva de dispersión teórica y experimental



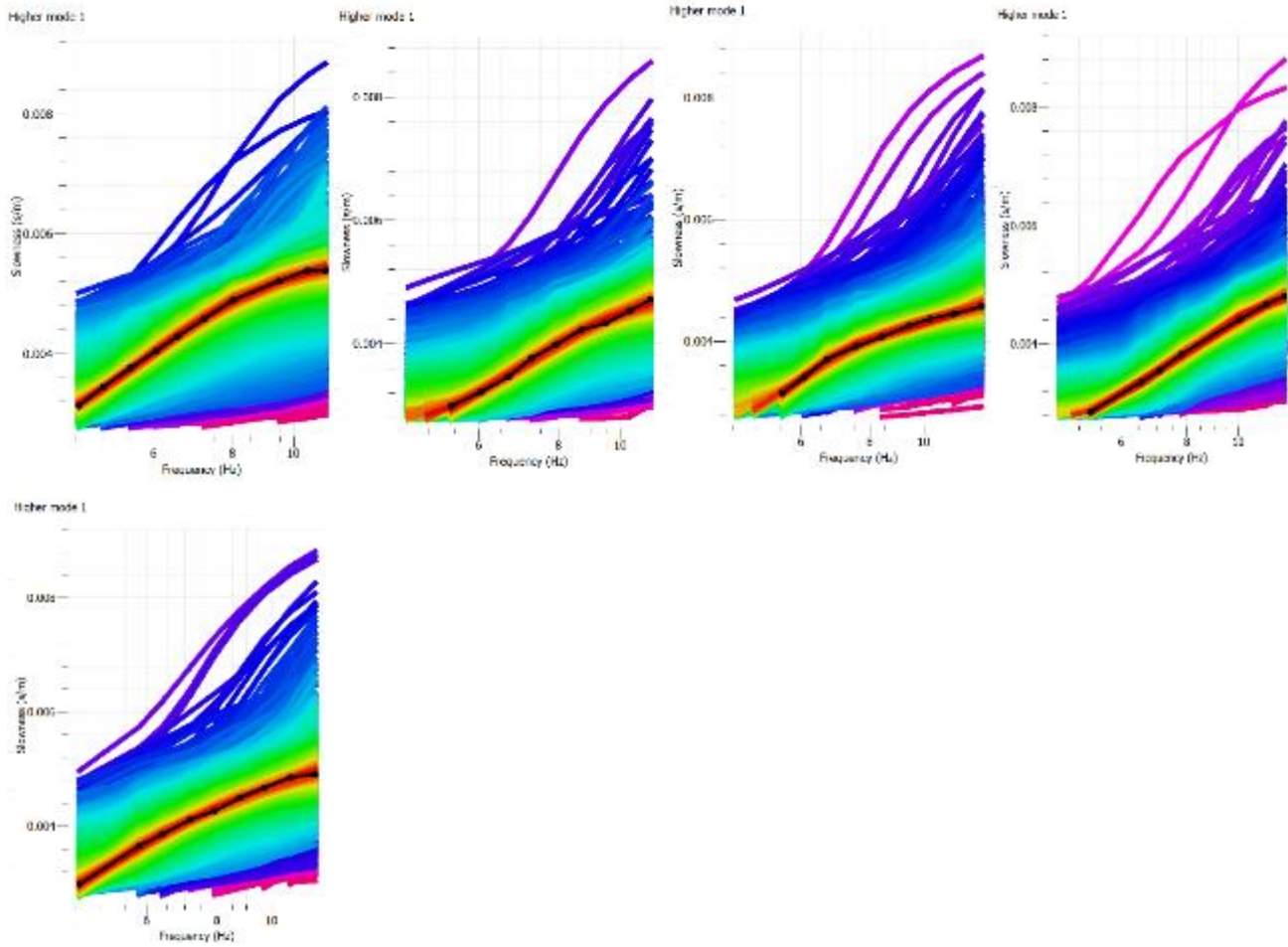
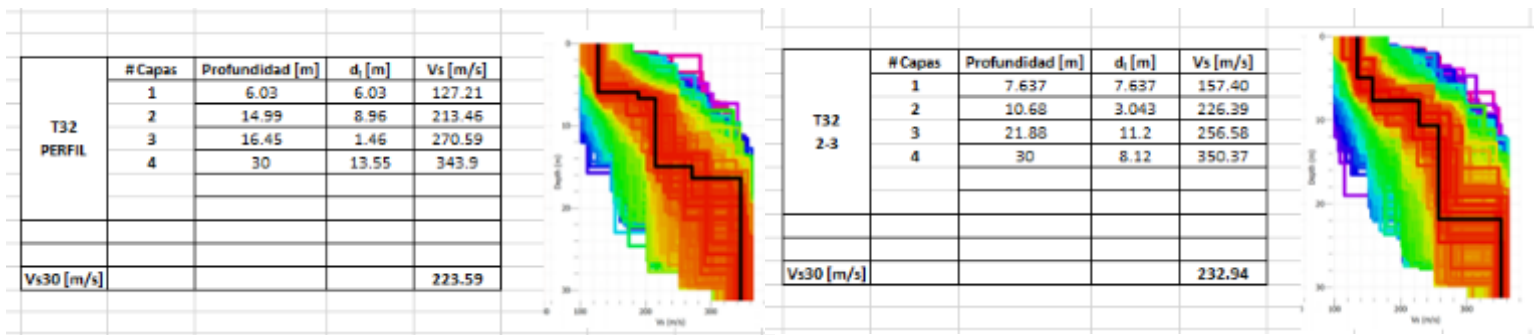


Figura A-95 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 32.

1.32.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30



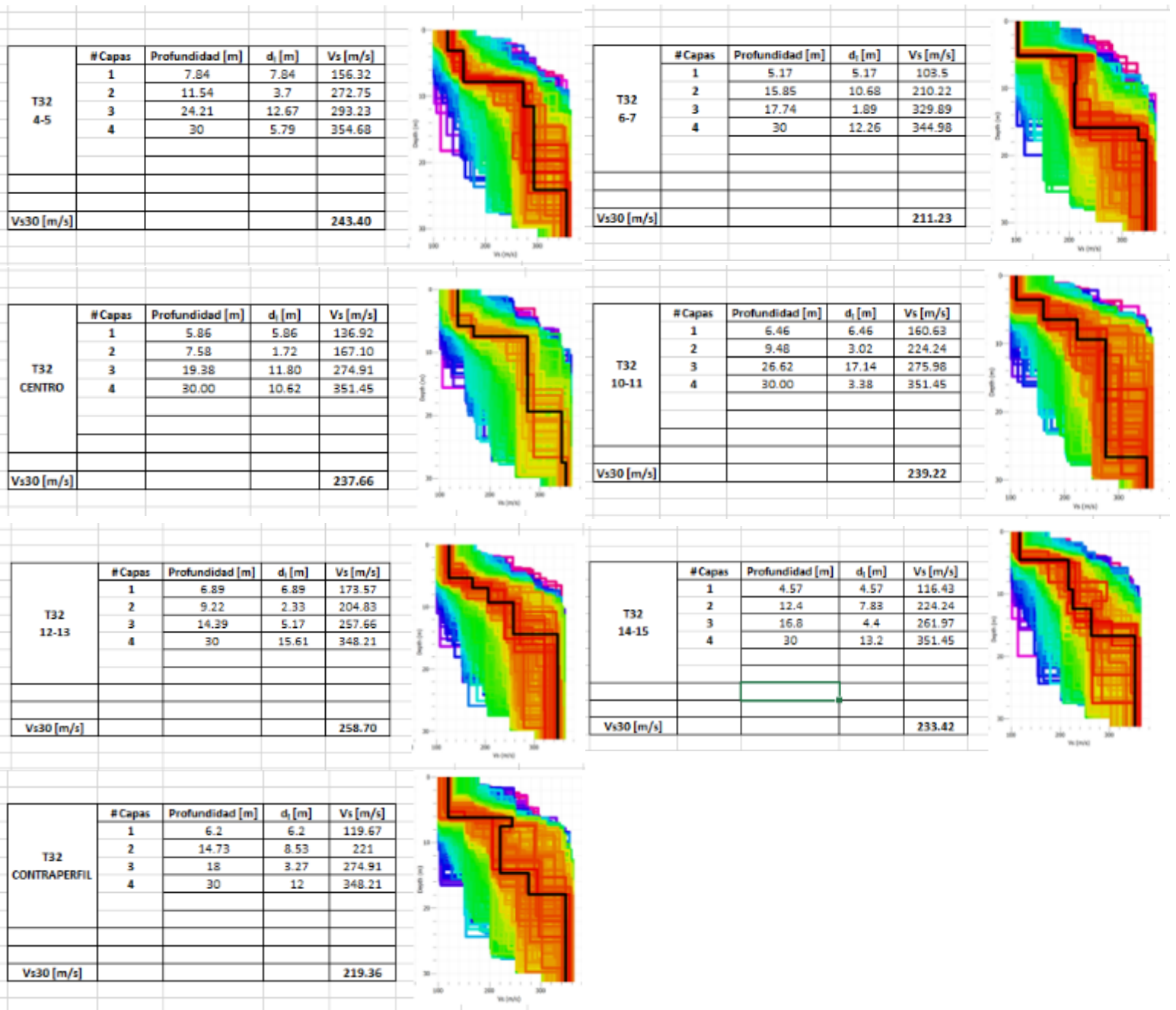
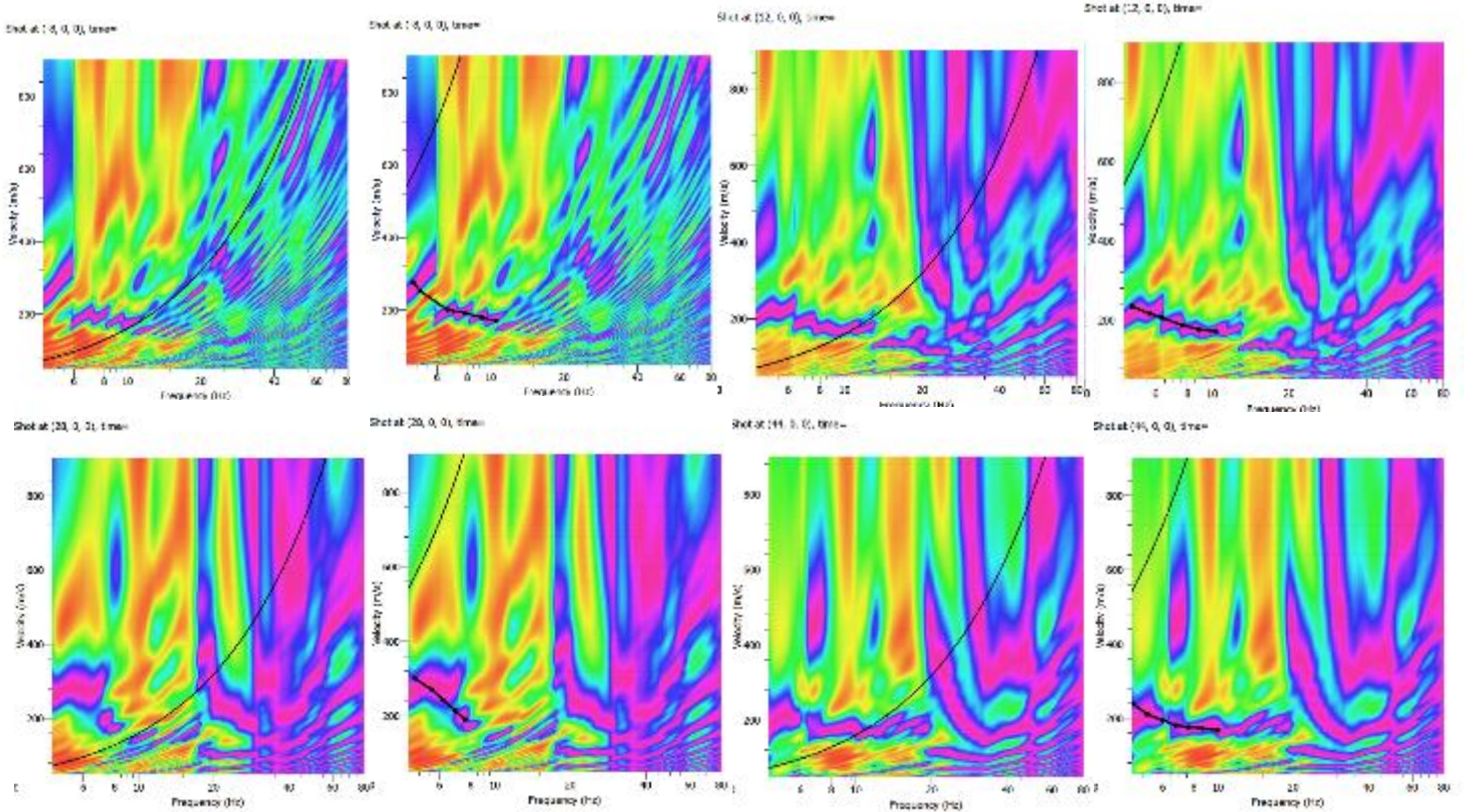


Figura A-96 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 32.

1.33 Tendido 33

TENDIDO 33			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 773491 E	17M 773495 E	17M 773499 E
	9962565 N	9962634 N	9962702 N
	3027 m	3024 m	3017 m
LONGITUD	120 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.00	
	2-3	12.00	
	4-5	28.00	
	6-7	44.00	
	8-9	60.00	
	10-11	76.00	
	12-13	92.00	
	14-15	108.00	
Contraperfil	128.00		

1.33.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia



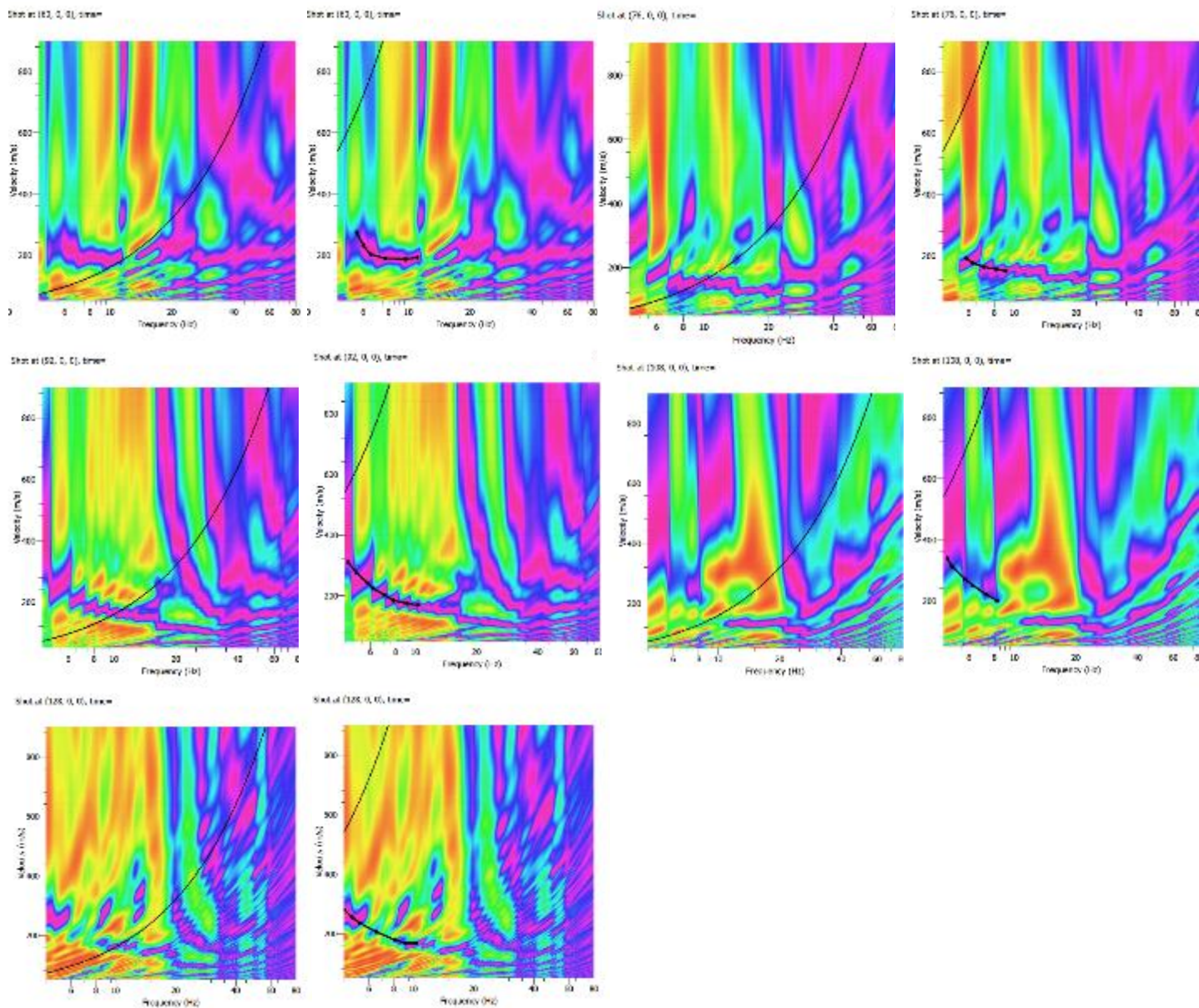


Figura A-97 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 33.

1.33.2 Curva de dispersión teórica y experimental.

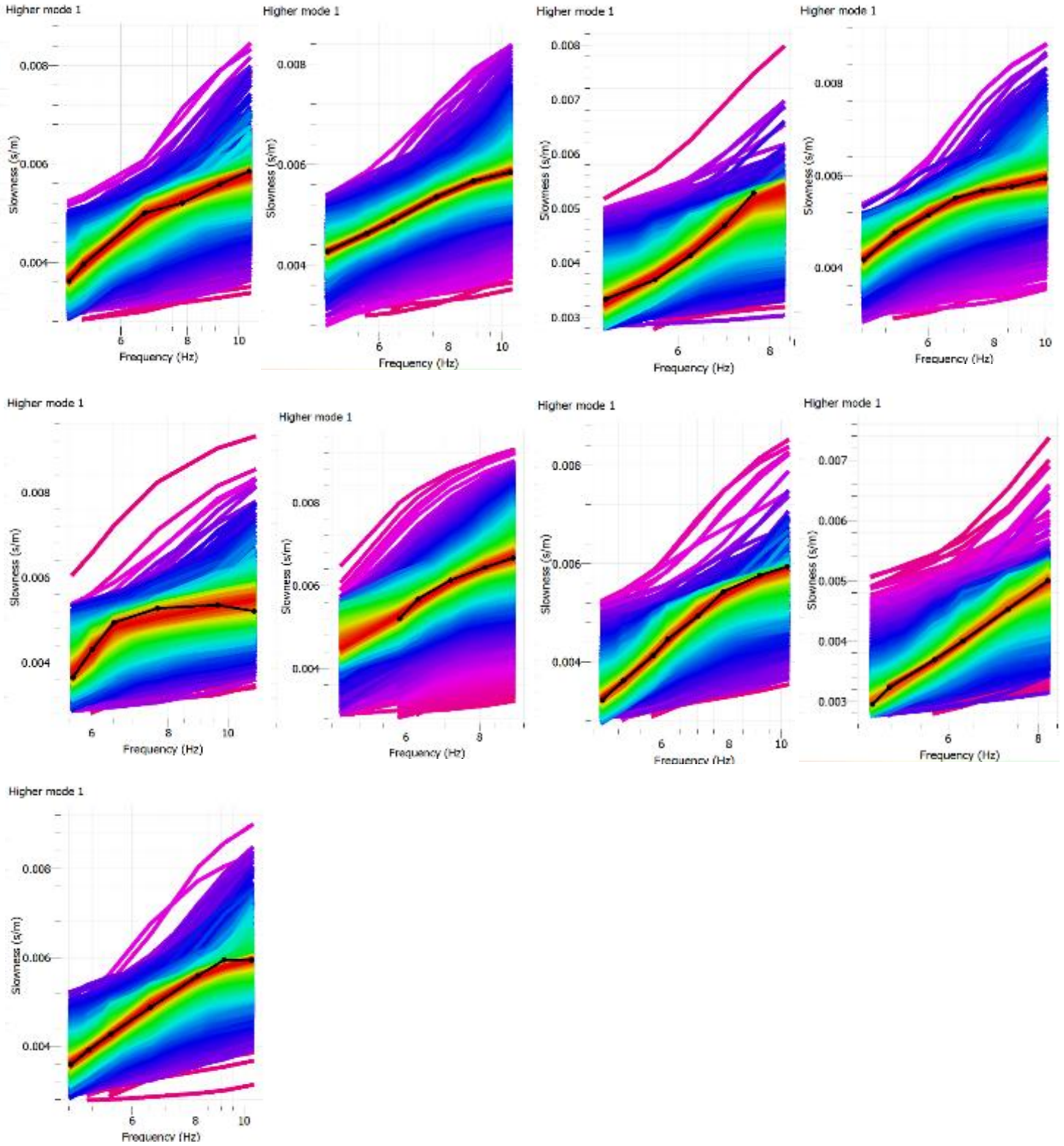
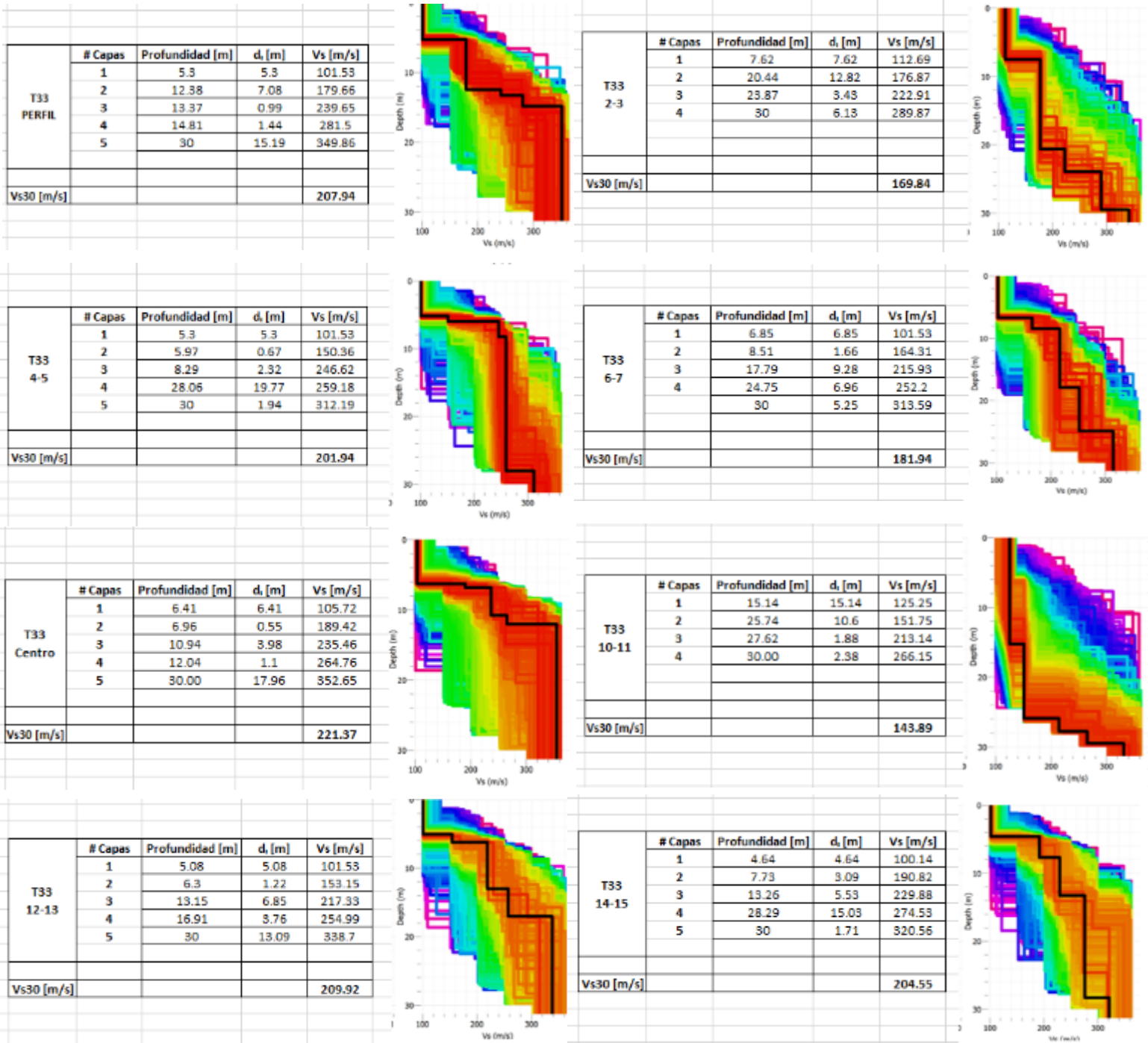


Figura A-98 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 33.

1.33.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30.



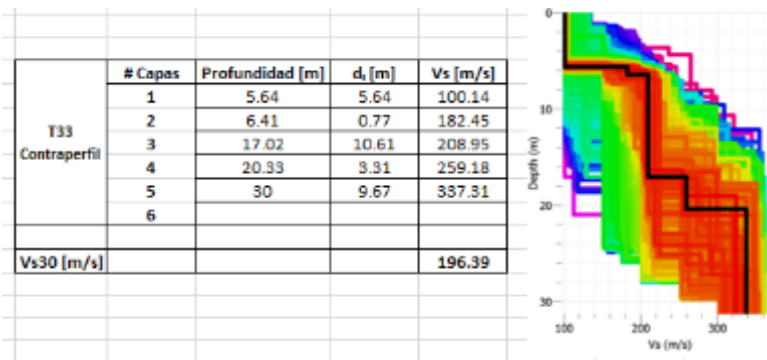


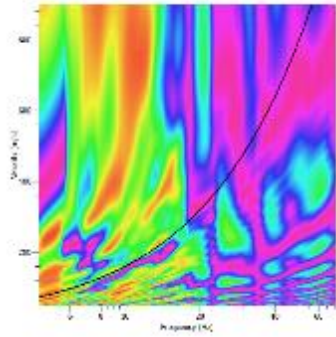
Figura A-99 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 33.

1.34 Tendido 34

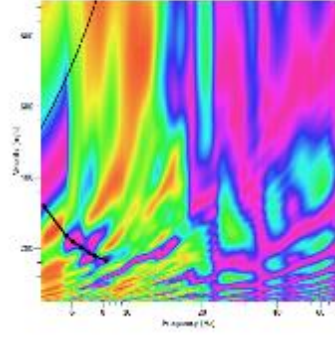
TENDIDO 34			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 773515 E	17M 773582 E	17M 773648 E
	9962711 N	9962709 N	9962709 N
	3018 m	3015 m	3019 m
LONGITUD	120 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.00	
	2-3	12.00	
	4-5	28.00	
	6-7	44.00	
	8-9	60.00	
	10-11	76.00	
	12-13	92.00	
14-15	108.00		
Contraperfil	128.00		

1.34.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia.

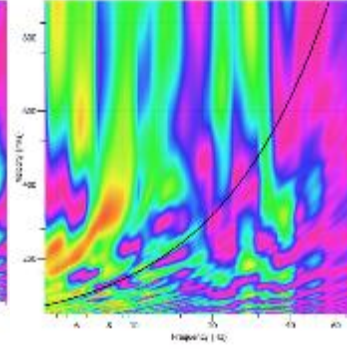
Sheet 10, 0, 0, low



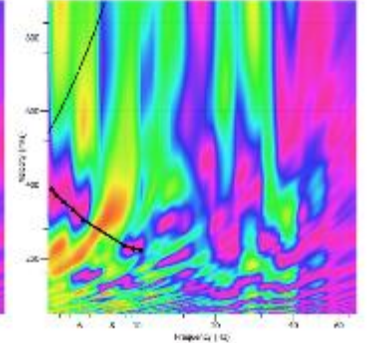
Sheet 10, 0, 0, low



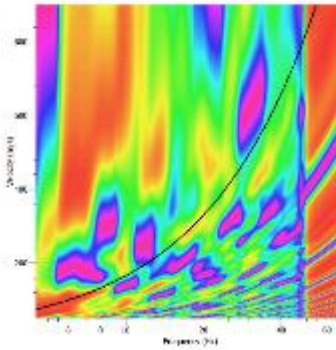
Sheet 10, 0, 0, low



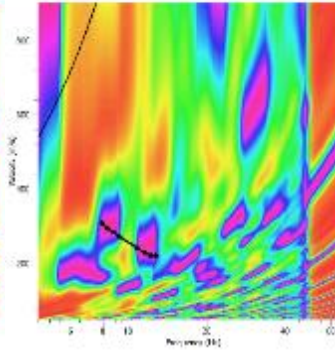
Sheet 10, 0, 0, low



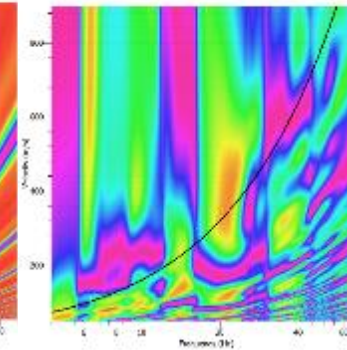
Sheet 10, 0, 0, low



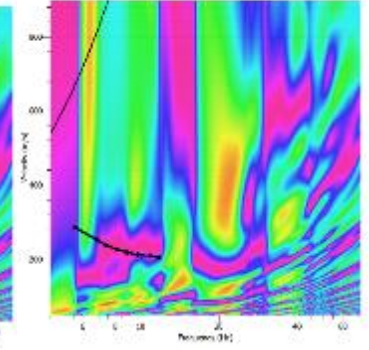
Sheet 10, 0, 0, low



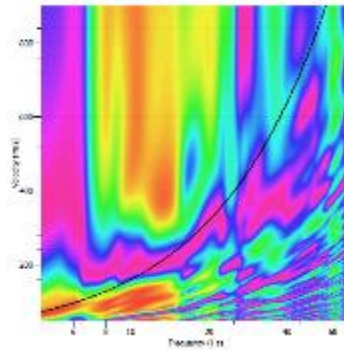
Sheet 10, 0, 0, low



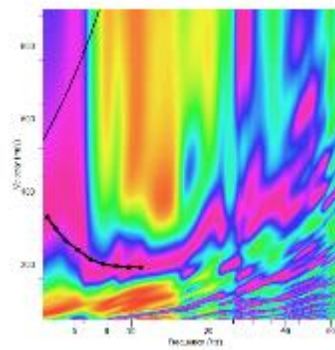
Sheet 10, 0, 0, low



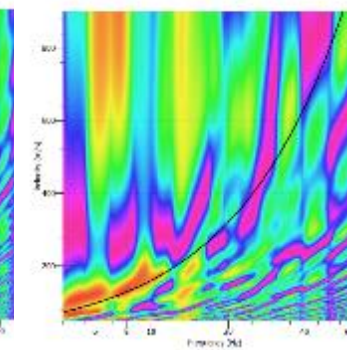
Sheet 10, 0, 0, low



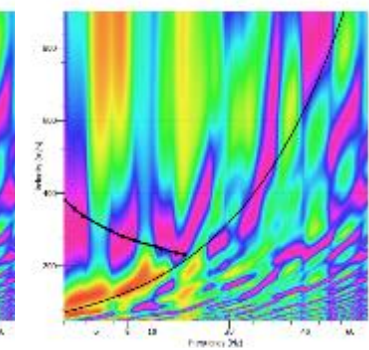
Sheet 10, 0, 0, low



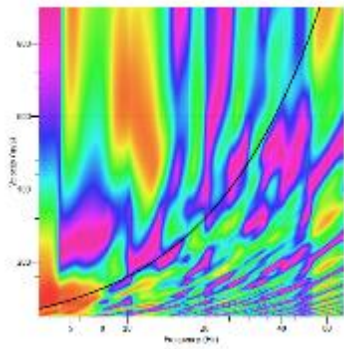
Sheet 10, 0, 0, low



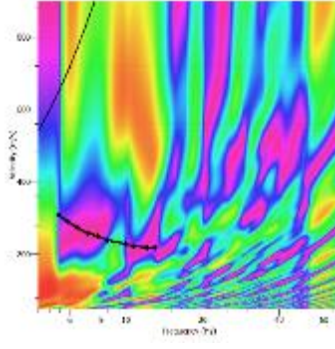
Sheet 10, 0, 0, low



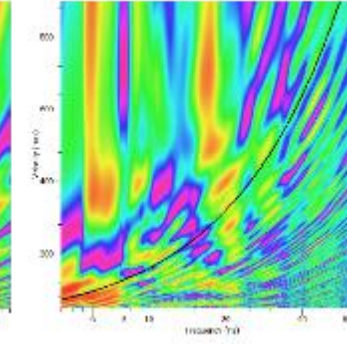
Sheet 10, 0, 0, low



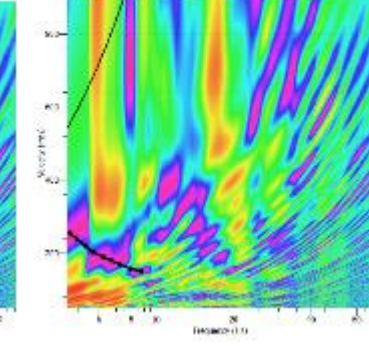
Sheet 10, 0, 0, low



Sheet 10, 0, 0, low



Sheet 10, 0, 0, low



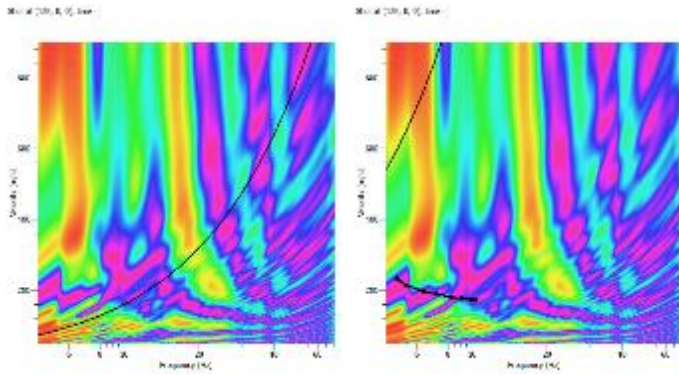
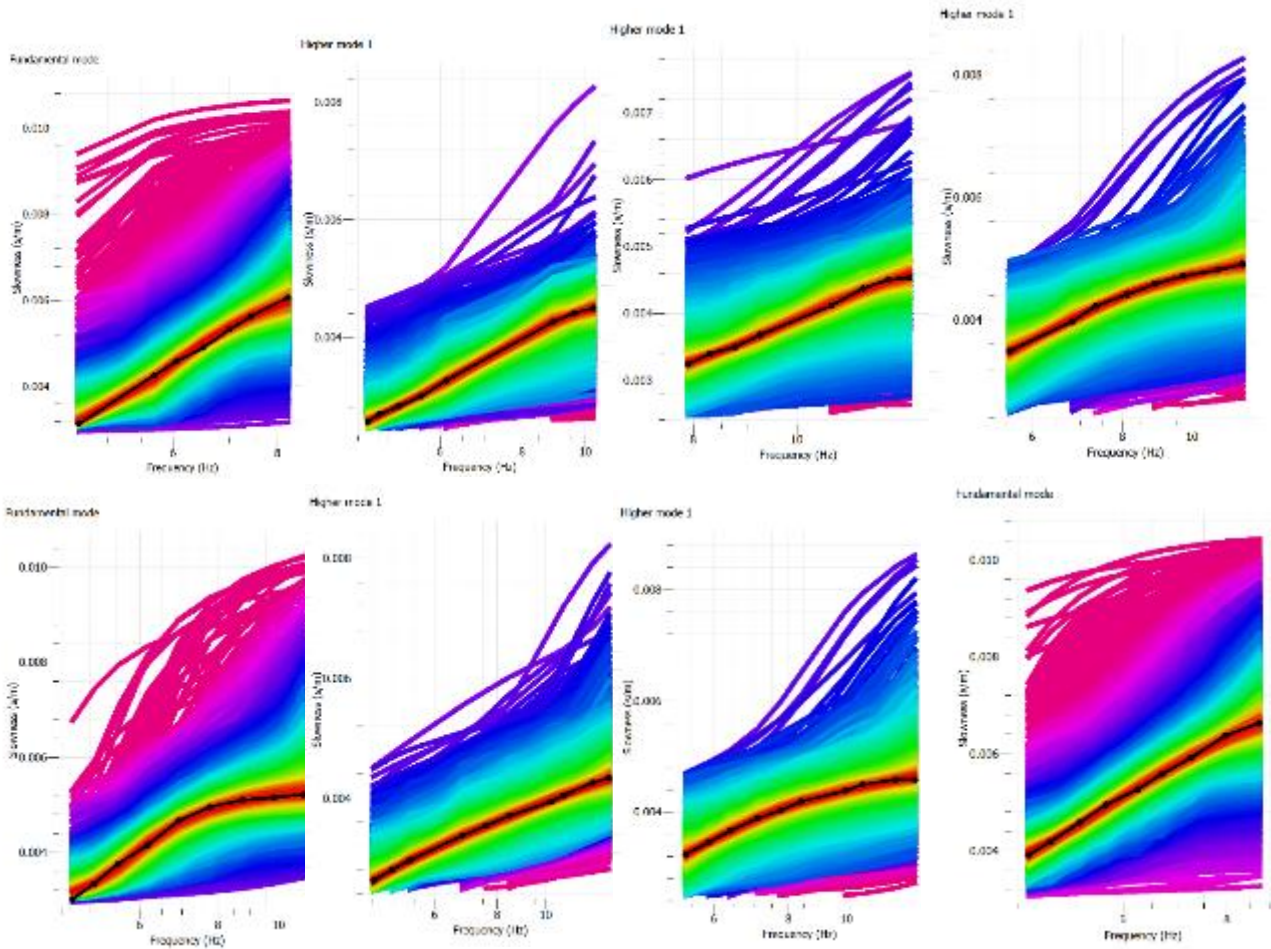


Figura A-100 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 34.

1.34.2 Curva de dispersión teórica y experimental.



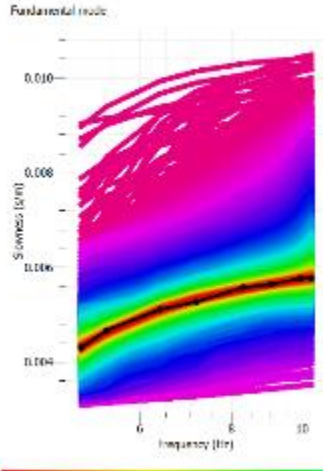
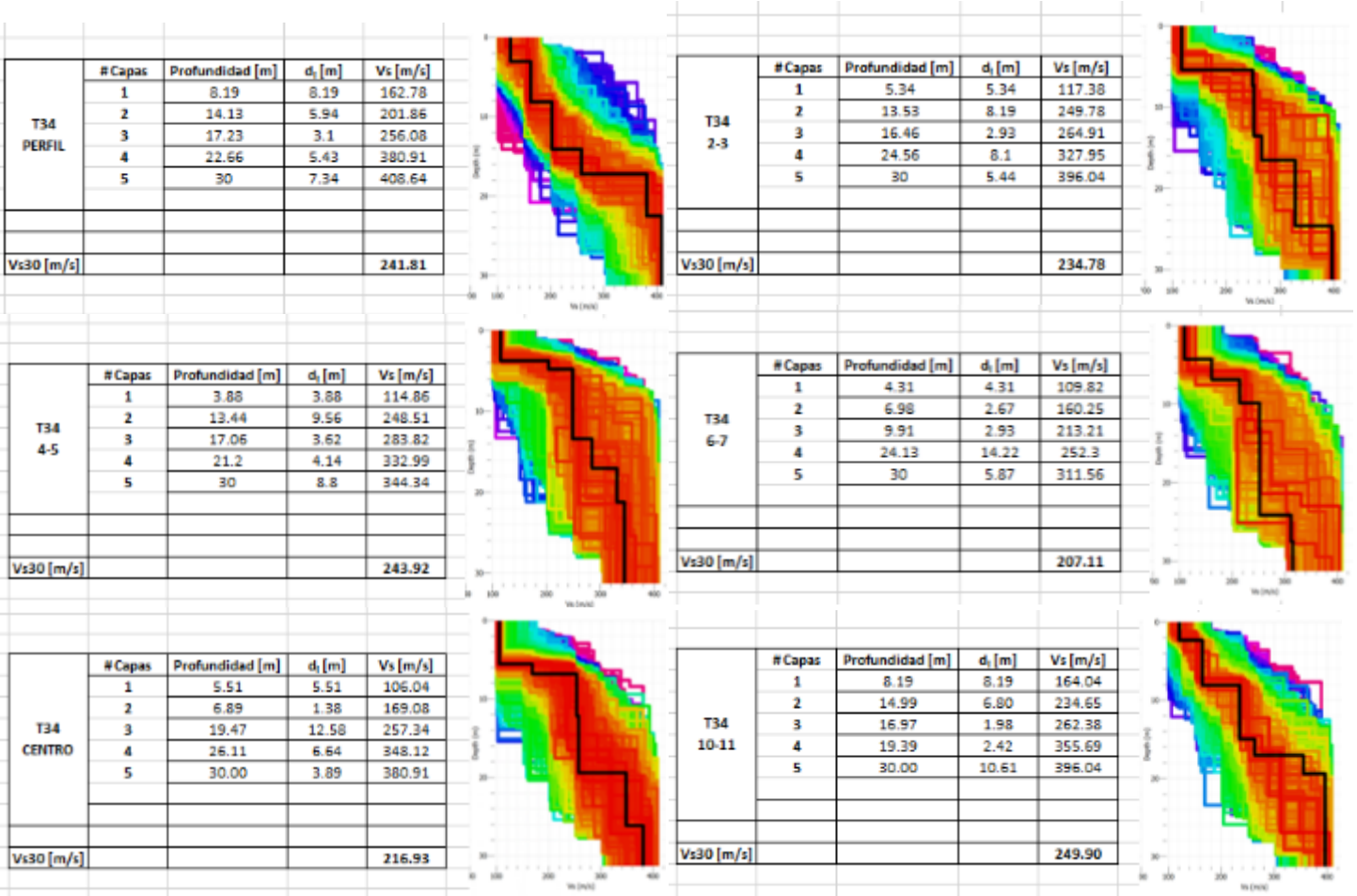


Figura A-101 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 34.

1.34.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30.



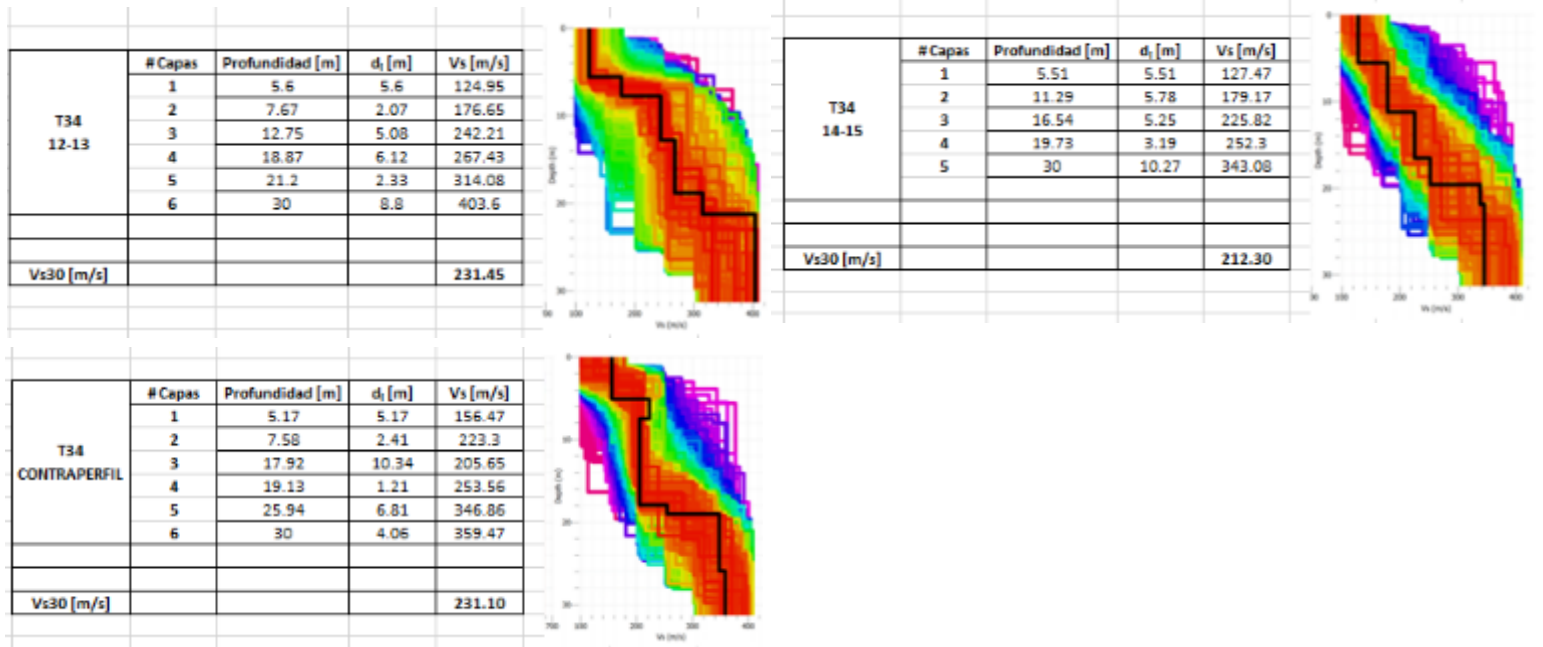


Figura A-102 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 34.

1.35 Tendido 35

TENDIDO 35			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 773592 E	17M 773593 E	17M 773594 E
	9962563 N	9962634 N	9962704 N
	3017 m	3015 m	3012 m
LONGITUD	120 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.00	
	2-3	12.00	
	4-5	28.00	
	6-7	44.00	
	8-9	60.00	
	10-11	76.00	
	12-13	92.00	
14-15	108.00		
Contraperfil	128.00		

1.35.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia.

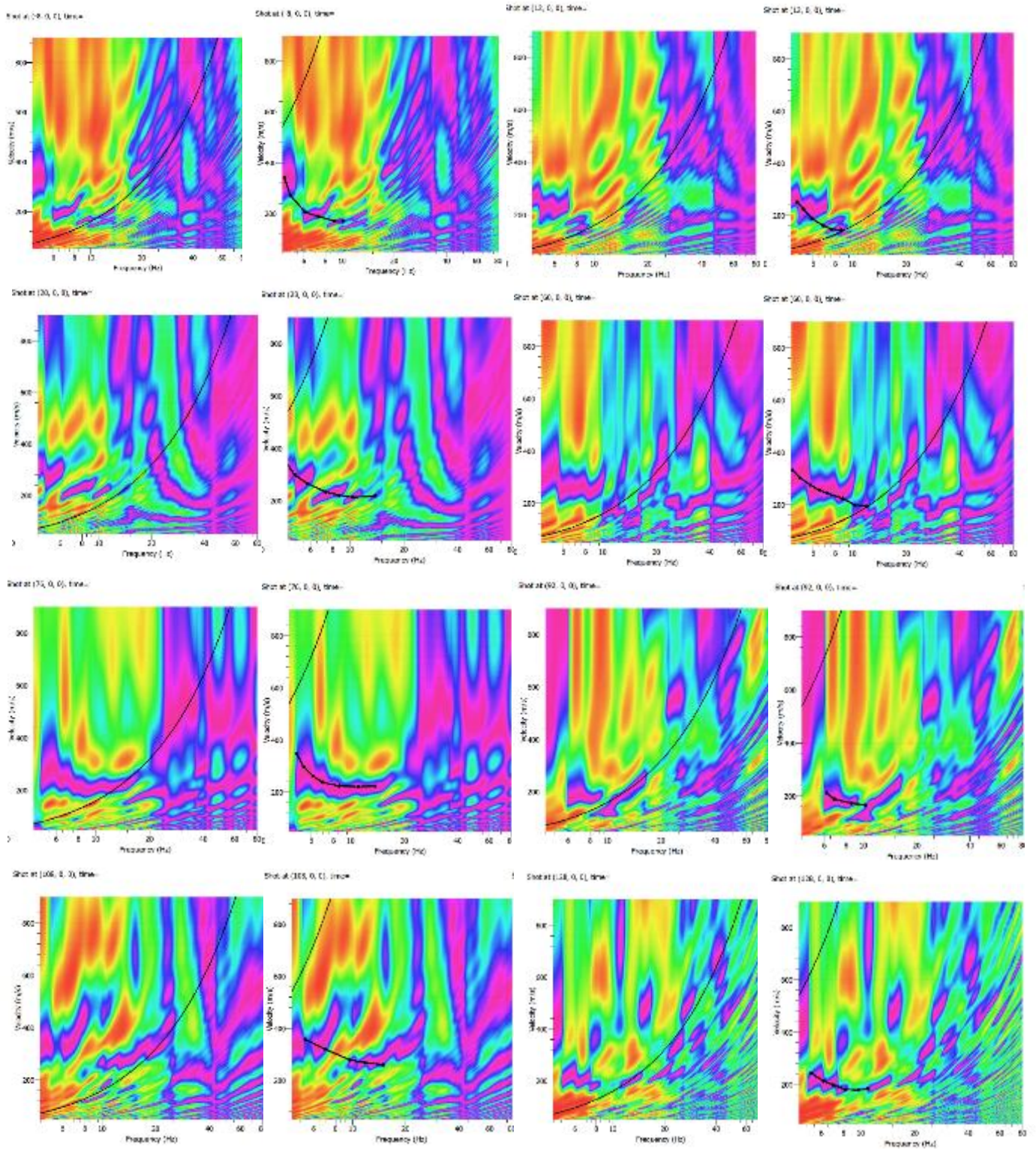


Figura A-103 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 35.

1.35.2 Curva de dispersión teórica y experimental.

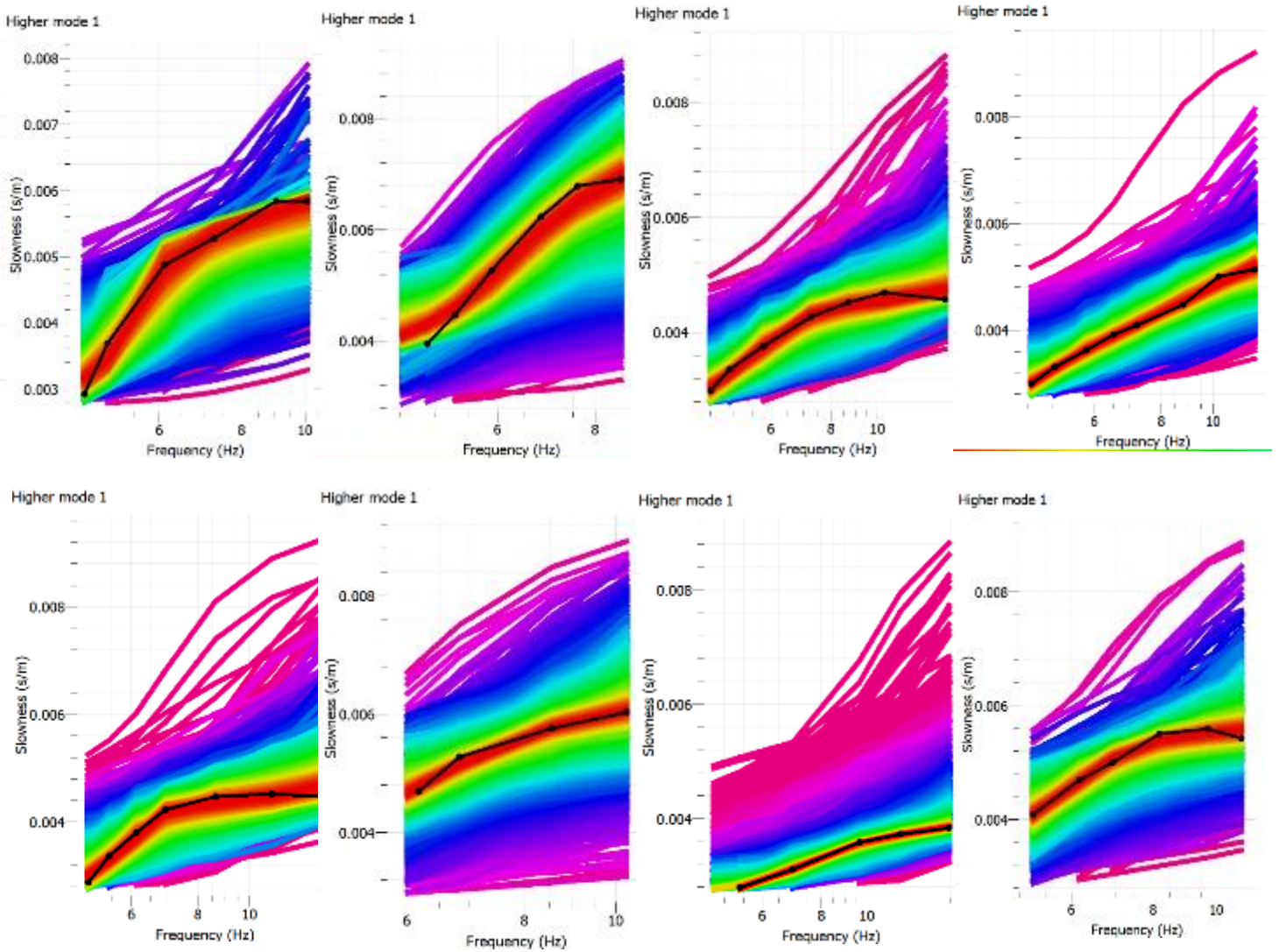
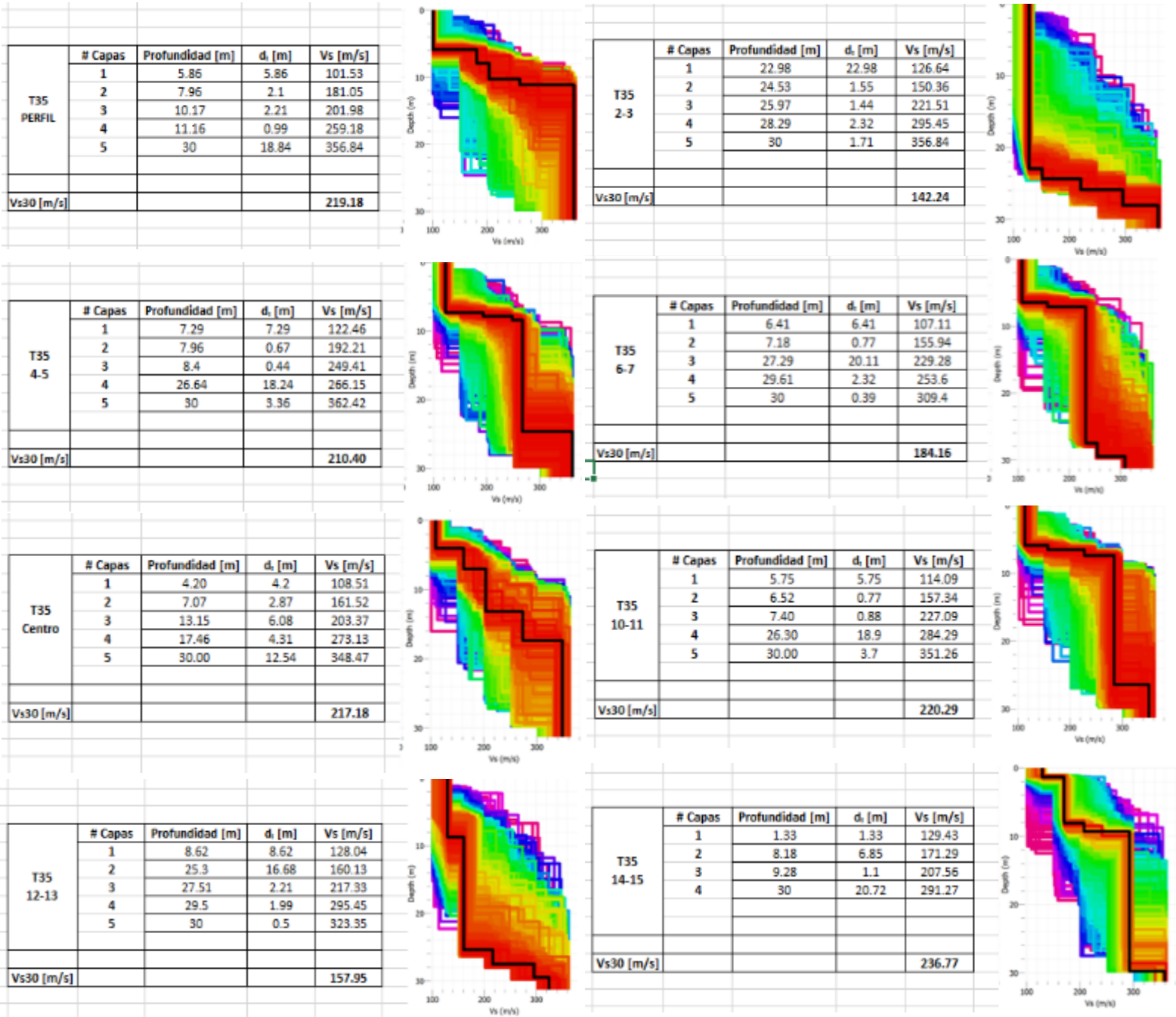


Figura A-104 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 35.

1.35.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30.



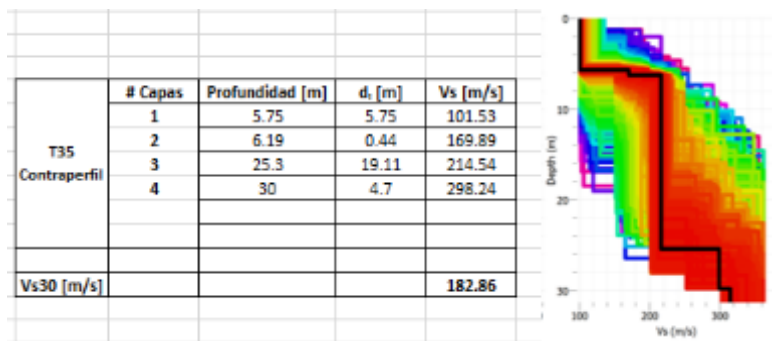


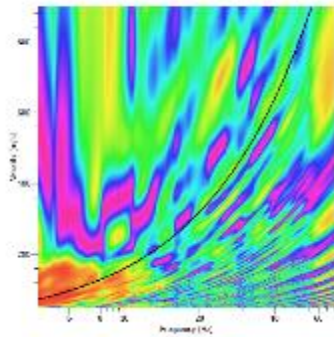
Figura A-105 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 35.

1.36 Tendido 36

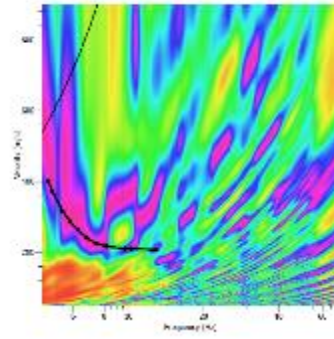
TENDIDO 36			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 773652 E	17M 773723 E	17M 773795 E
	9962707 N	9962710 N	9962706 N
	3014 m	3017 m	3014 m
LONGITUD	120 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.00	
	2-3	12.00	
	4-5	28.00	
	6-7	44.00	
	8-9	60.00	
	10-11	76.00	
	12-13	92.00	
	14-15	108.00	
Contraperfil	128.00		

1.36.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia.

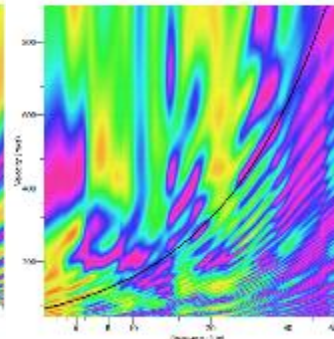
Model 20, R, U, low



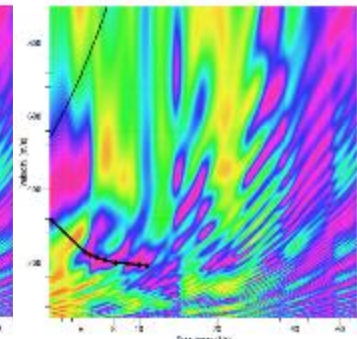
Model 20, R, U, low



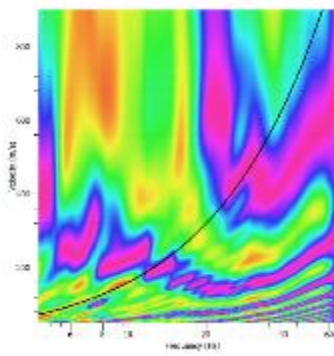
Model 20, R, U, low



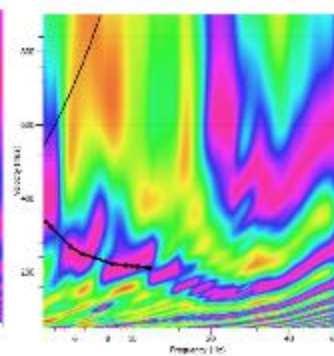
Model 20, R, U, low



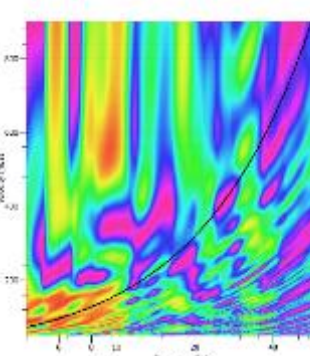
Model 20, C, R, U, low



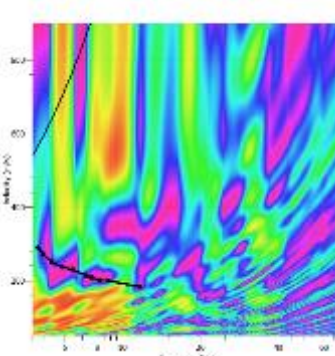
Model 20, C, R, U, low



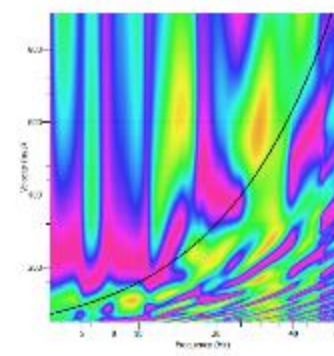
Model 20, C, R, U, low



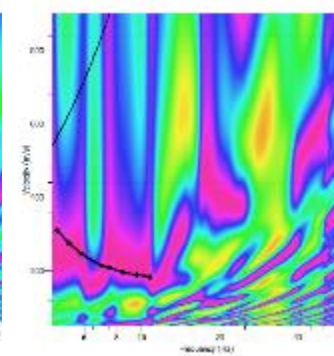
Model 20, C, R, U, low



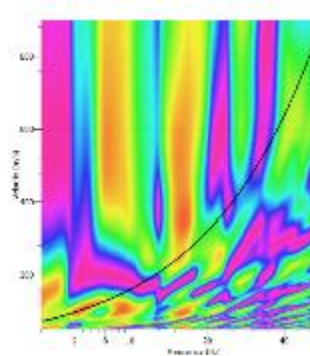
Model 20, R, U, low



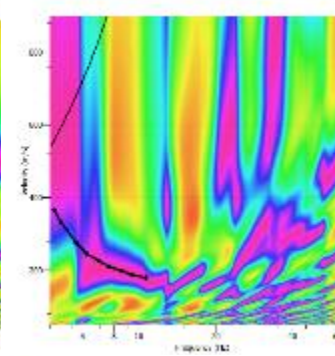
Model 20, C, R, U, low



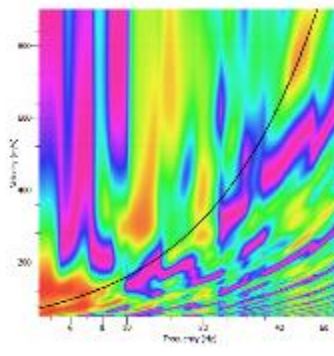
Model 20, R, U, low



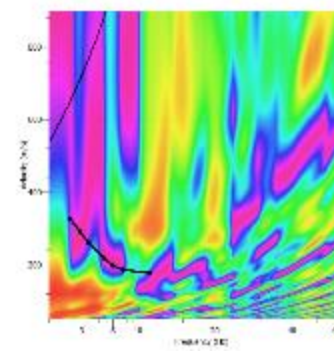
Model 20, R, U, low



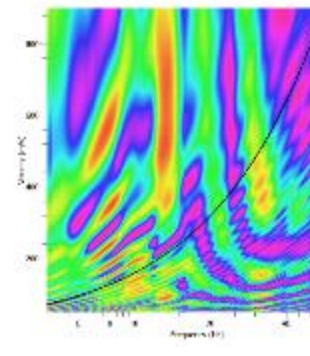
Model 20, C, R, U, low



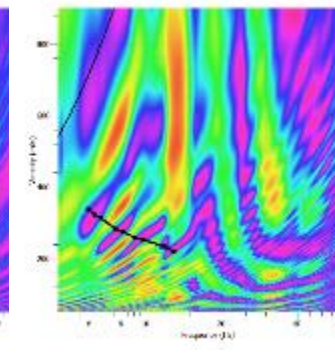
Model 20, R, U, low



Model 20, R, U, low



Model 20, C, R, U, low



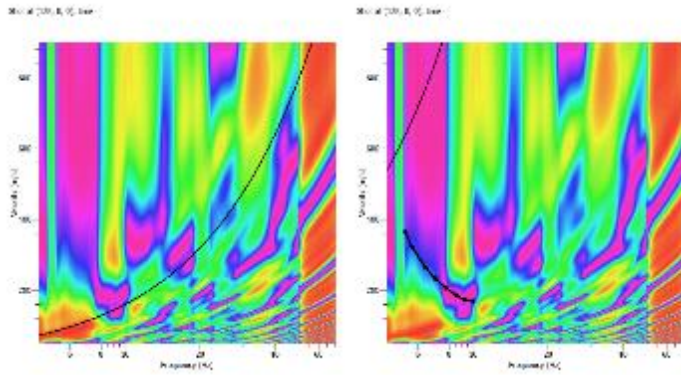
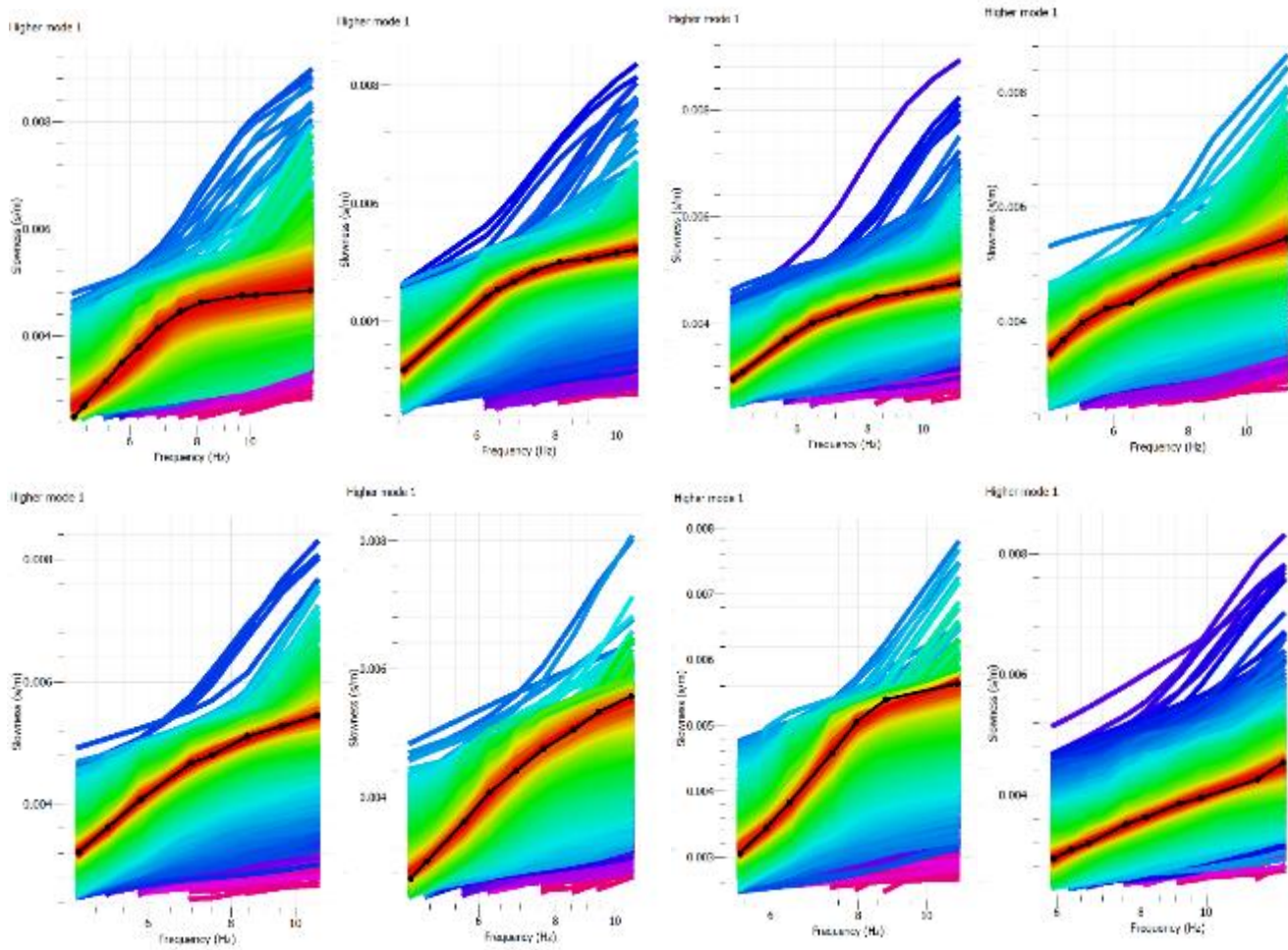


Figura A-106 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 36.

1.36.2 Curva de dispersión teórica y experimental.



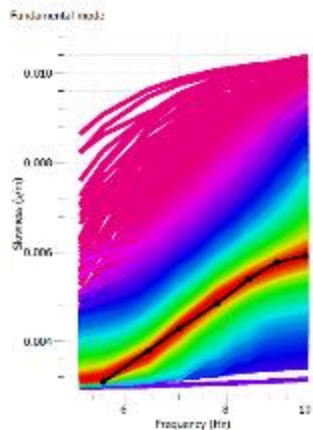
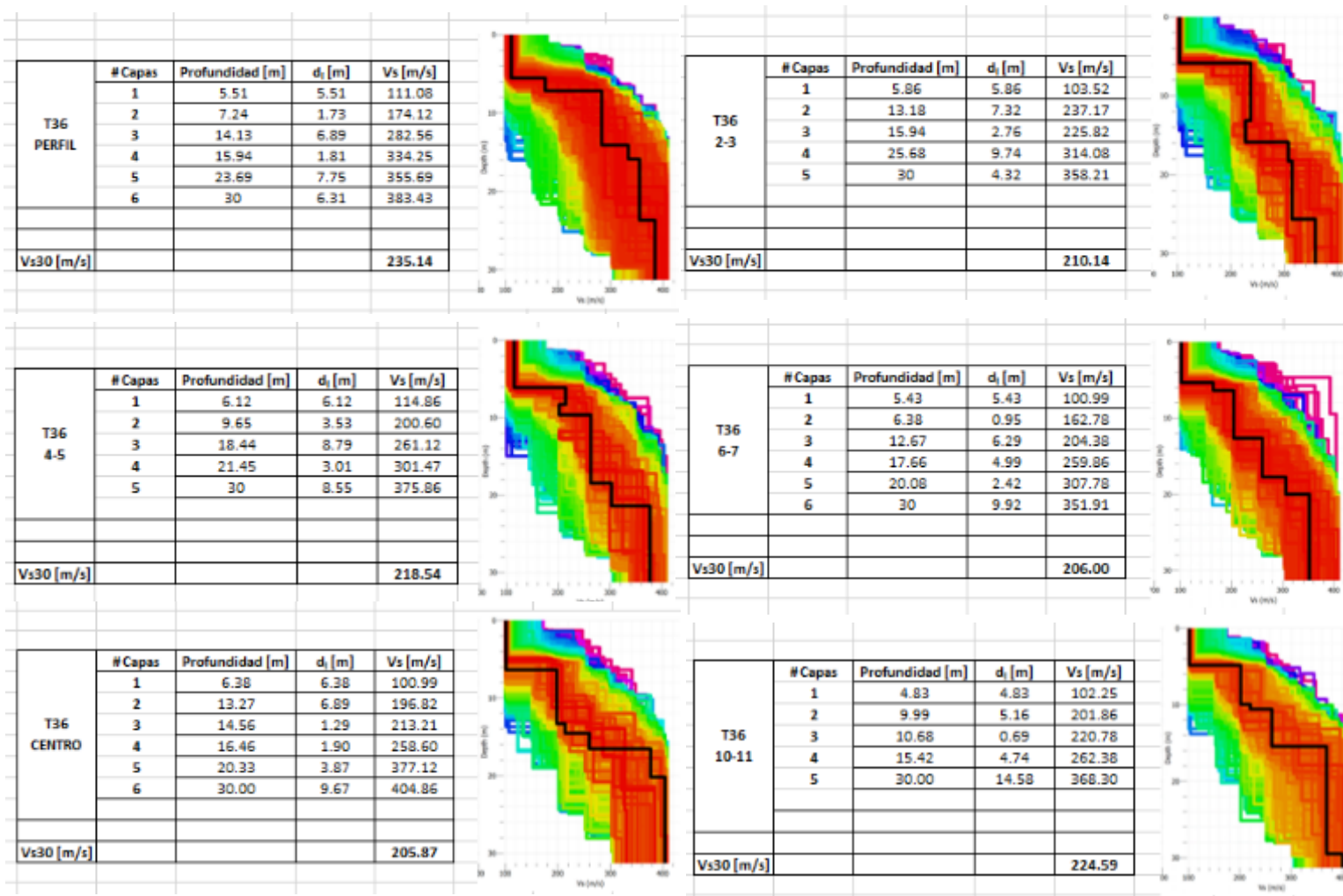


Figura A-107 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 36.

1.36.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30.



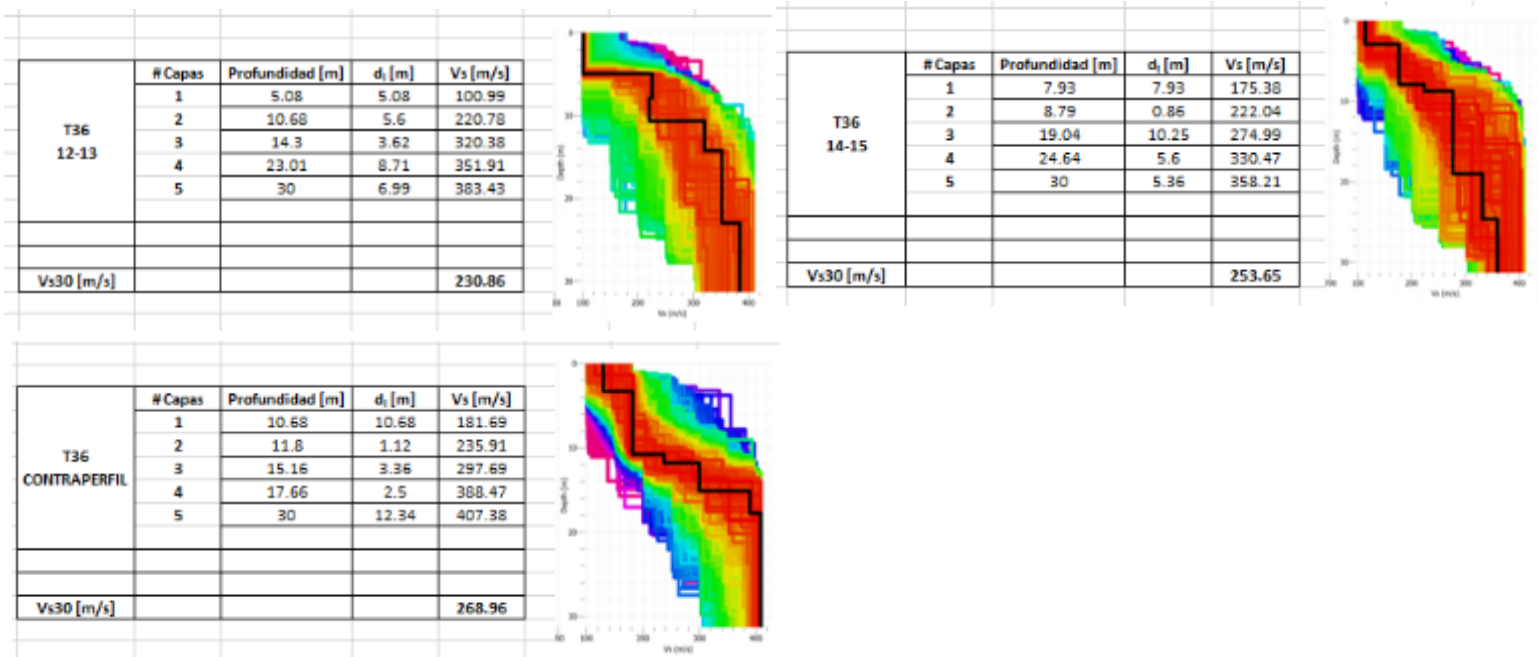
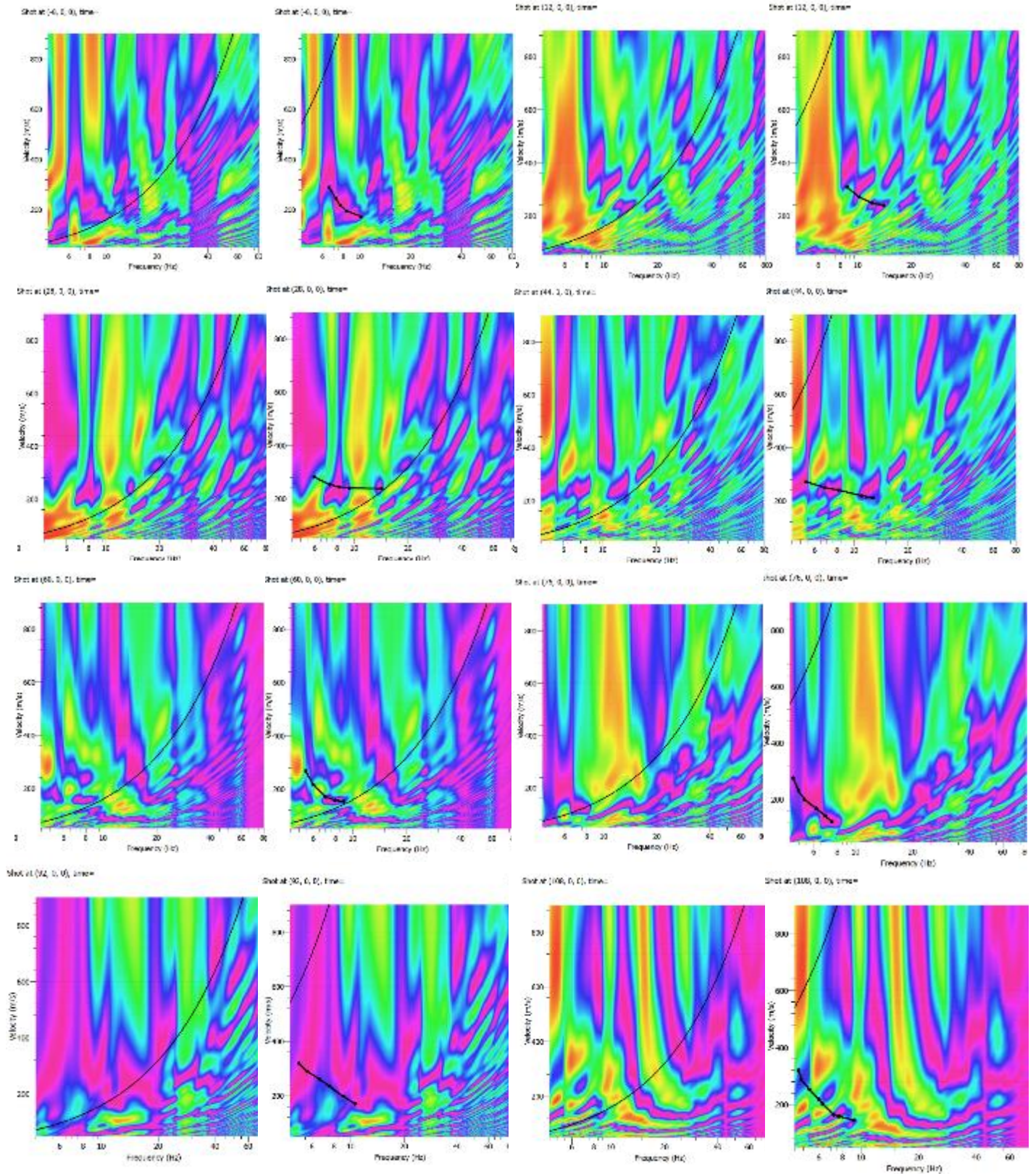


Figura A-108 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 36.

1.37 Tendido 37

TENDIDO 37			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 773792 E	17M 773797 E	17M 773791 E
	9962558 N	9962628 N	9962706 N
	3009 m	3015 m	3015 m
LONGITUD	120 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.00	
	2-3	12.00	
	4-5	28.00	
	6-7	44.00	
	8-9	60.00	
	10-11	76.00	
	12-13	92.00	
	14-15	108.00	
Contraperfil	128.00		

1.37.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia.



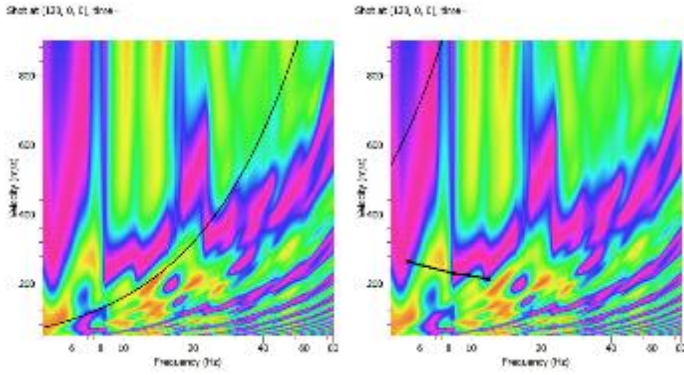
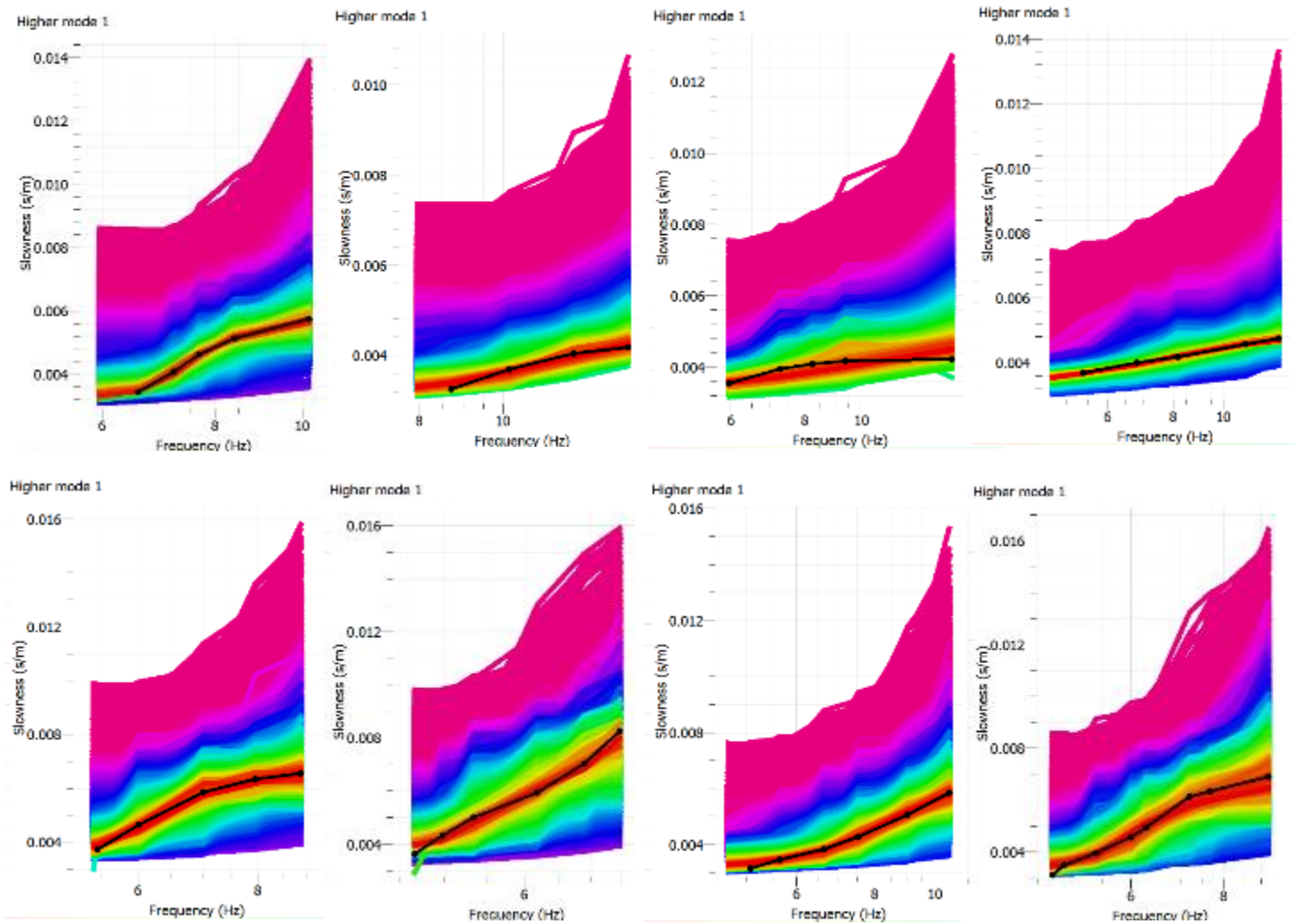


Figura A-109 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 37.

1.37.2 Curva de dispersión teórica y experimental.



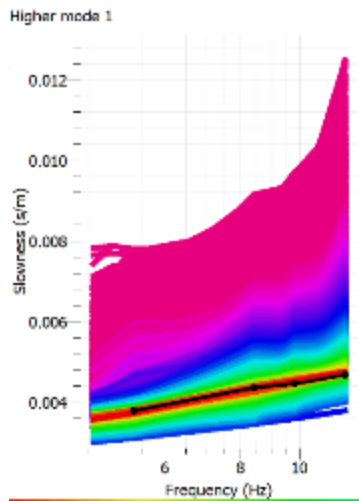
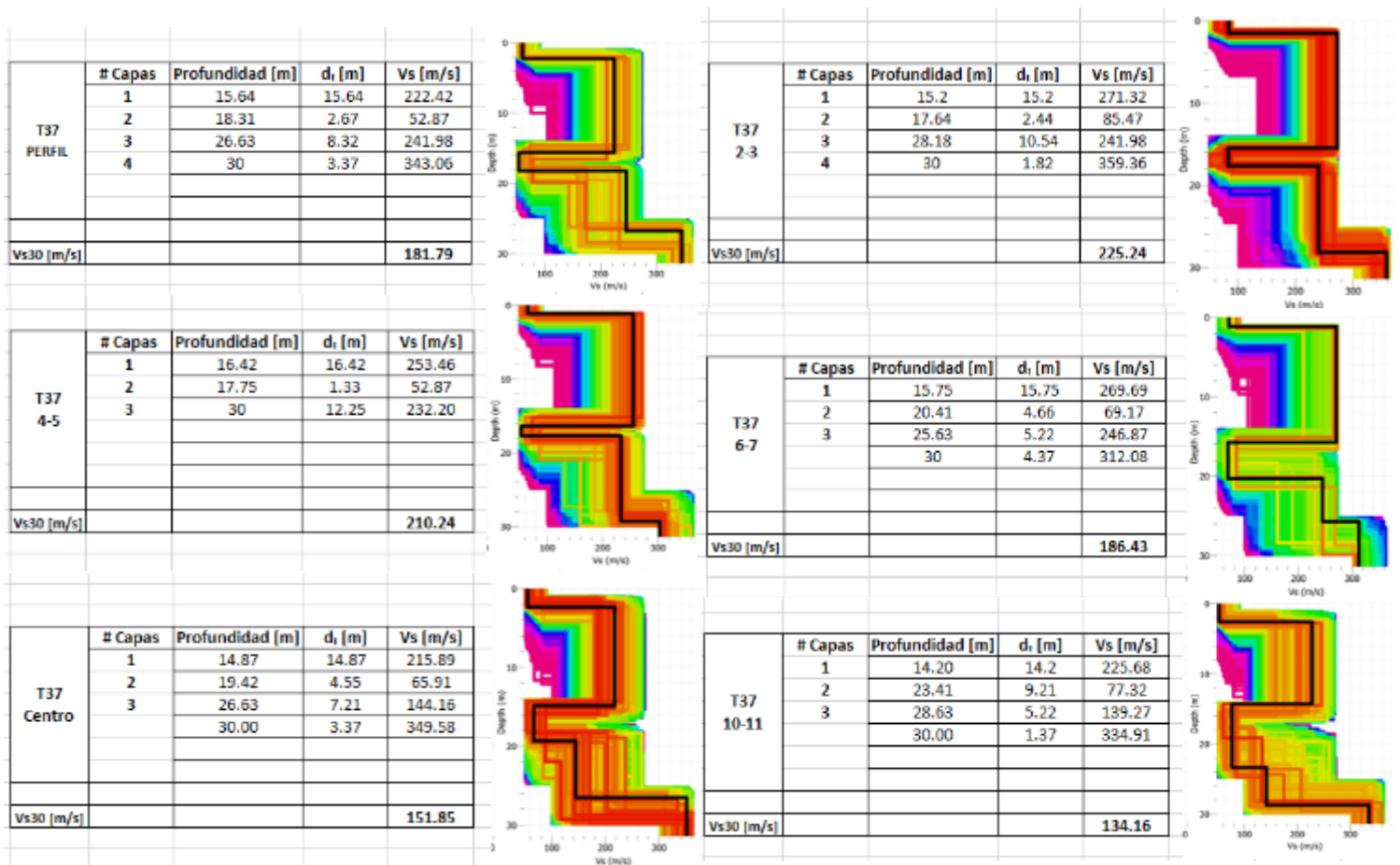


Figura A-110 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 37.

1.37.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30.



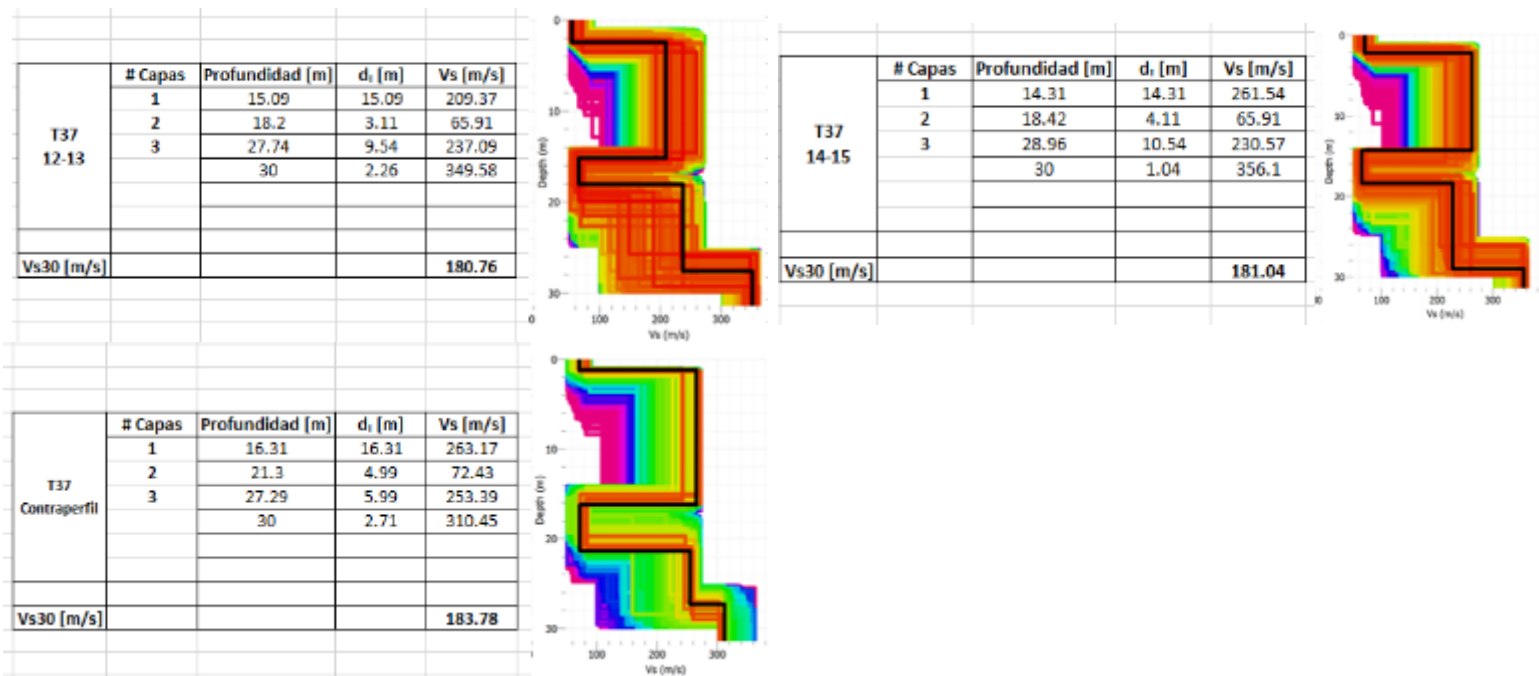
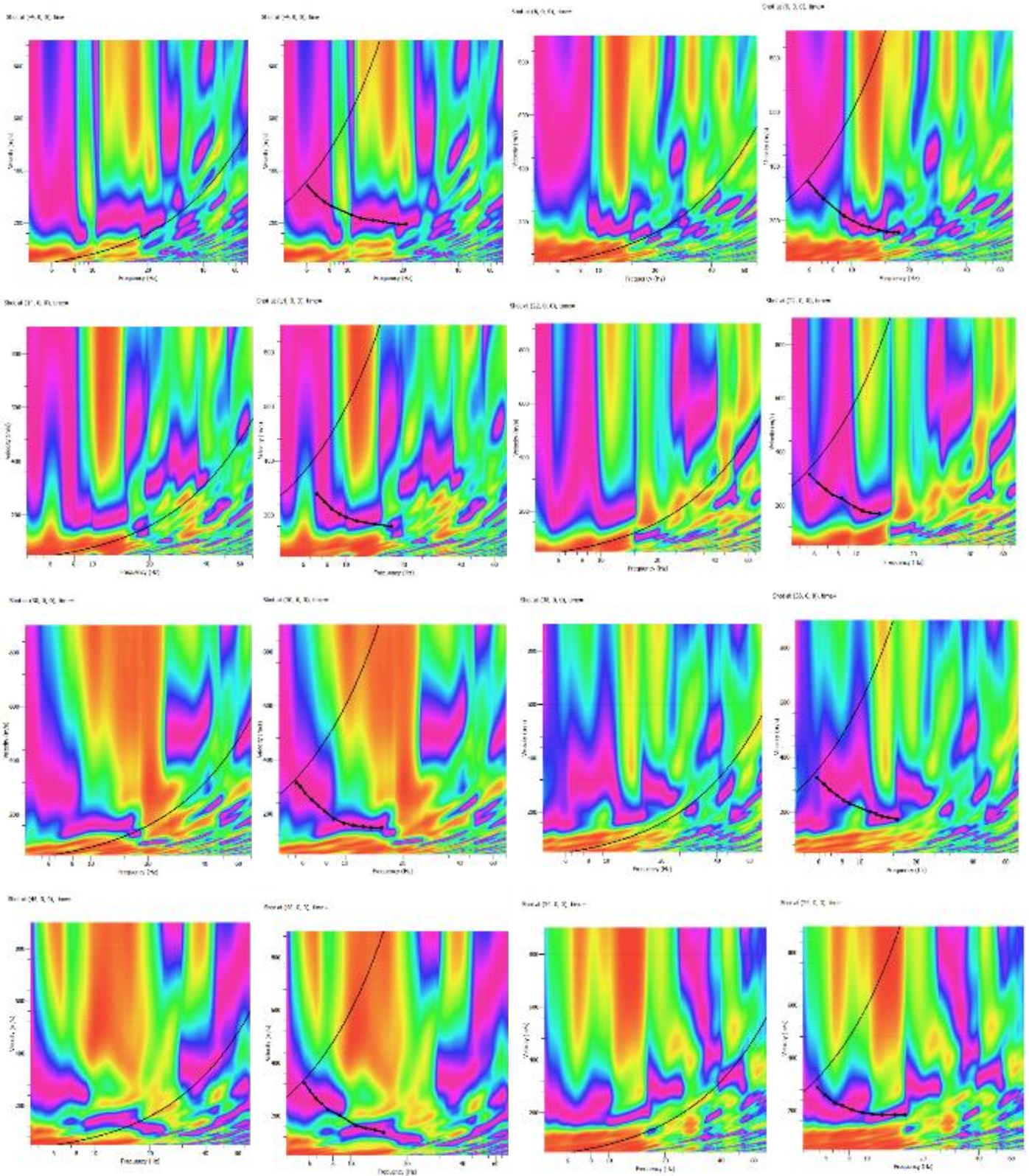


Figura A-111 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 37.

1.38 Tendido 38

TENDIDO 38			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 774022 E	17M 77981 E	17M 773947 E
	9962695 N	9962695 N	9962703 N
	2999 m	2998 m	3000 m
LONGITUD	60 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-4.00	
	2-3	6.00	
	4-5	14.00	
	6-7	22.00	
	8-9	30.00	
	10-11	38.00	
	12-13	46.00	
14-15	54.00		
Contraperfil	64.00		

1.38.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia.



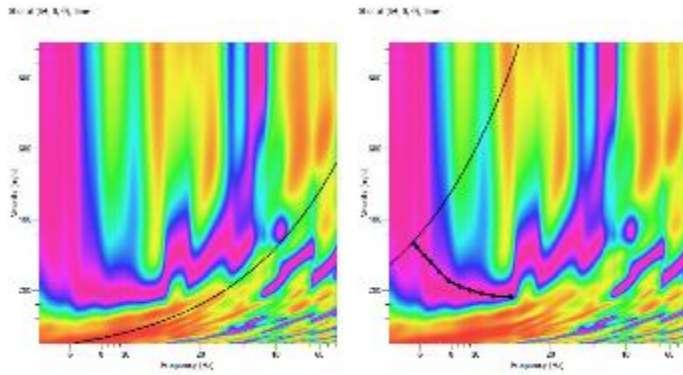
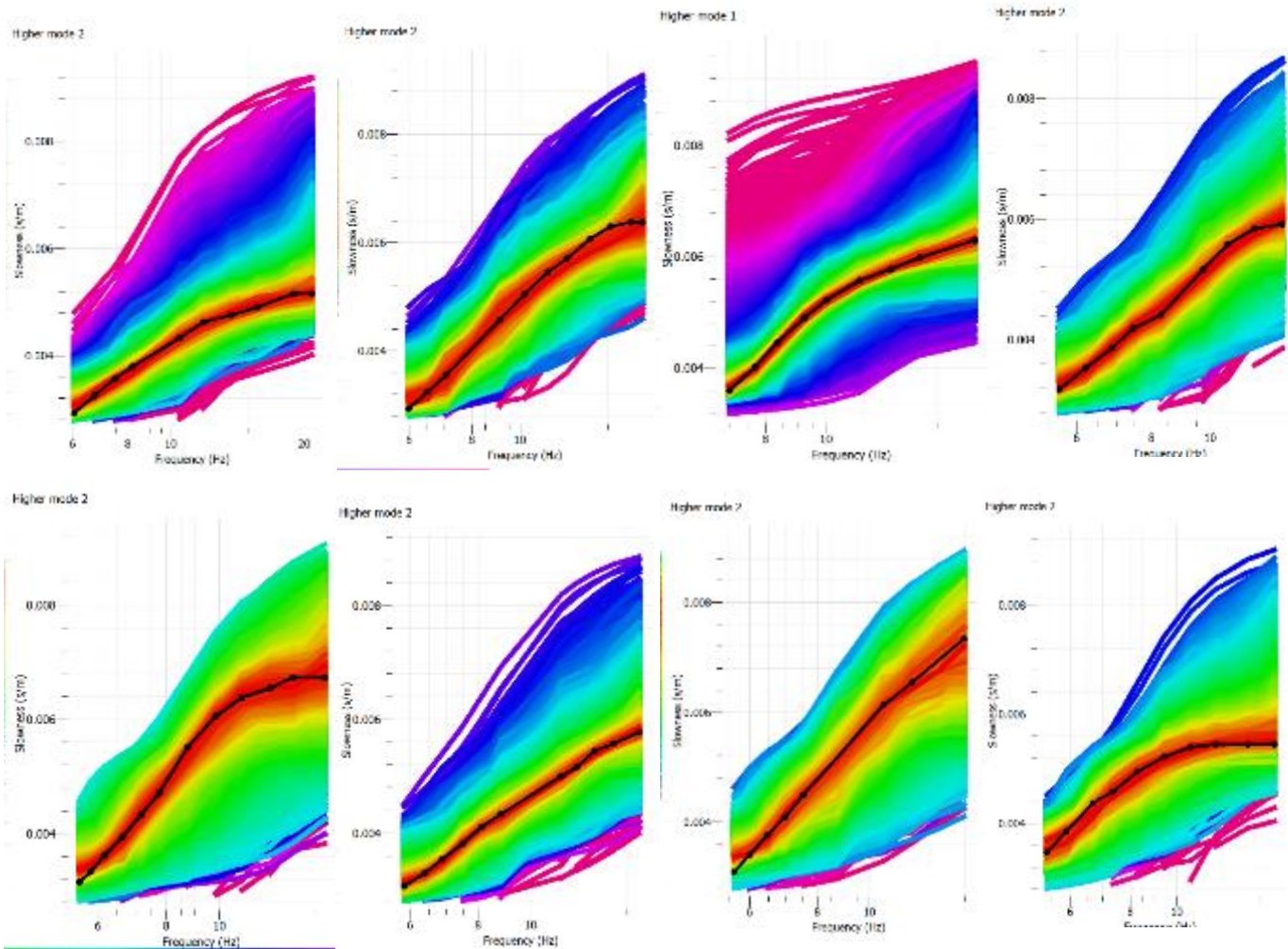


Figura A-112 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 38.

1.38.2 Curva de dispersión teórica y experimental.



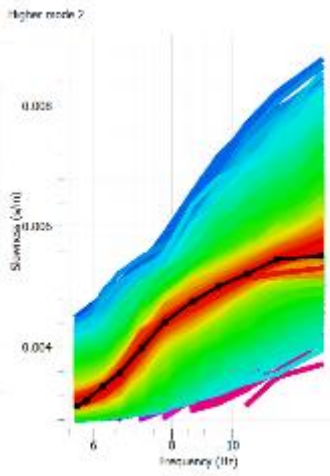
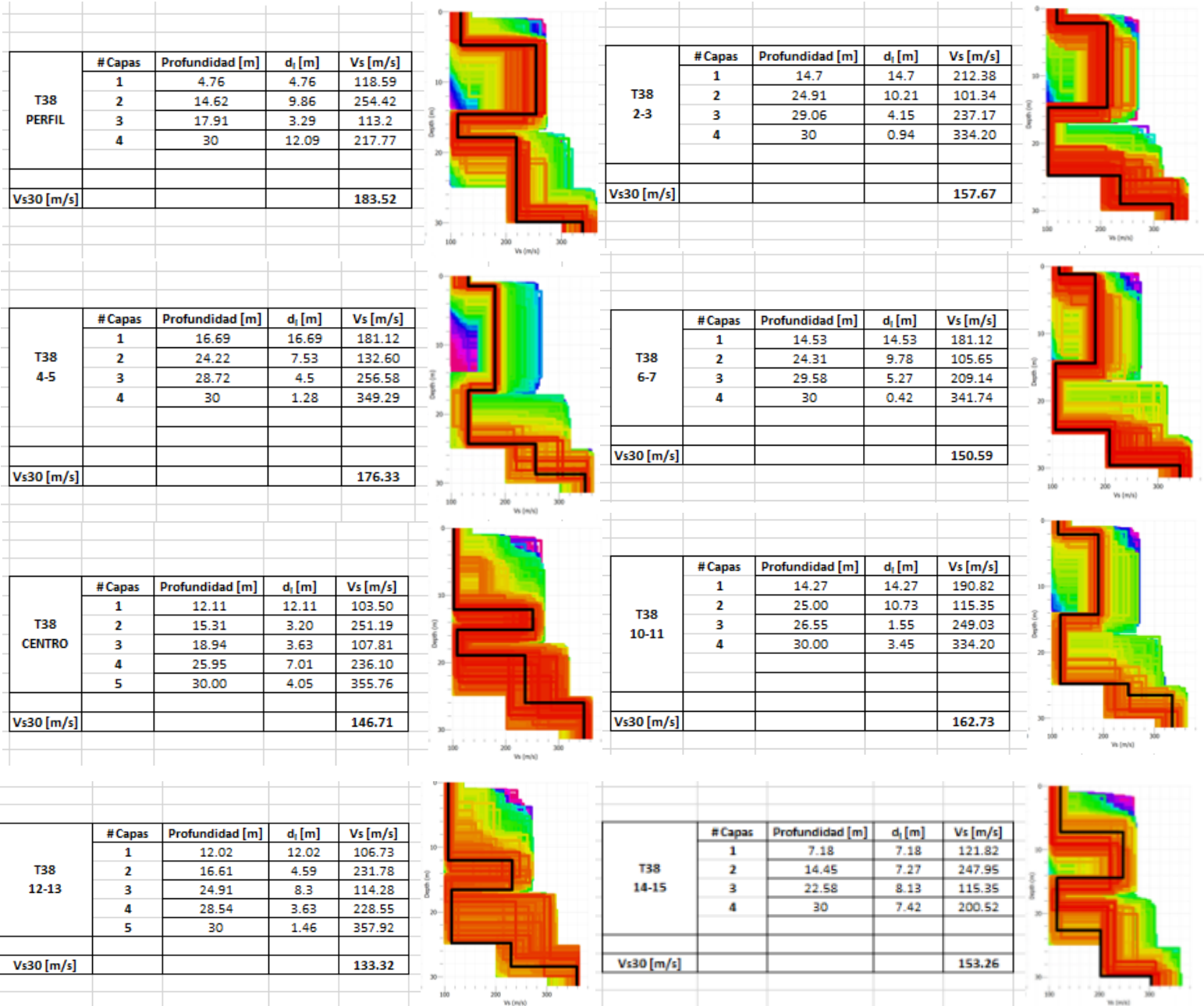


Figura A-113 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 38.

1.38.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30.



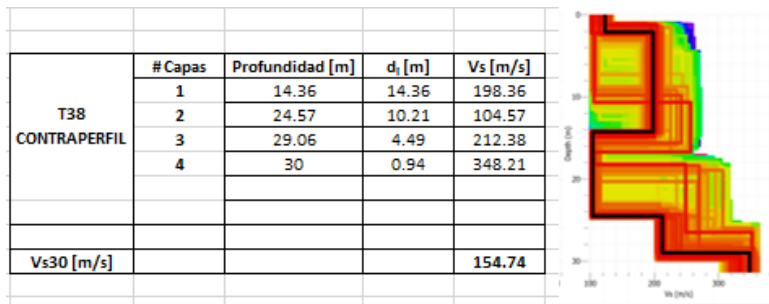
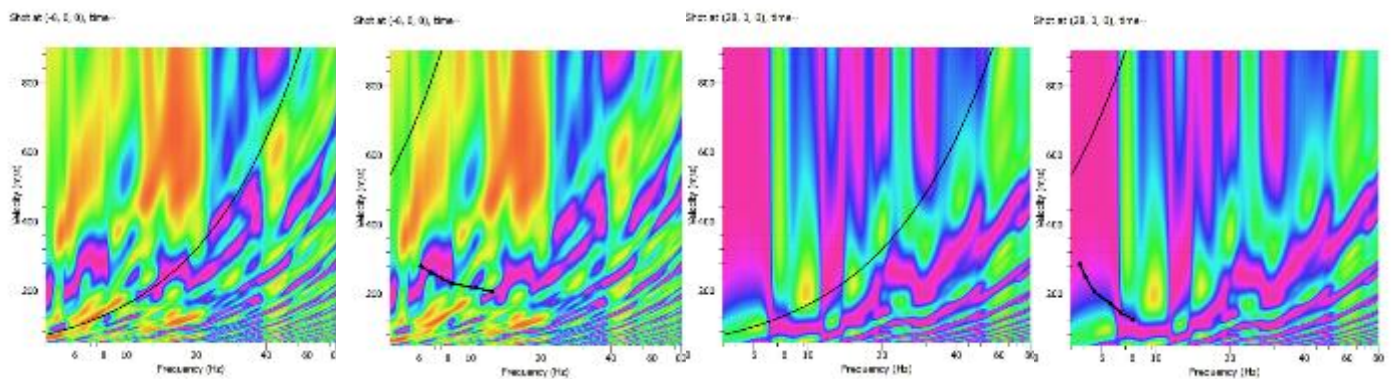


Figura A-114 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 38

1.39 Tendido 39

TENDIDO 39			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 773984 E	17M 773980 E	17M 773981 E
	9962695 N	9962763 N	9962834 N
	2997 m	2997 m	2993 m
LONGITUD	120 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.00	
	2-3	12.00	
	4-5	28.00	
	6-7	44.00	
	8-9	60.00	
	10-11	76.00	
	12-13	92.00	
	14-15	108.00	
	Contraperfil	128.00	

1.39.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia.



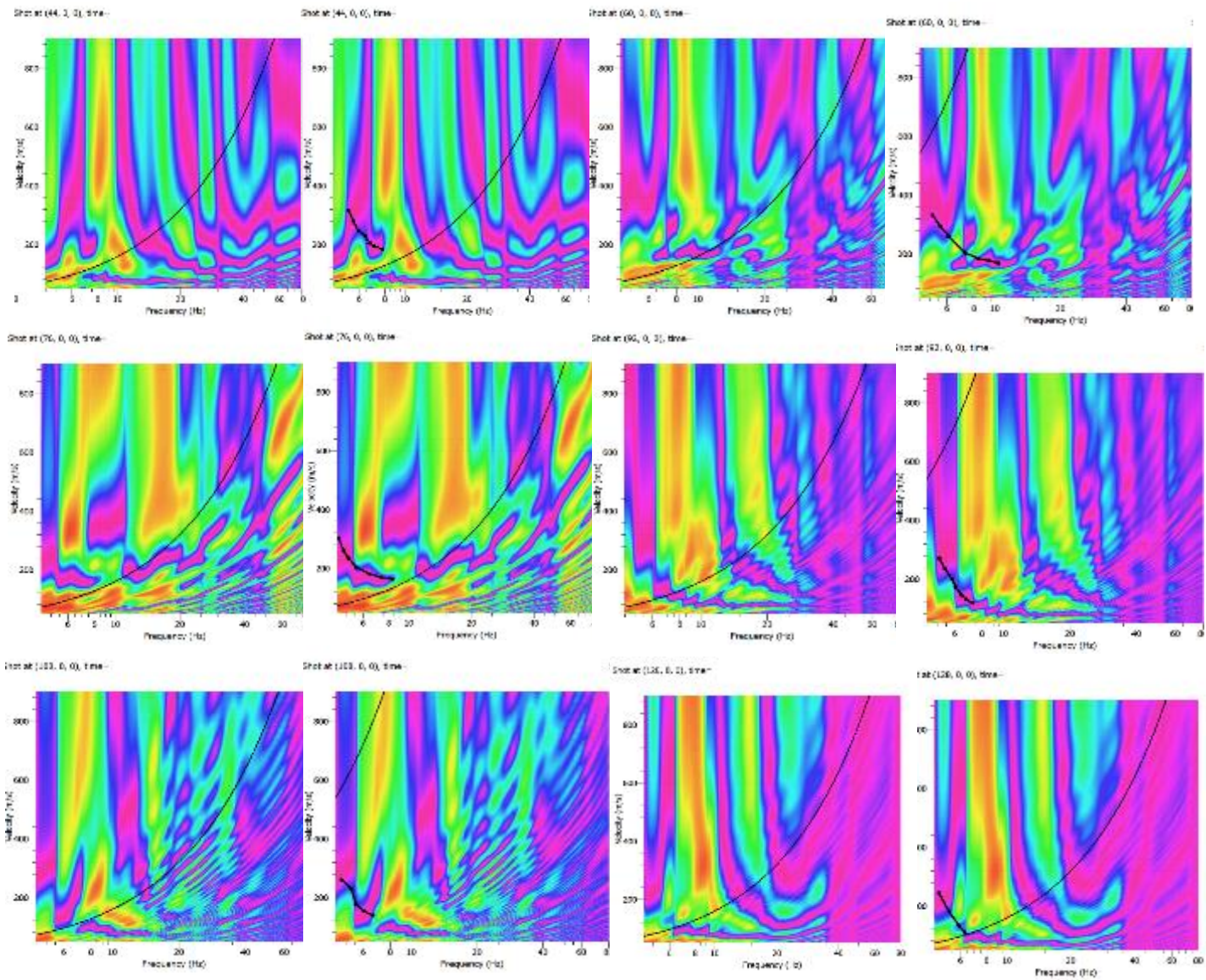


Figura A-115 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 39.

1.39.2 Curva de dispersión teórica y experimental.

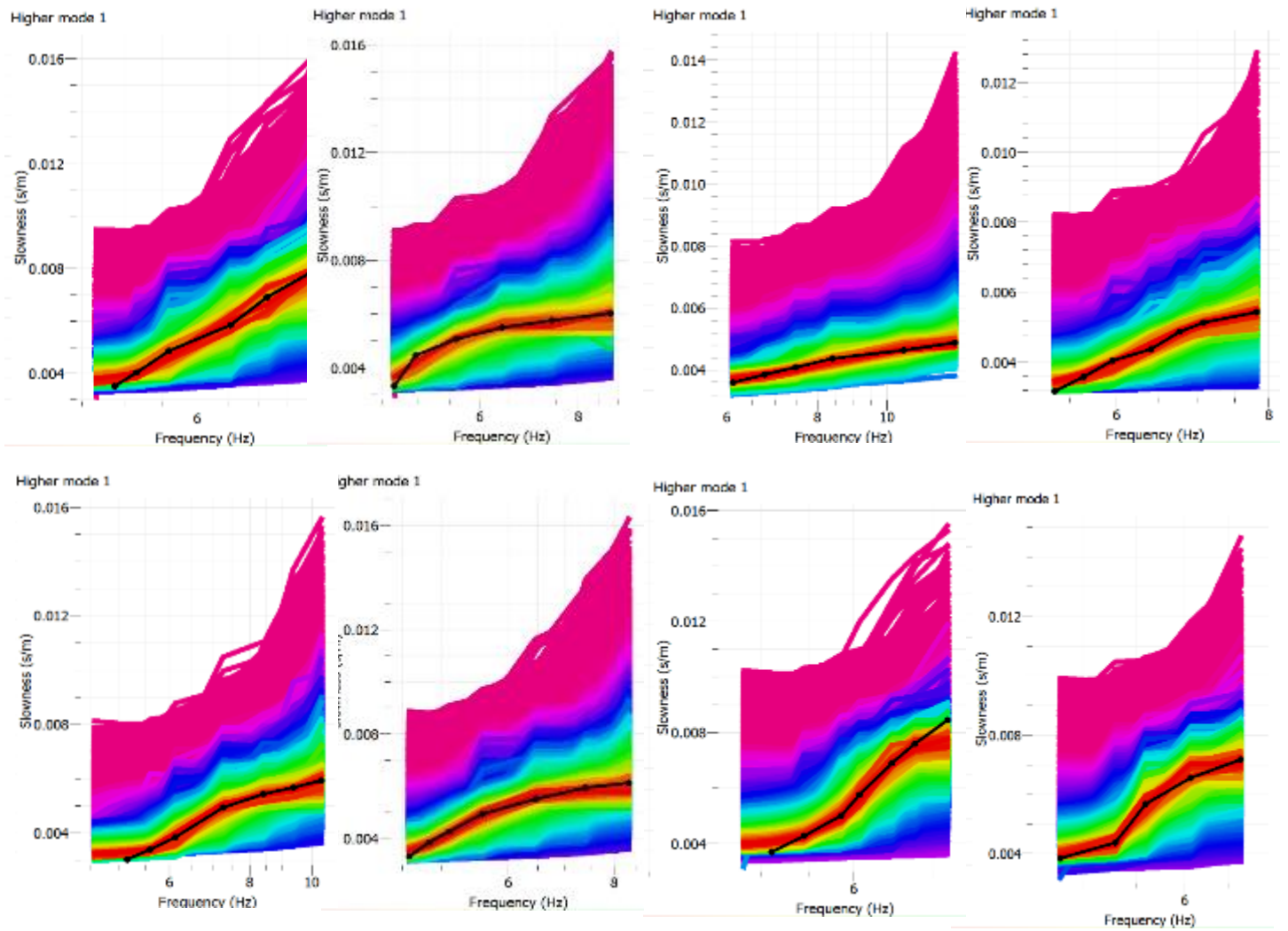


Figura A-116 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 39.

1.39.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30.

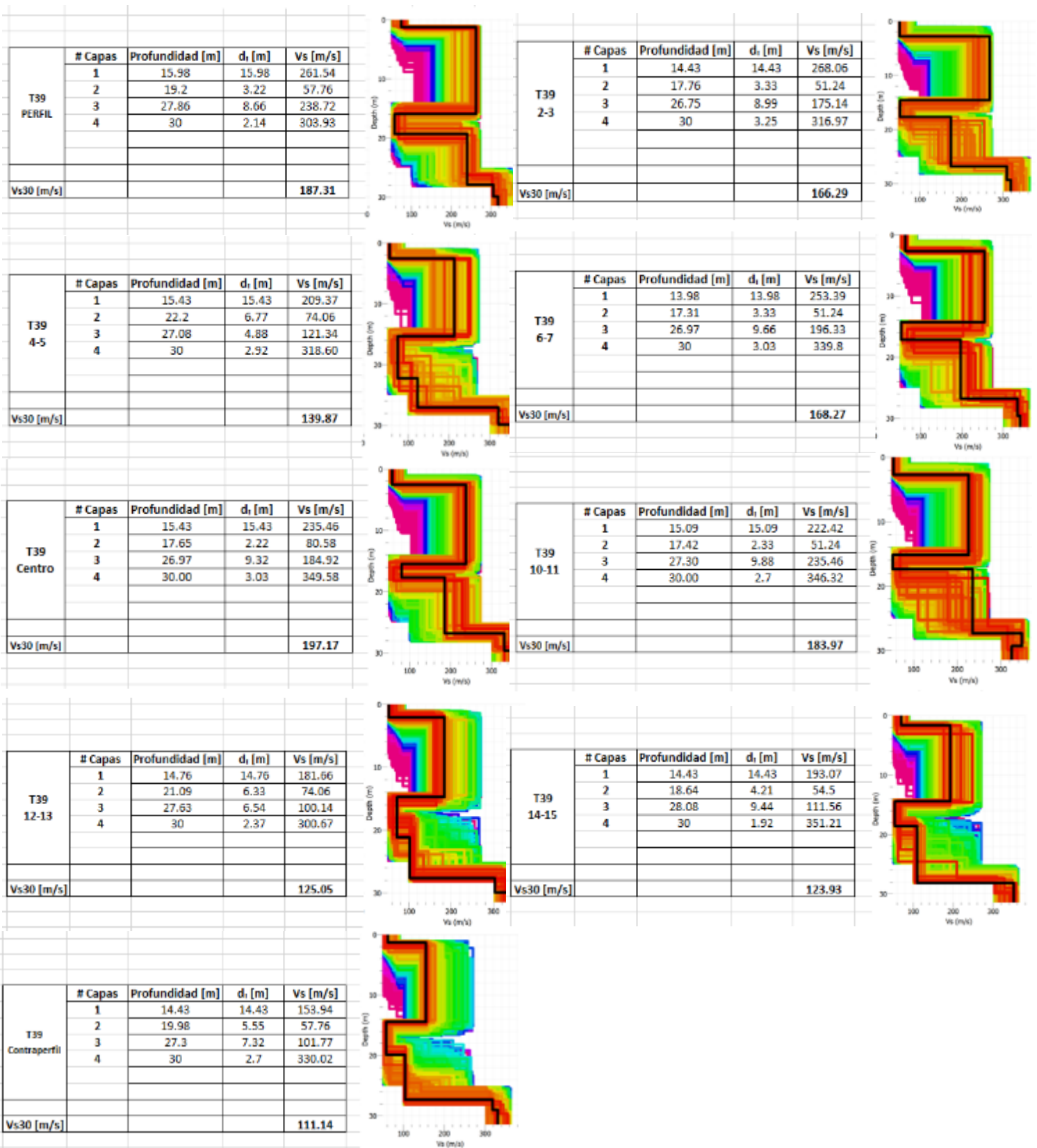
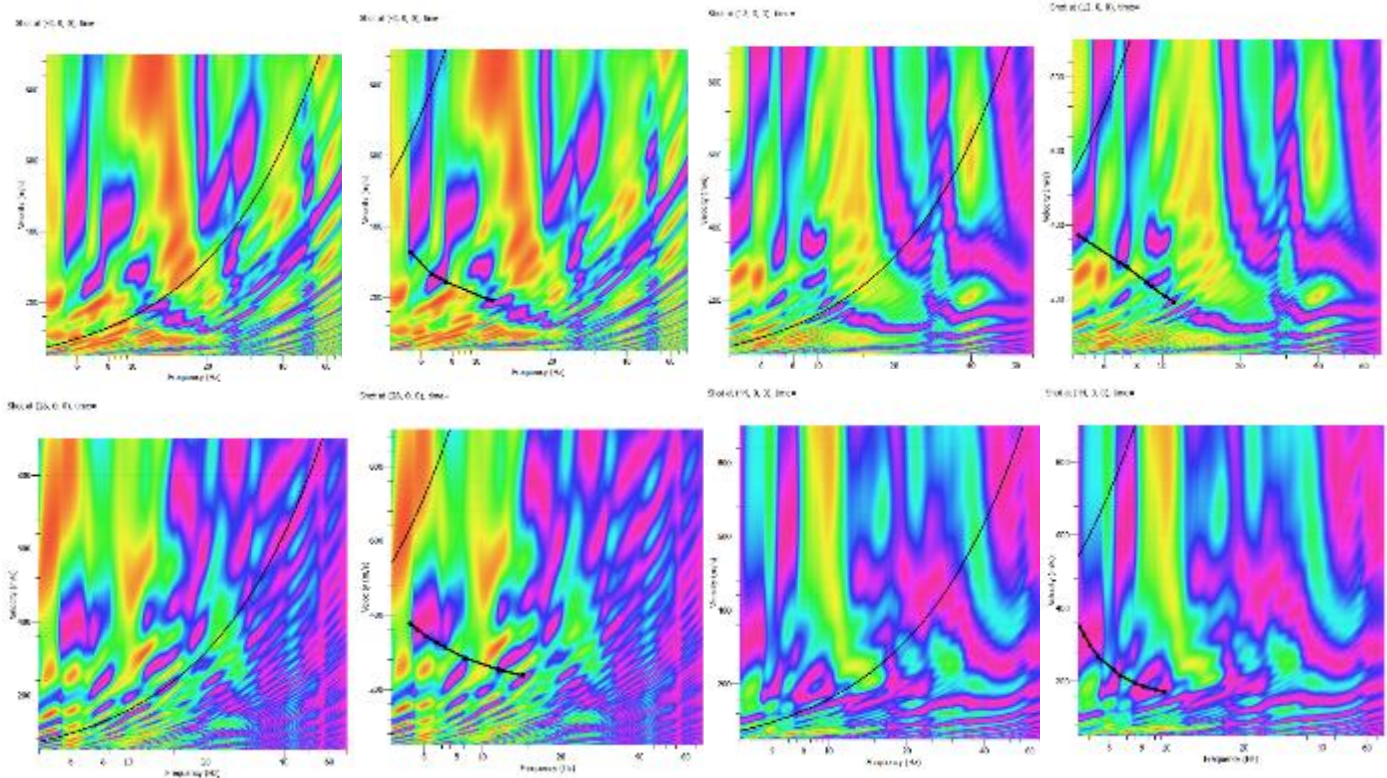


Figura A-117 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 39.

1.40 Tendido 40

TENDIDO 40			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 774191 E	17M 774119 E	17M 774032 E
	9962686 N	9962692 N	9962695 N
	3002 m	2996 m	2996 m
LONGITUD	120 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.00	
	2-3	12.00	
	4-5	28.00	
	6-7	44.00	
	8-9	60.00	
	10-11	76.00	
	12-13	92.00	
	14-15	108.00	
Contraperfil	128.00		

1.40.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia.



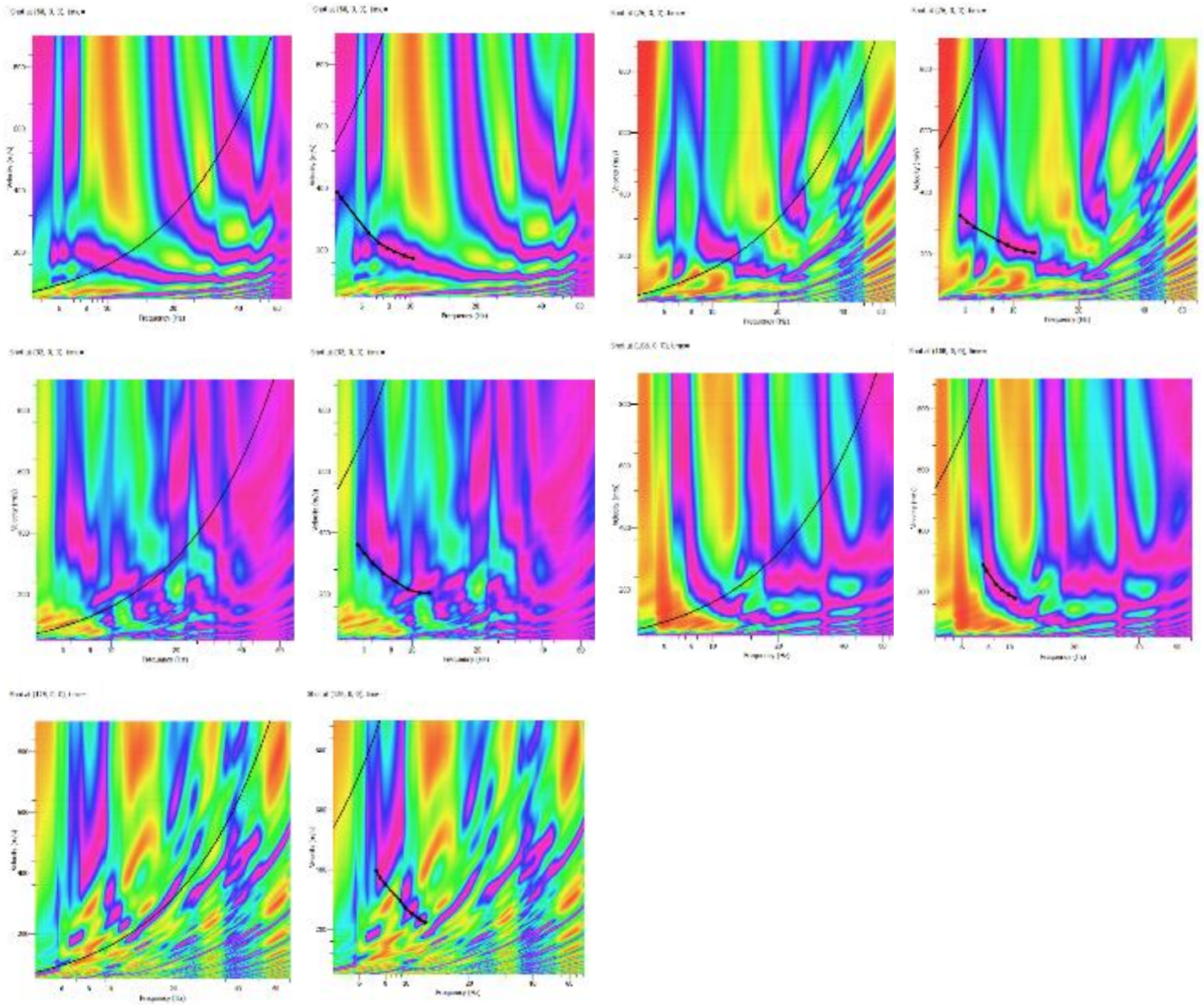


Figura A-118 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 40.

1.40.2 Curva de dispersión teórica y experimental.

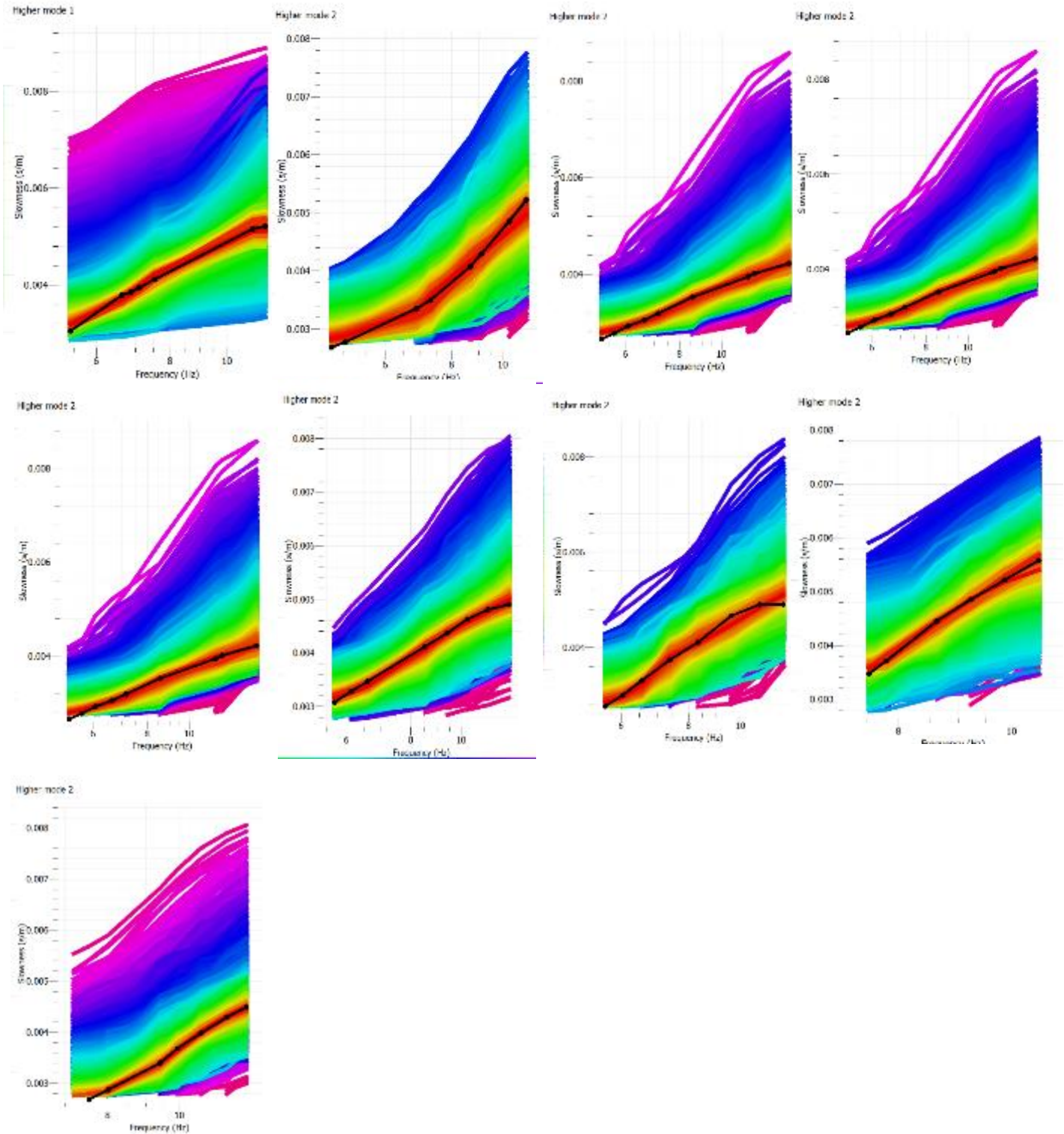


Figura A-119 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 40.

1.40.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30.

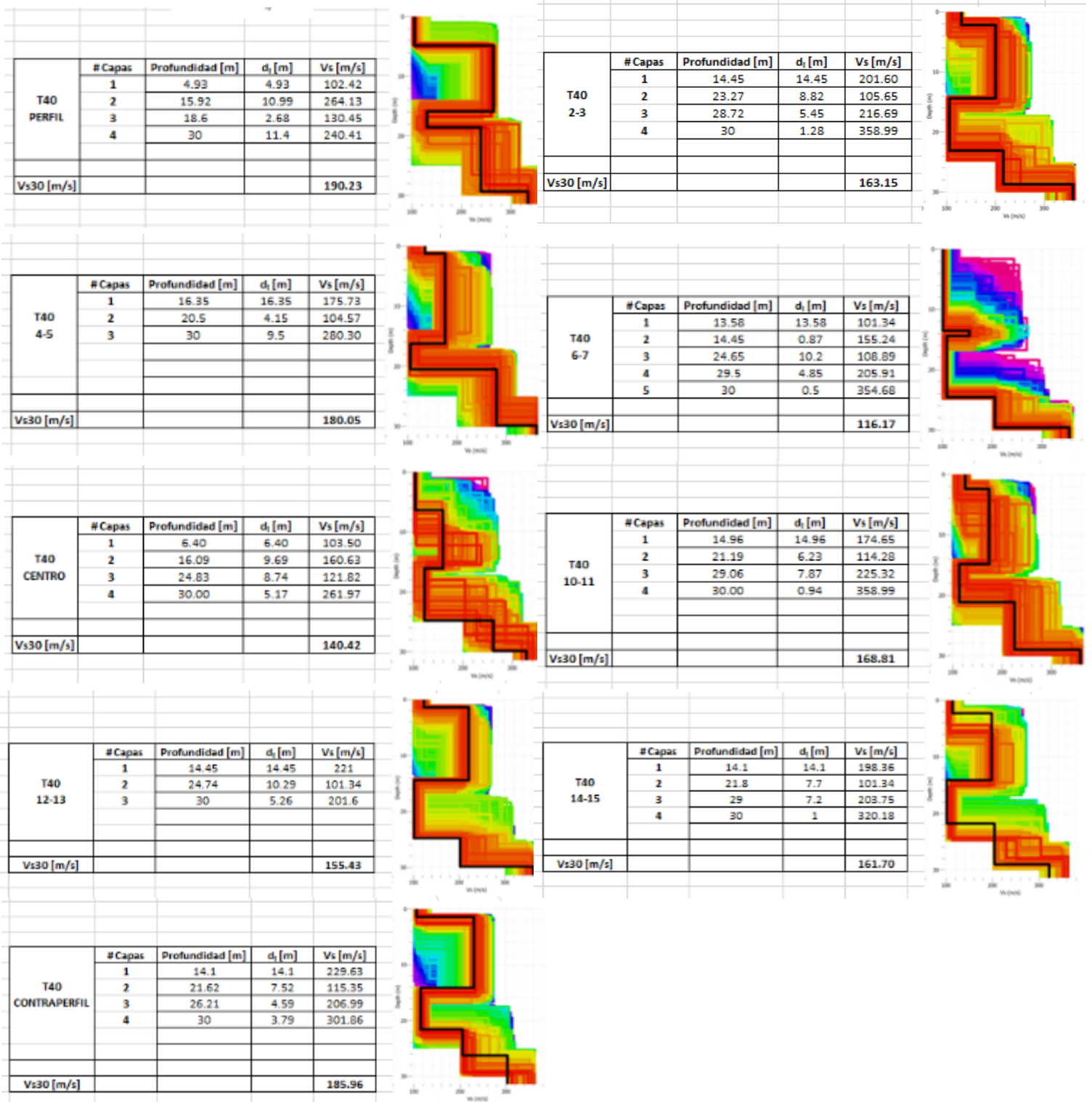


Figura A-120 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 40.

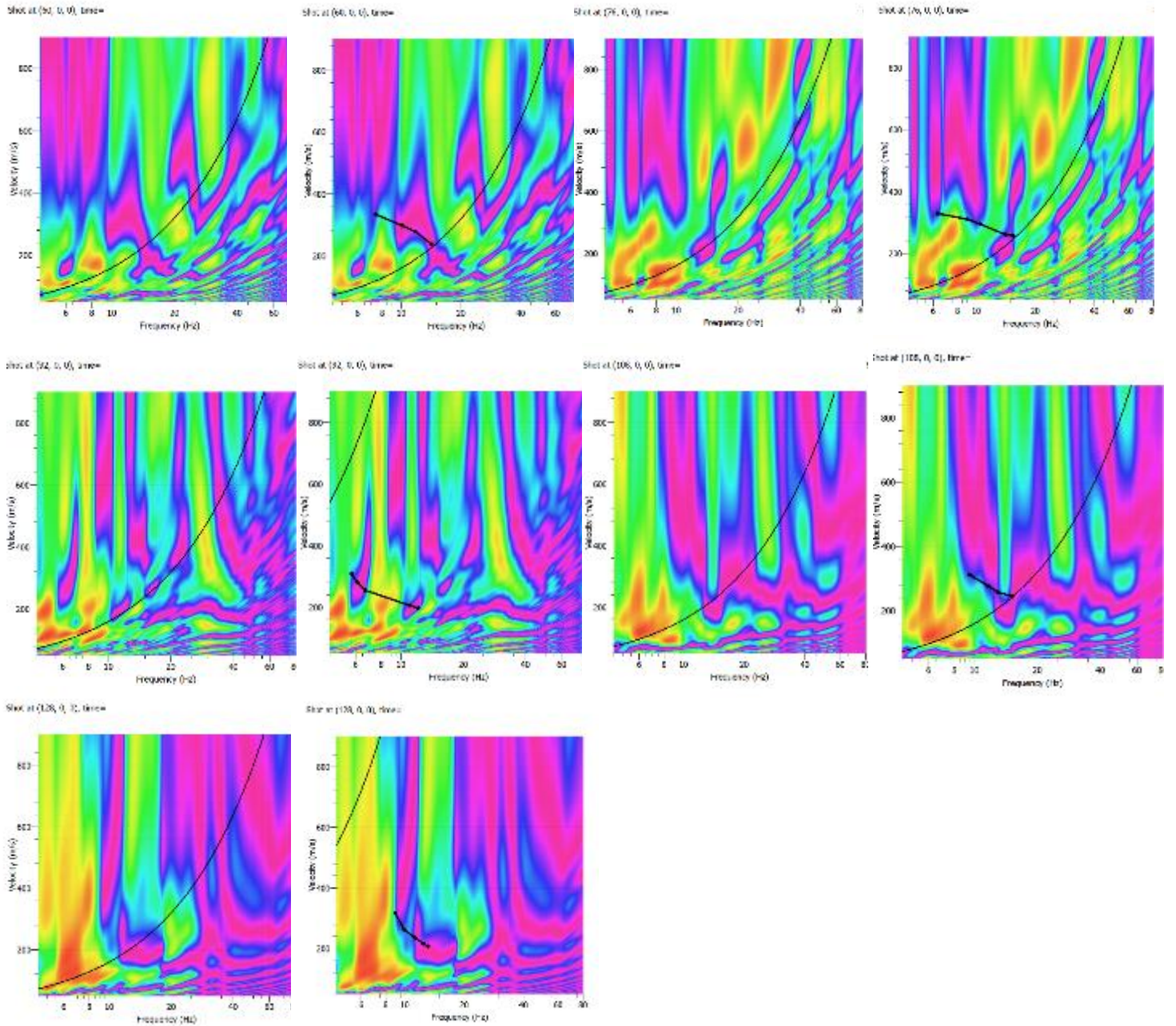


Figura A-121 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 41.

1.41.2 Curva de dispersión teórica y experimental.

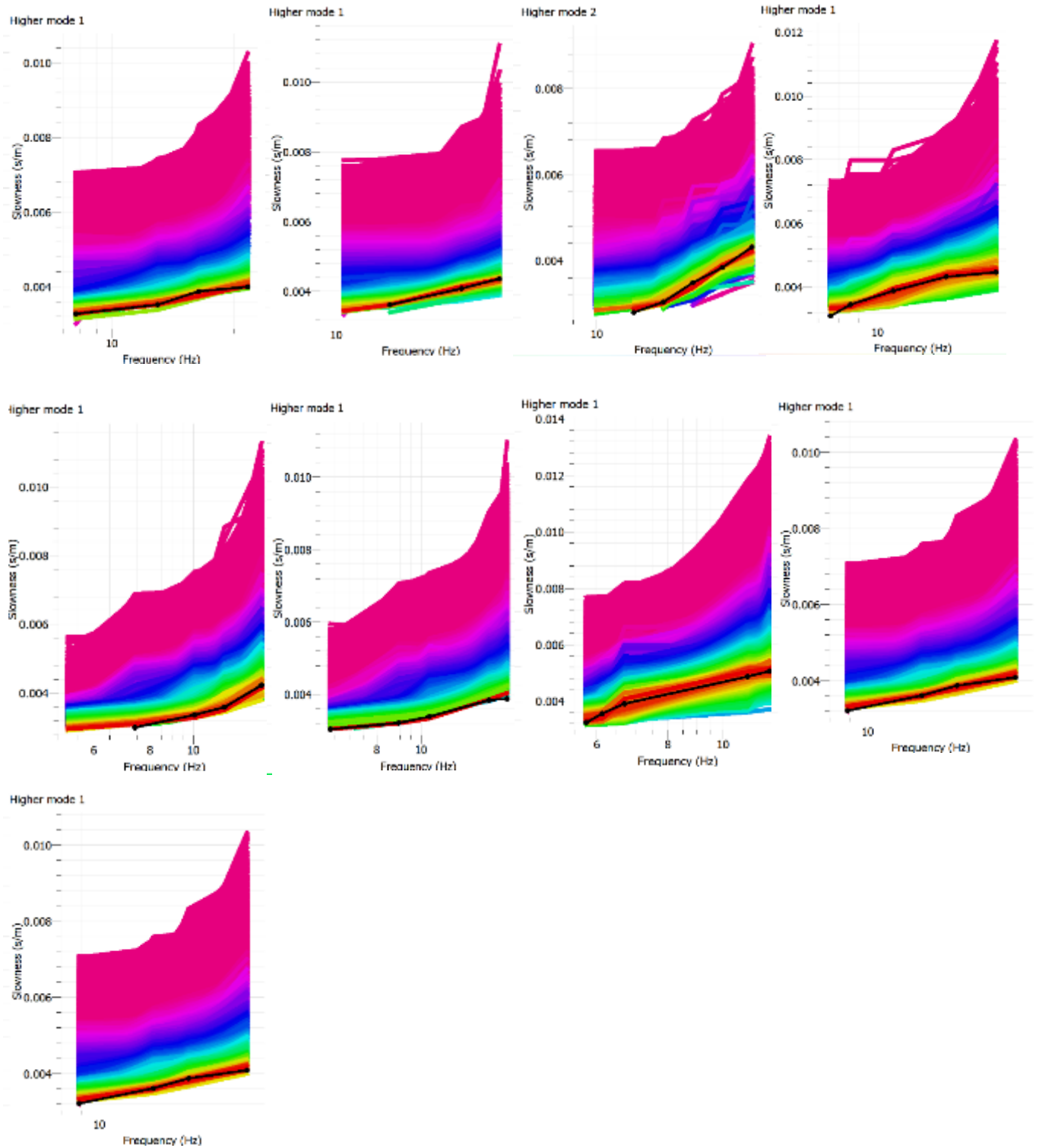
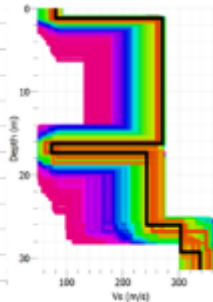


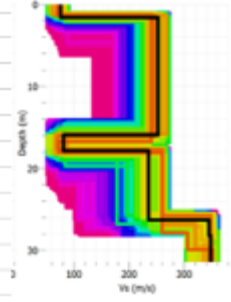
Figura A-122 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 41.

1.41.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30.

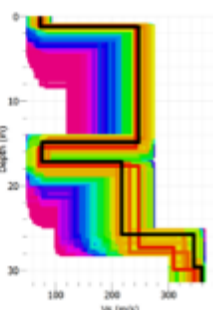
T41 PERFIL	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	16.2	16.2	269.69
	2	17.31	1.11	70.8
	3	25.97	8.66	241.98
	4	30	4.03	338.17
Vs30 [m/s]				243.01



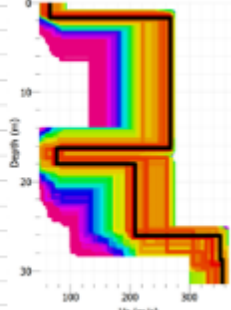
T41 2-3	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	15.98	15.98	248.50
	2	17.76	1.78	83.84
	3	26.3	8.54	235.46
	4	30	3.7	347.95
Vs30 [m/s]				226.52



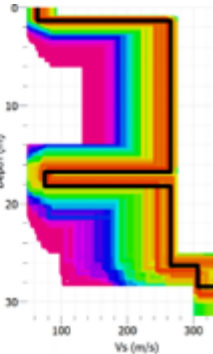
T41 4-5	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	14.76	14.76	246.87
	2	15.09	0.33	75.69
	3	25.64	10.55	217.53
	4	30	4.36	359.36
Vs30 [m/s]				240.42



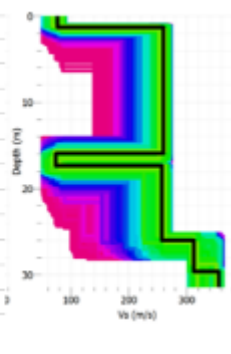
T41 6-7	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	16.31	16.31	266.43
	2	18.09	1.78	77.32
	3	26.08	7.99	209.37
	4	30	3.92	356.1
Vs30 [m/s]				224.87



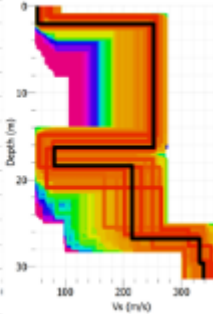
T41 Centro	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	16.76	16.76	263.17
	2	18.31	1.55	74.06
	3	26.30	7.99	263.17
	4	30.00	3.7	359.36
Vs30 [m/s]				239.48



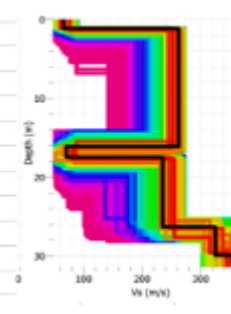
T41 10-11	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	15.98	15.98	256.65
	2	17.31	1.33	74.06
	3	26.02	8.708	256.65
	4	30.00	3.982	352.84
Vs30 [m/s]				239.16



T41 12-13	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	16.2	16.2	250.13
	2	18.31	2.11	82.21
	3	26.75	8.44	215.89
	4	30	3.25	336.54
Vs30 [m/s]				215.54



T41 14-15	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	15.98	15.98	263.17
	2	17.65	1.67	70.8
	3	26.3	8.65	237.09
	4	30	3.7	354.47
Vs30 [m/s]				228.60



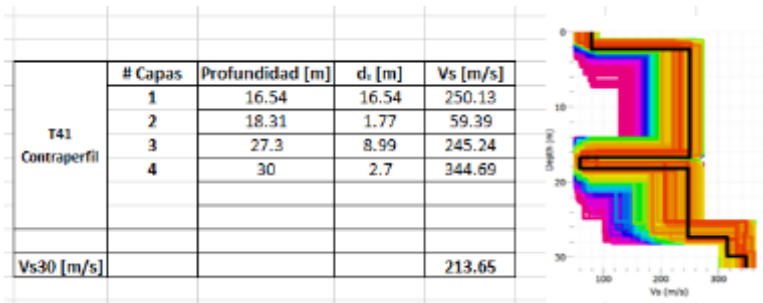


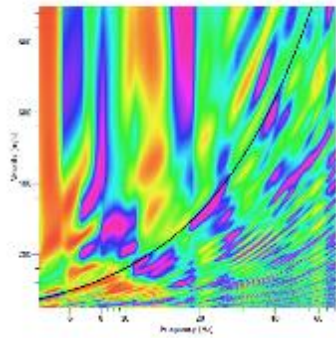
Figura A-123 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 41.

1.42 Tendido 42

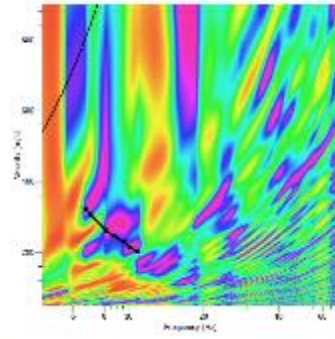
TENDIDO 42			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 774292 E	17M 774315 E	17M 774334 E
	9962789 N	9962860 N	9962920 N
	2994 m	2993 m	2995 m
LONGITUD	120 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.00	
	2-3	12.00	
	4-5	28.00	
	6-7	44.00	
	8-9	60.00	
	10-11	76.00	
	12-13	92.00	
14-15	108.00		
Contraperfil	128.00		

1.42.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia.

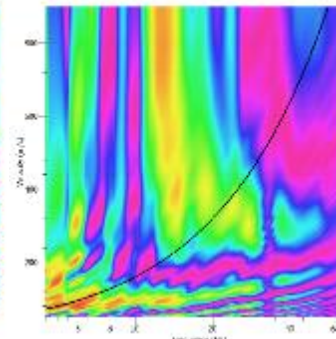
Distal 20, R, 0, low



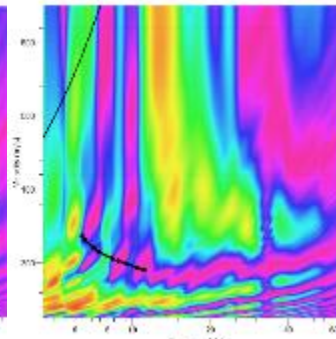
Distal 20, R, 0, low



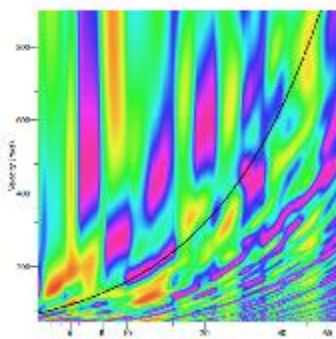
Distal 20, O, 0, low



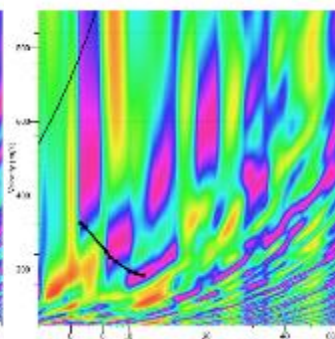
Distal 20, L, 0, low



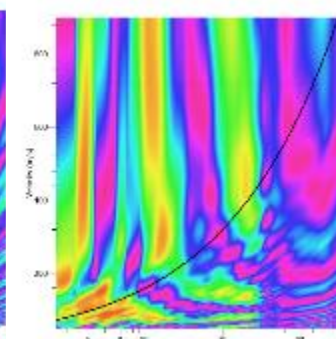
Distal 40, R, 0, low



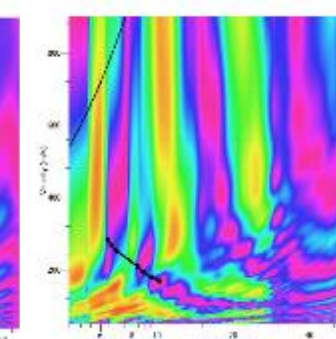
Distal 40, C, 0, low



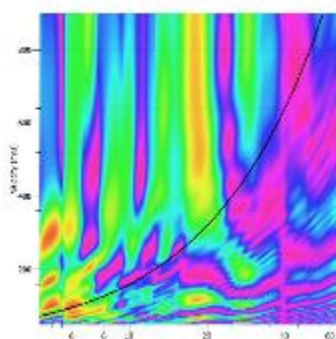
Distal 40, S, 0, low



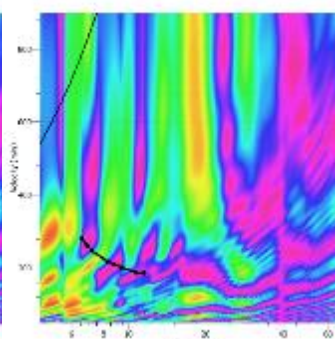
Distal 40, O, 0, low



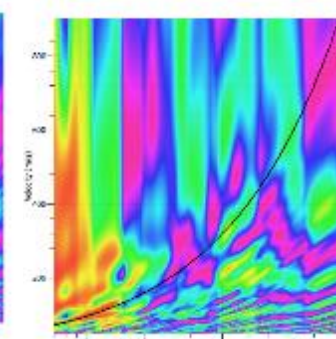
Distal 60, R, 0, low



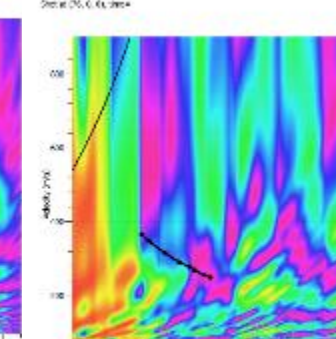
Distal 60, S, 0, low



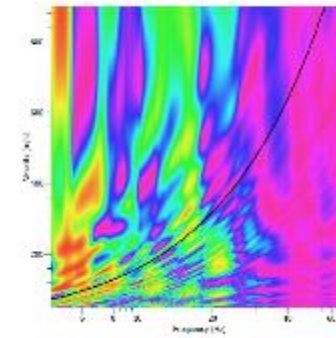
Distal 60, C, 0, low



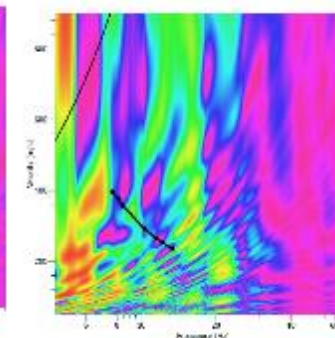
Distal 60, O, 0, low



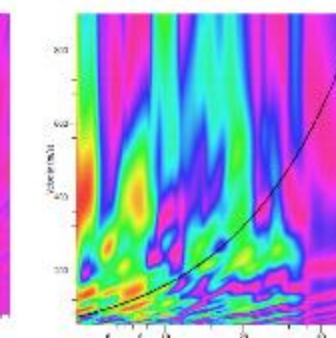
Distal 20, R, 0, low



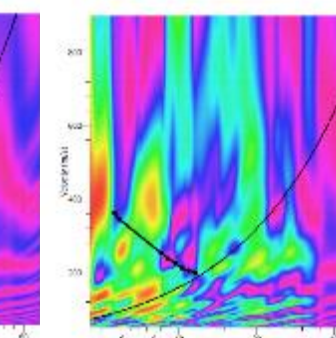
Distal 20, R, 0, low



Distal 20, C, 0, low



Distal 20, C, 0, low



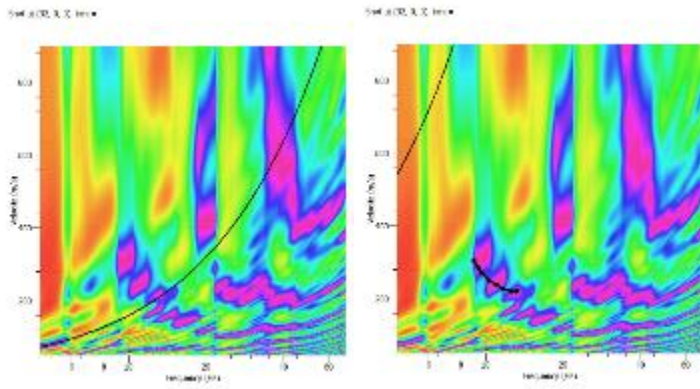
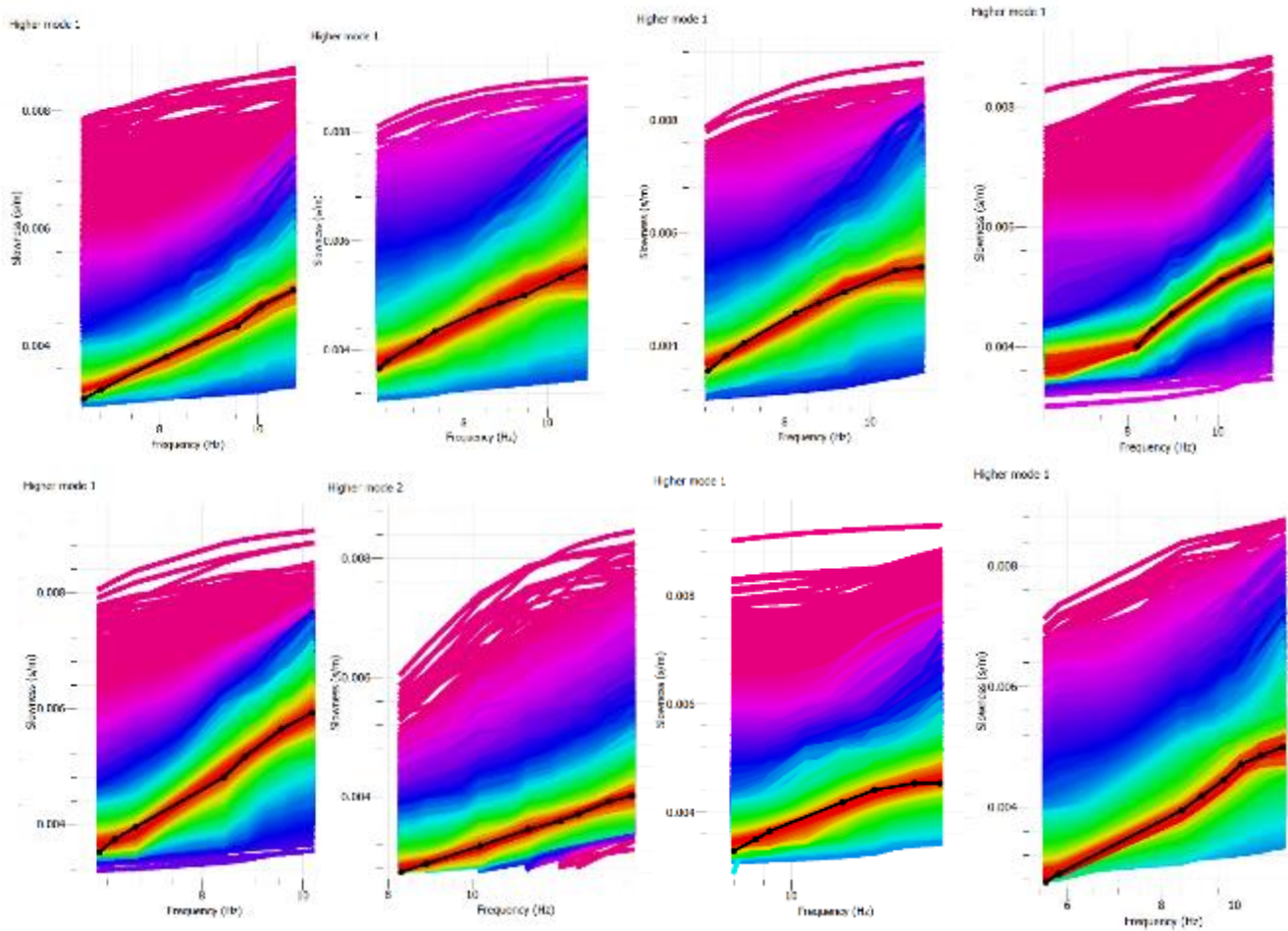


Figura A-124 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 42.

1.42.2 Curva de dispersión teórica y experimental.



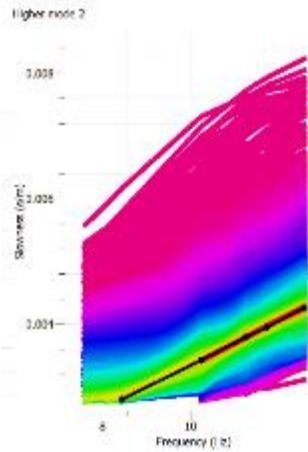
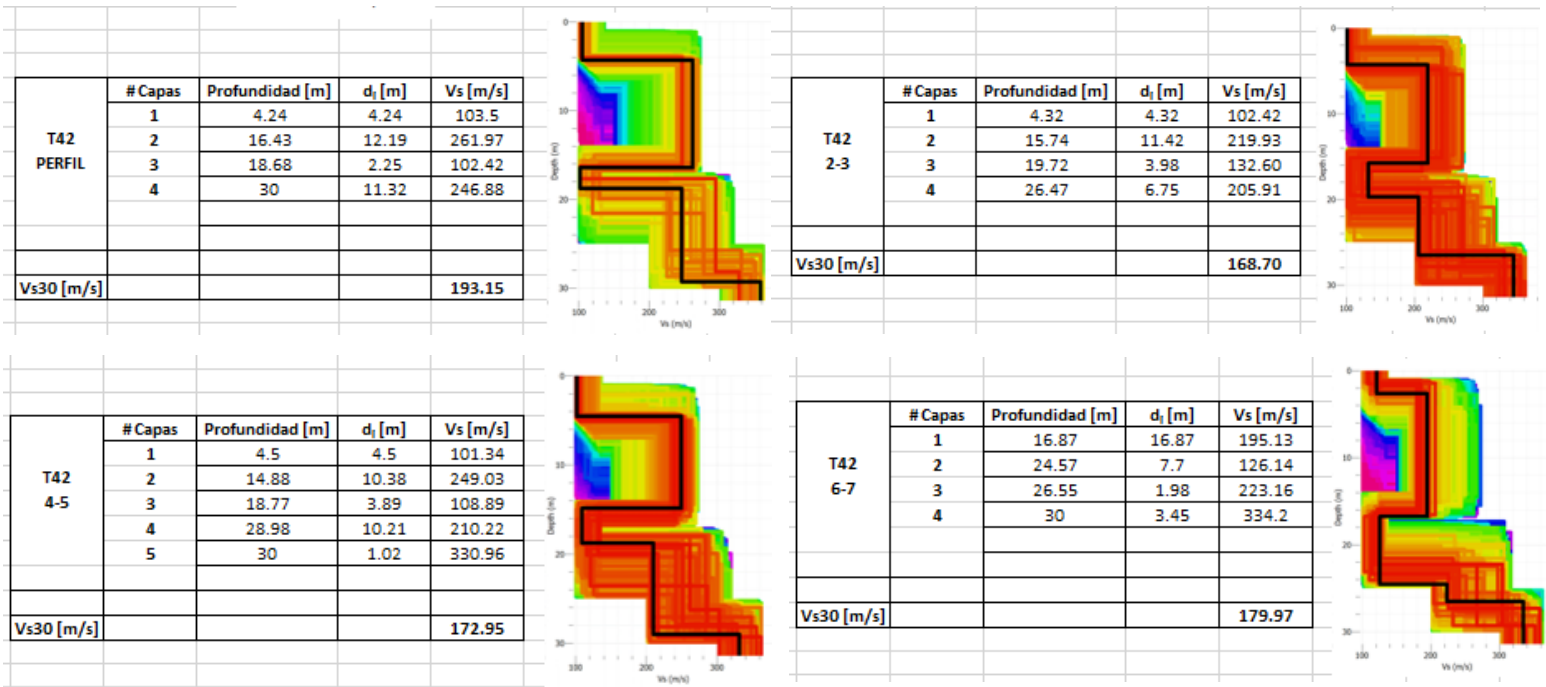


Figura A-125 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 42.

1.42.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30.



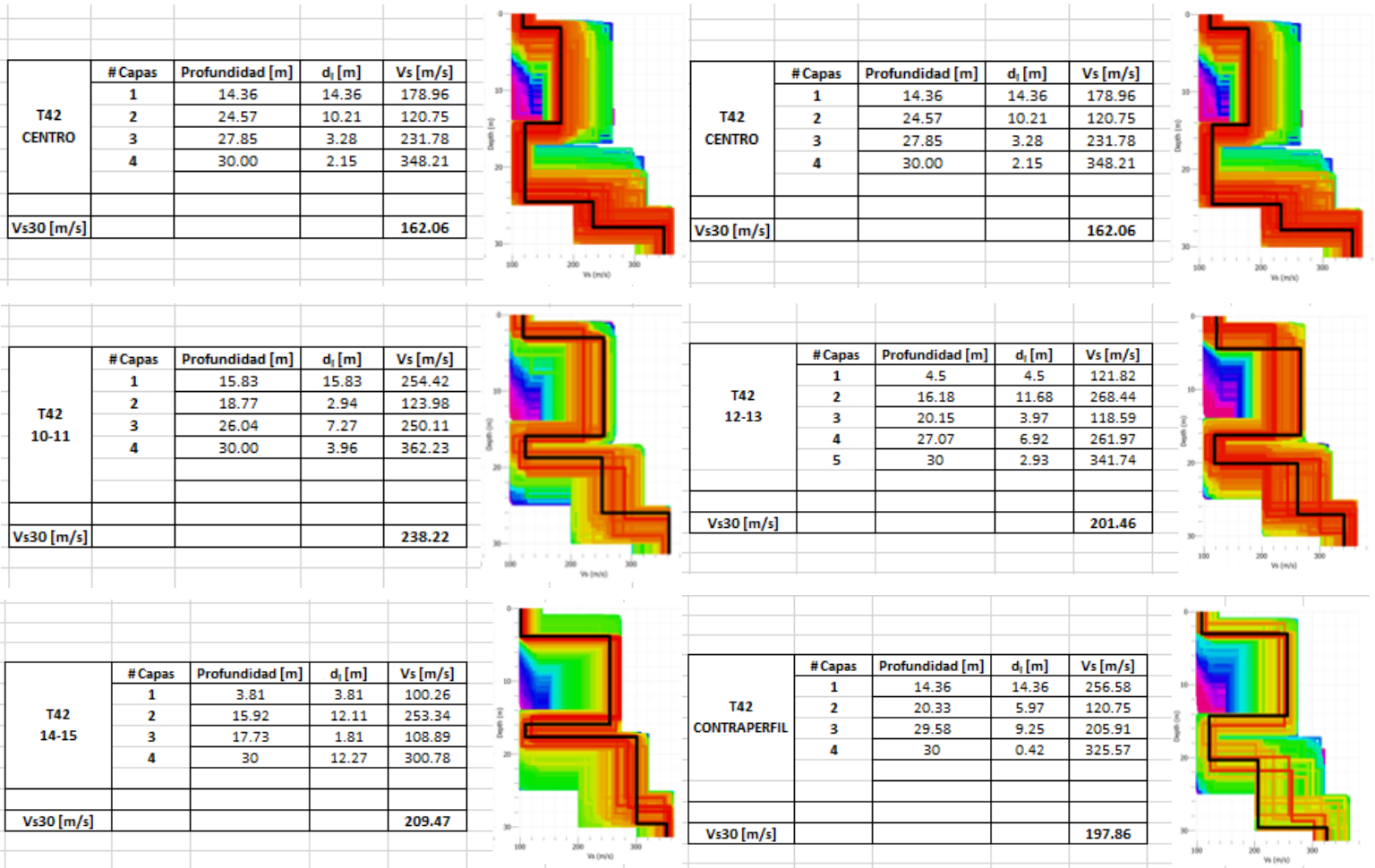
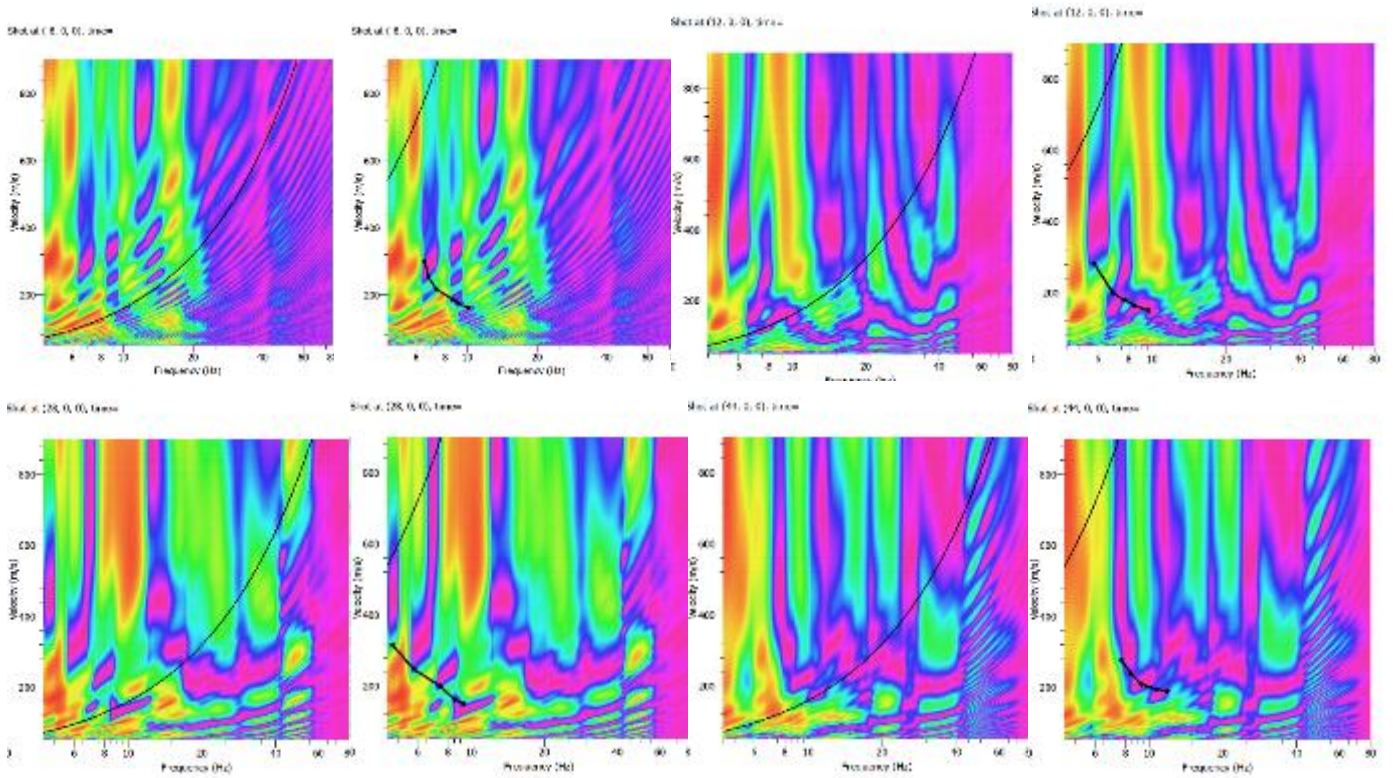


Figura A-126 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 42.

1.43 Tendido 43

TENDIDO 43			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 774222 E	17M 774293 E	17M 774362 E
	9962782 N	9962786 N	9962787 N
	3013 m	2999 m	2998 m
LONGITUD	120 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.00	
	2-3	12.00	
	4-5	28.00	
	6-7	44.00	
	8-9	60.00	
	10-11	76.00	
	12-13	92.00	
	14-15	108.00	
Contraperfil	128.00		

1.43.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia.



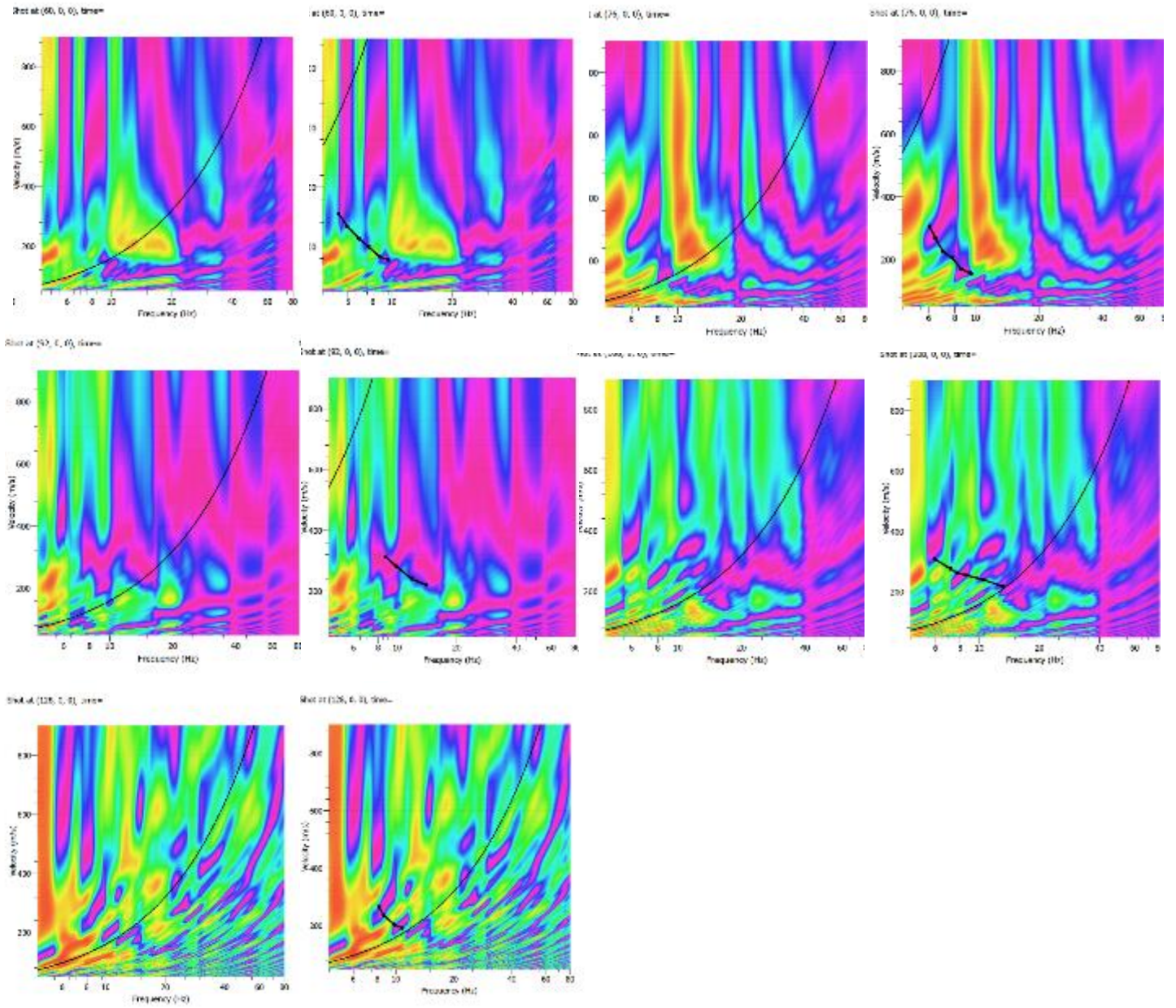


Figura A-127 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 43.

1.43.2 Curva de dispersión teórica y experimental.

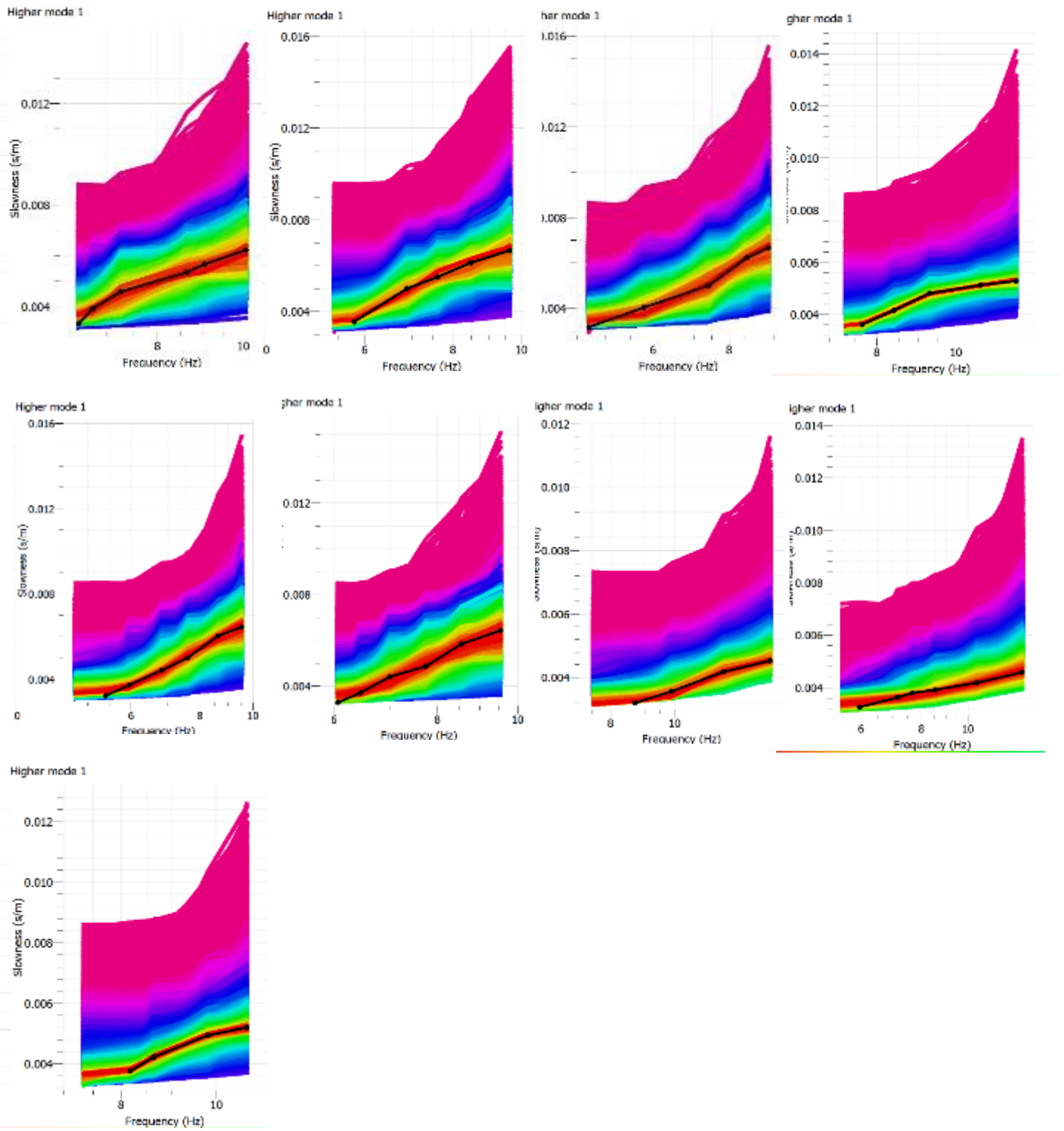
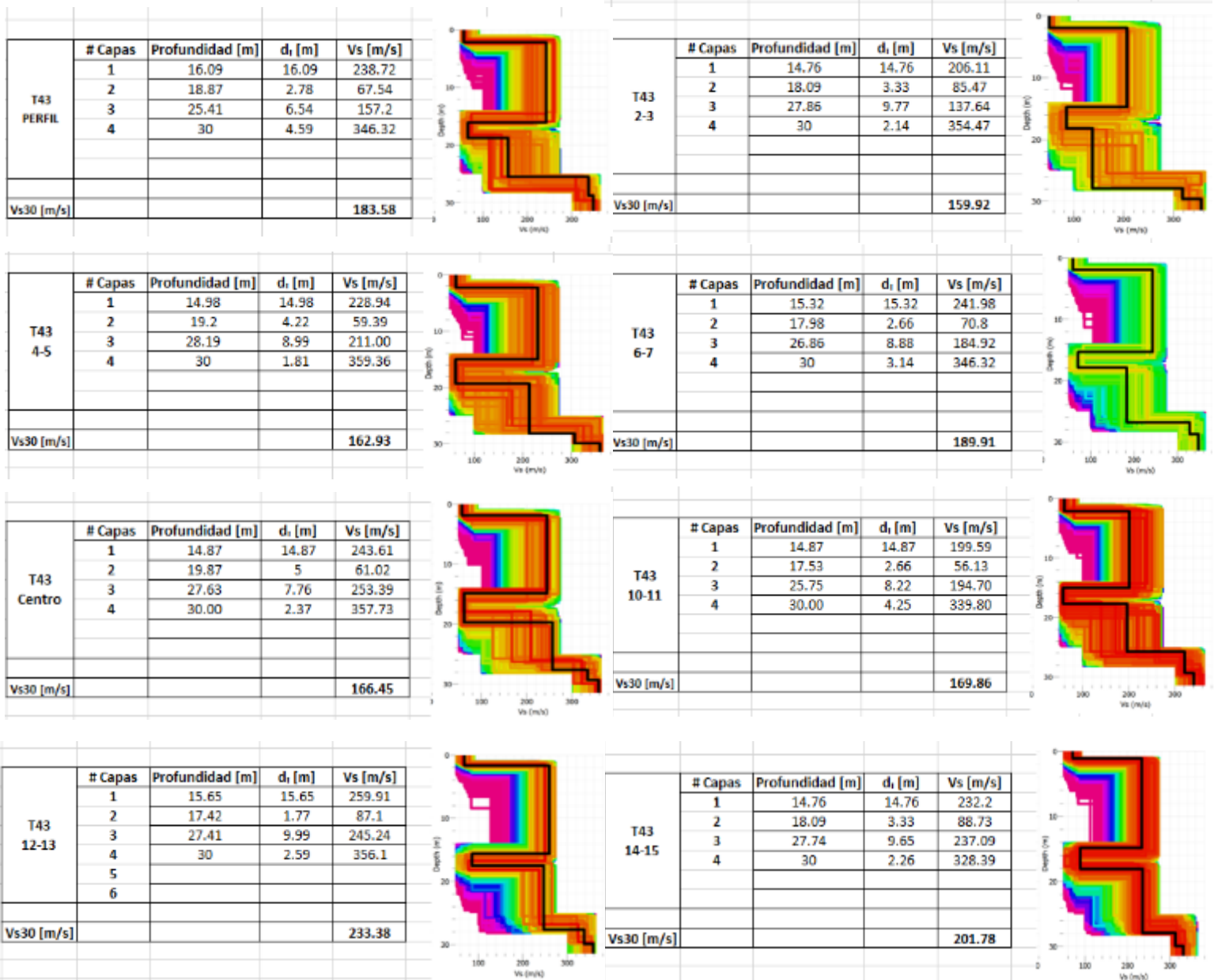


Figura A-128 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 43.

1.43.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30.



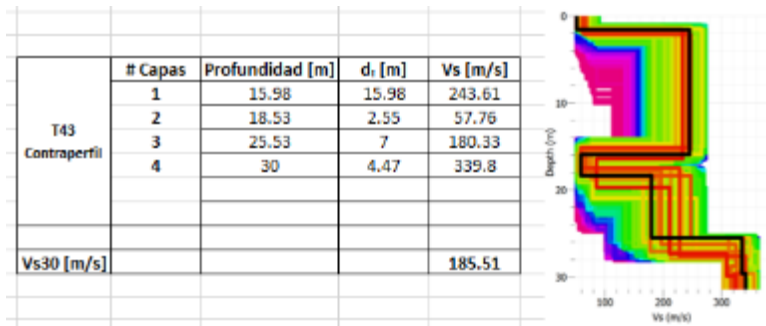


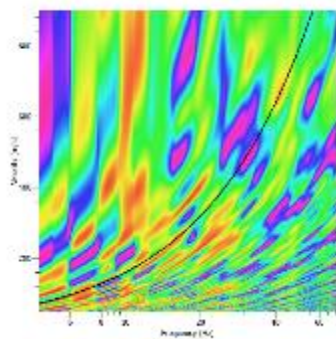
Figura A-129 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 43.

1.44 Tendido 44

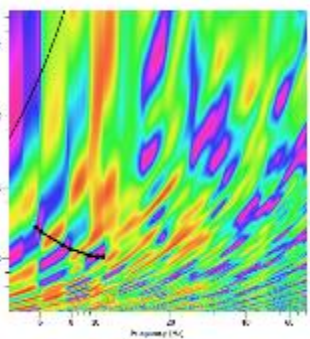
TENDIDO 44			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 774362 E	17M 774432 E	17M 774502 E
	9962787 N	9962788 N	9962793 N
	2998 m	3003 m	2992 m
LONGITUD	120 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-8.00	
	2-3	12.00	
	4-5	28.00	
	6-7	44.00	
	8-9	60.00	
	10-11	76.00	
	12-13	92.00	
14-15	108.00		
Contraperfil	128.00		

1.44.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia.

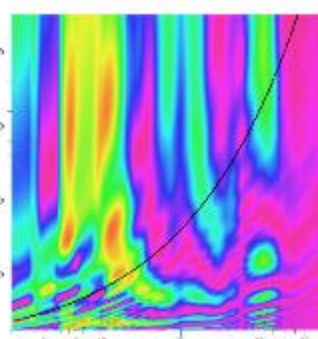
Distal (20, 0, 0), low



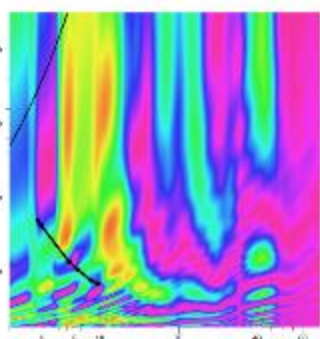
Distal (20, 0, 0), low



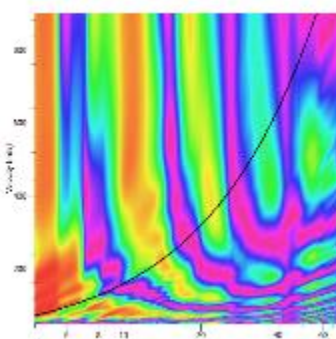
Distal (20, 0, 0), low



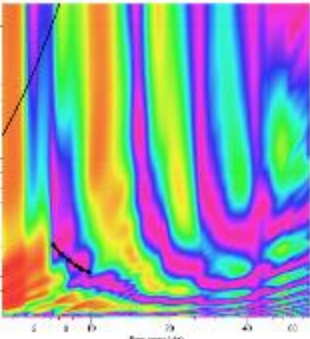
Distal (20, 0, 0), low



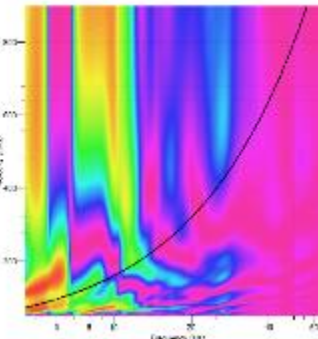
Distal (20, 0, 0), low



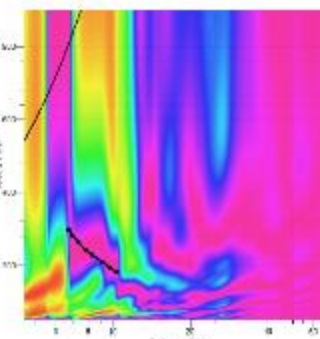
Distal (20, 0, 0), low



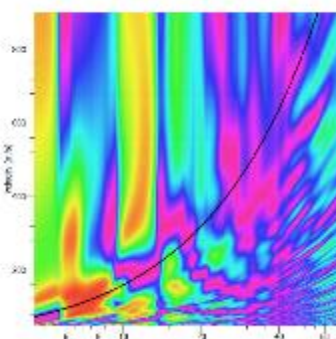
Distal (20, 0, 0), low



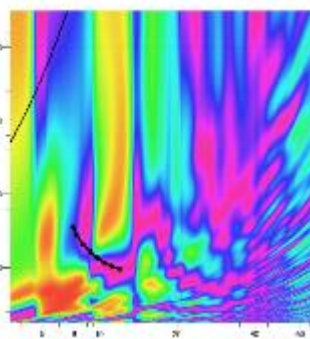
Distal (20, 0, 0), low



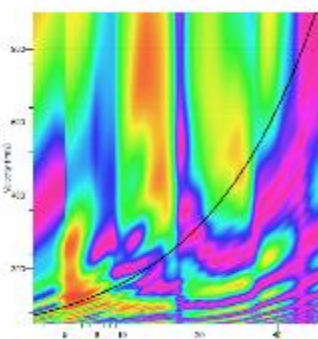
Distal (20, 0, 0), low



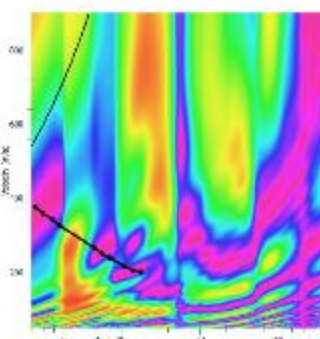
Distal (20, 0, 0), low



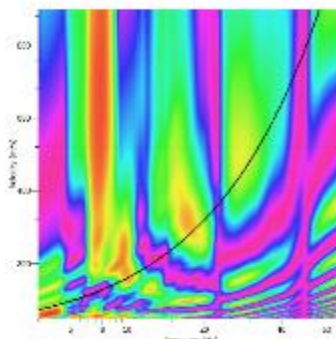
Distal (20, 0, 0), low



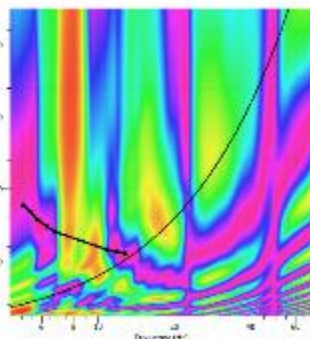
Distal (20, 0, 0), low



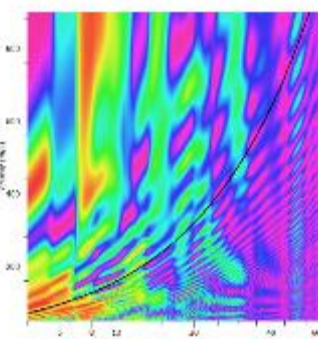
Distal (20, 0, 0), low



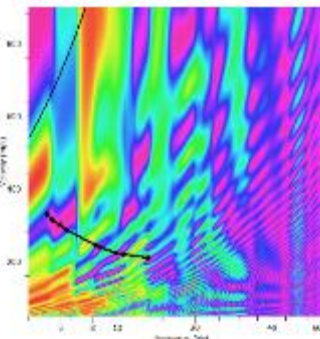
Distal (20, 0, 0), low



Distal (20, 0, 0), low



Distal (20, 0, 0), low



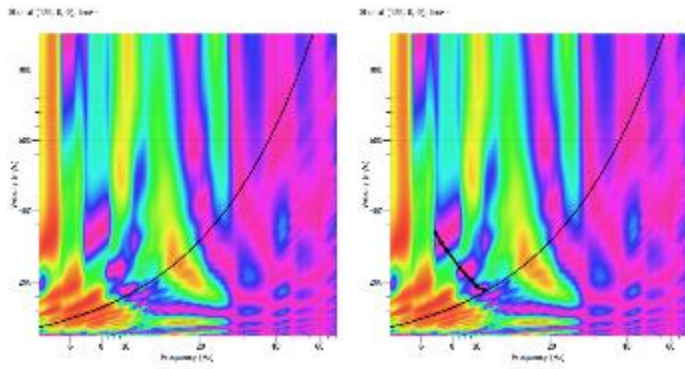
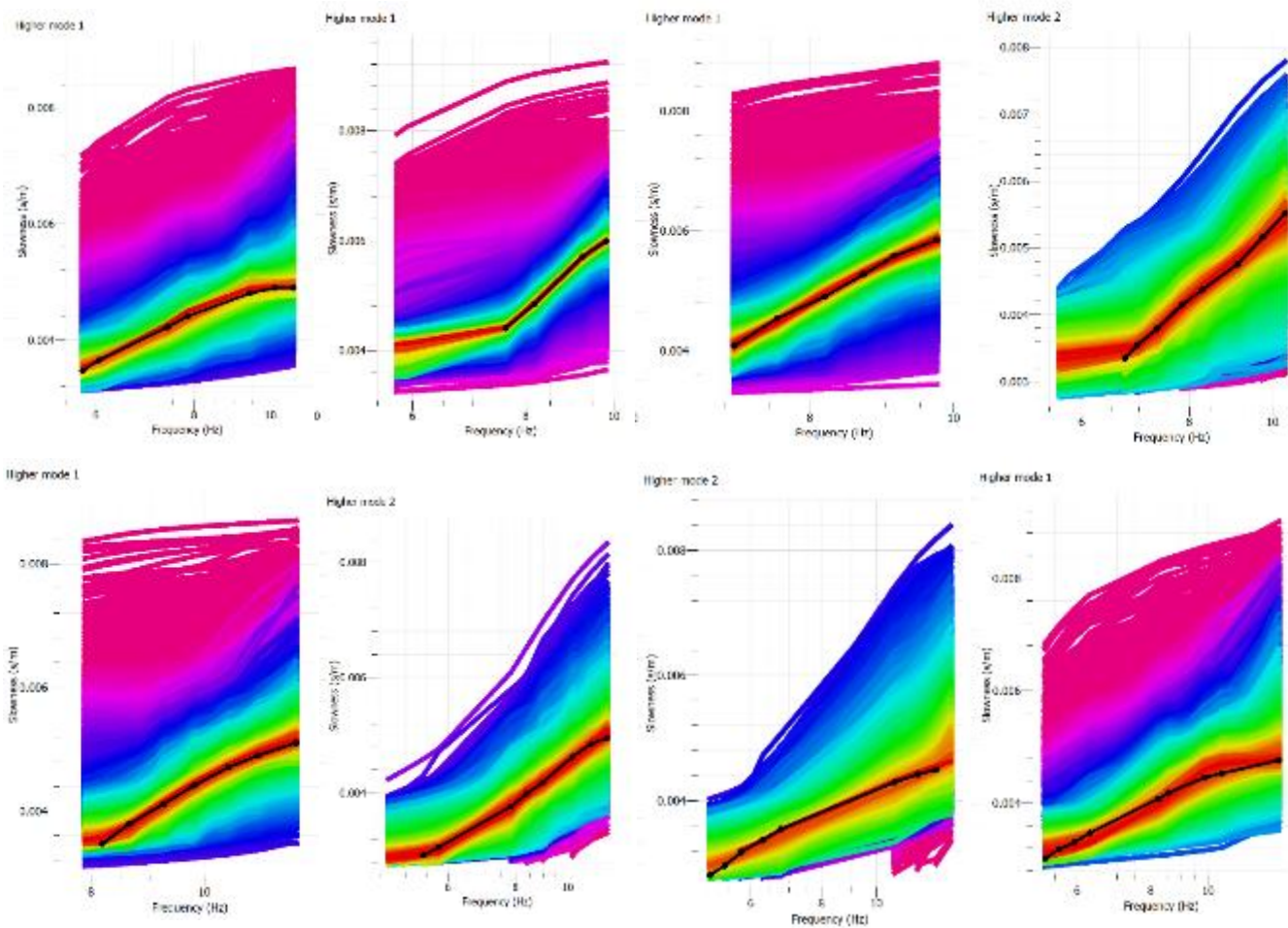


Figura A-130 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 44.

1.44.2 Curva de dispersión teórica y experimental.



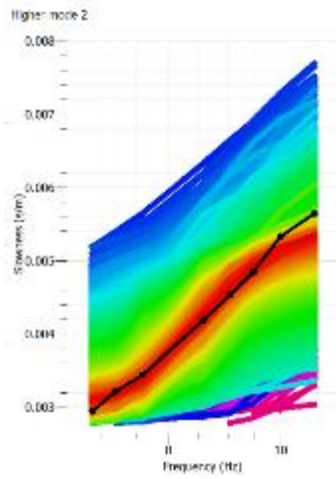
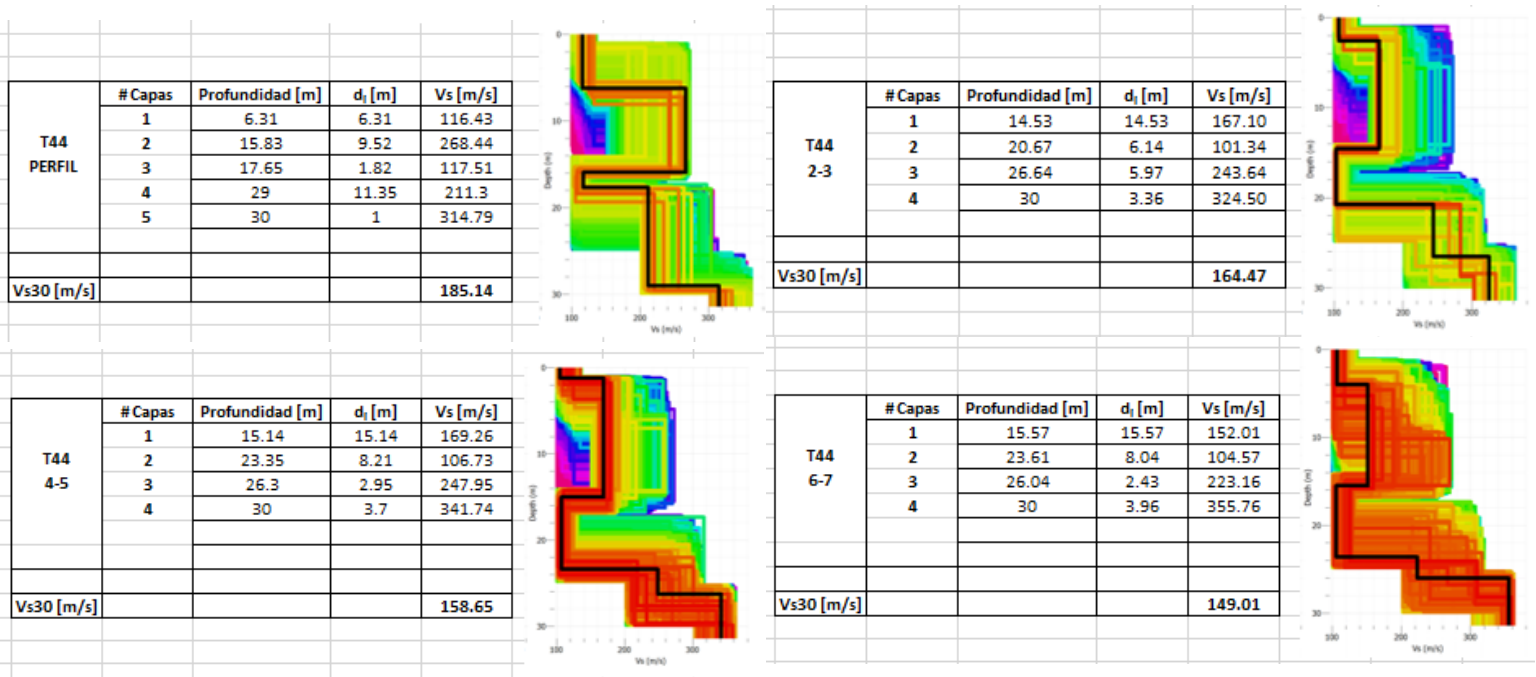


Figura A-131 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 44.

1.44.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30.



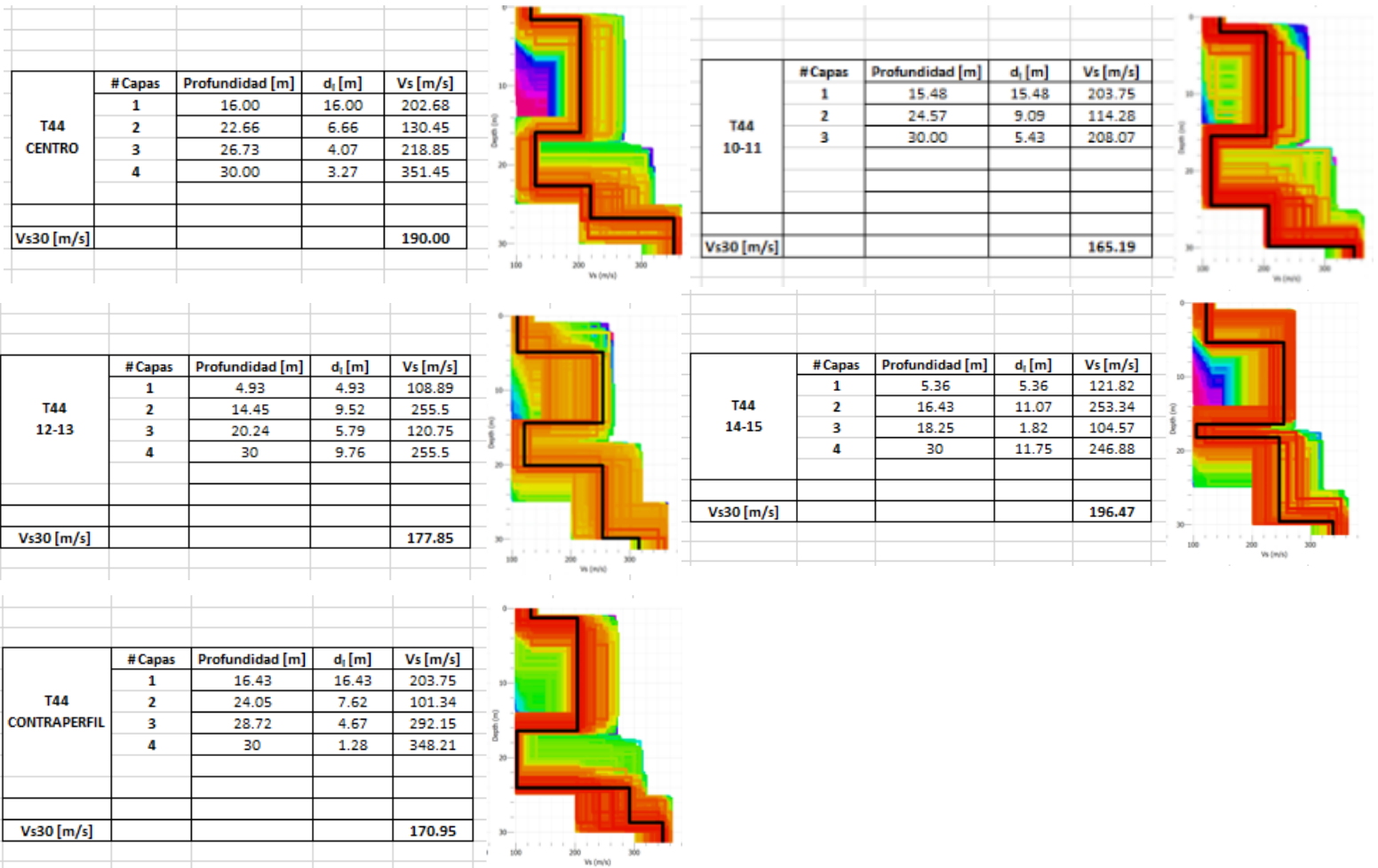
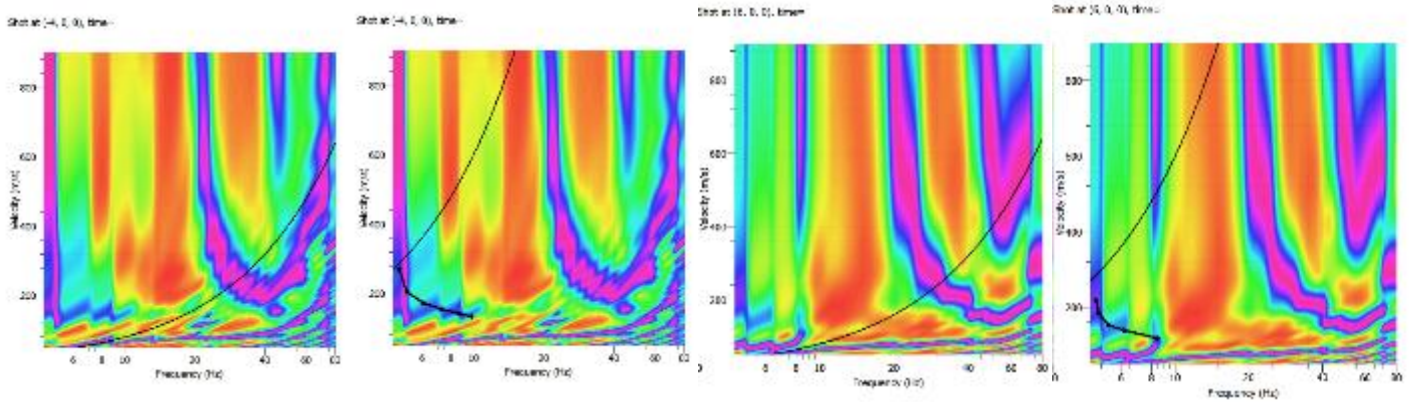


Figura A-132 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 44.

1.45 Tendido 45

TENDIDO 45			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 774507 E	17M 774475 E	17M 774445 E
	9962777 N	9962779 N	9962781 N
	2996 m	2994 m	2992 m
LONGITUD	60 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-4.00	
	2-3	6.00	
	4-5	14.00	
	6-7	22.00	
	8-9	30.00	
	10-11	38.00	
	12-13	46.00	
	14-15	54.00	
Contraperfil	64.00		

1.45.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia.



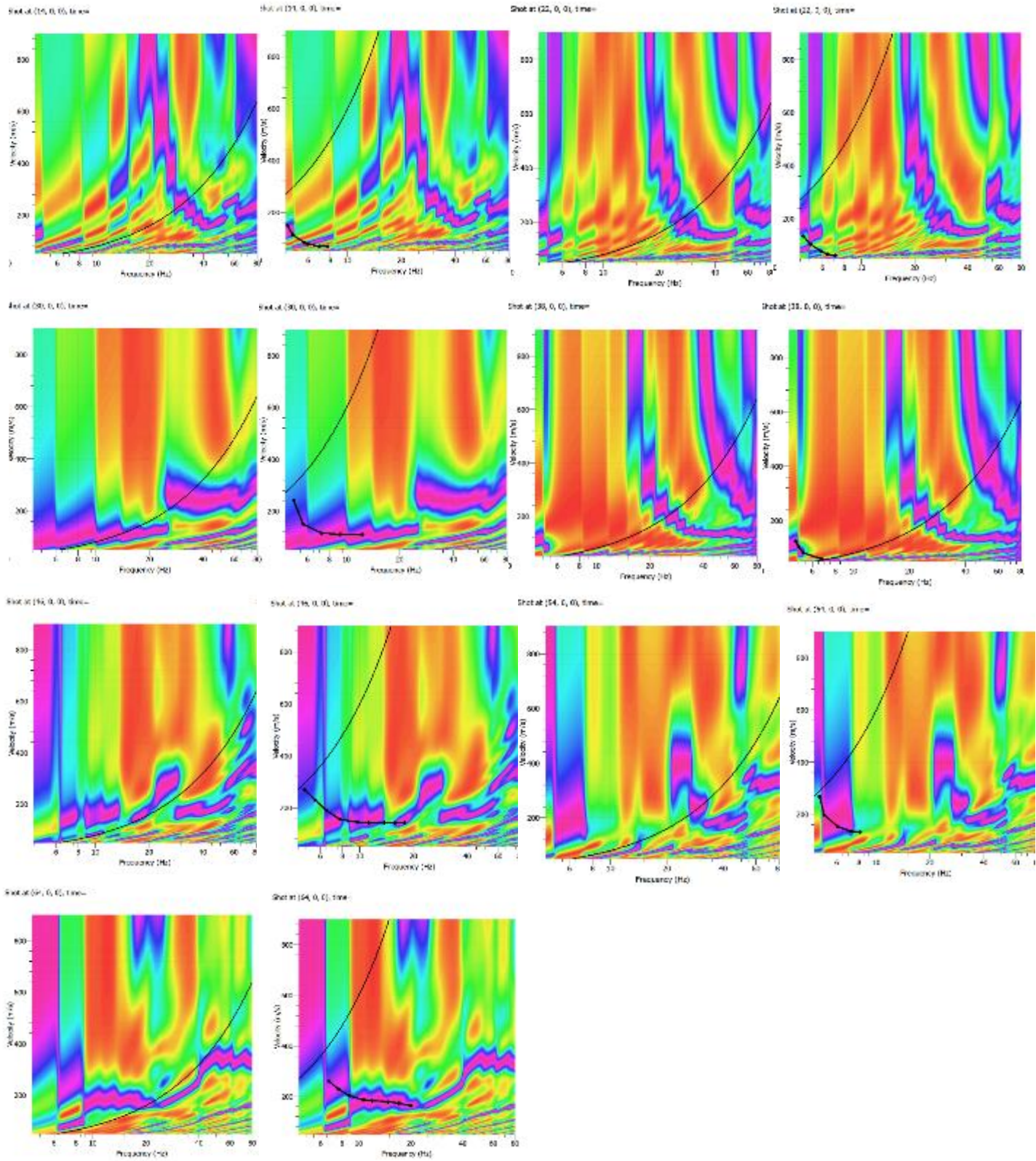


Figura A-133 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 45.

1.45.2 Curva de dispersión teórica y experimental.

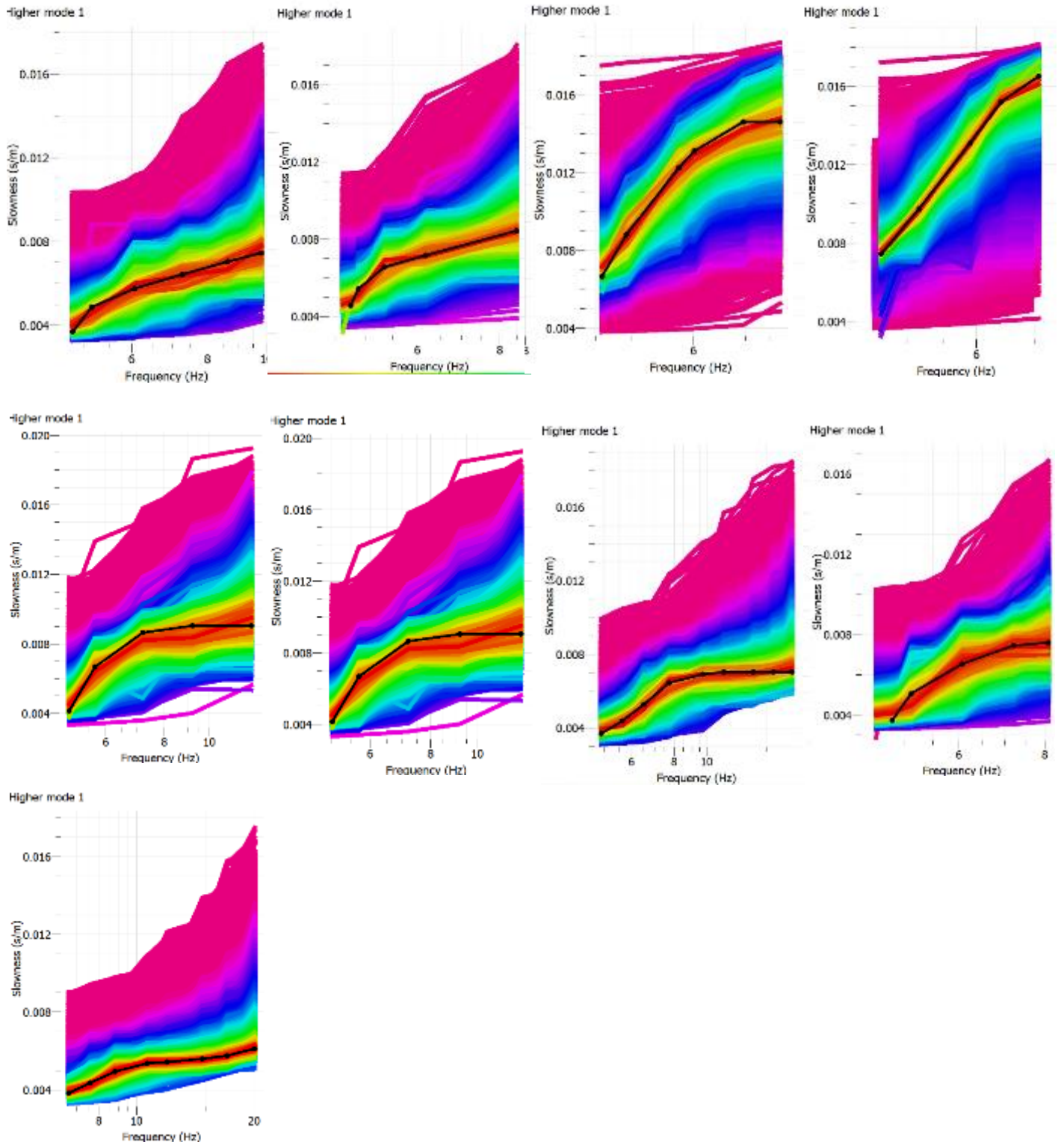
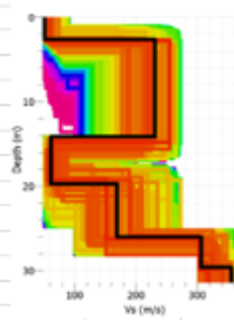


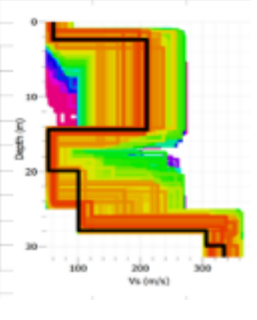
Figura A-134 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 45.

1.45.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30.

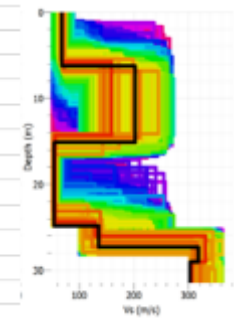
T45 PERFIL	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	Vs [m/s]
	1	13.98	13.98	228.94
	2	19.75	5.77	62.65
	3	25.86	6.11	168.62
	4	30	4.14	303.93
Vs30 [m/s]				147.77



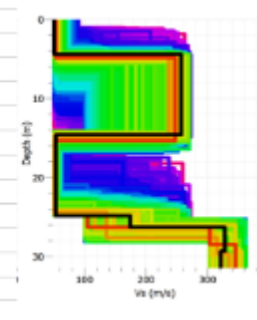
T45 2-3	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	Vs [m/s]
	1	14.43	14.43	207.74
	2	19.75	5.32	52.87
	3	27.86	8.11	101.77
	4	30	2.14	303.93
Vs30 [m/s]				116.81



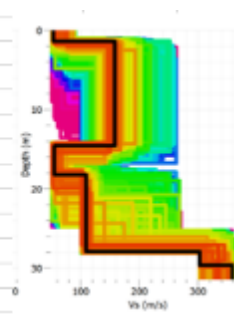
T45 4-5	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	Vs [m/s]
	1	6.21	6.21	67.54
	2	15.09	8.88	199.00
	3	19.2	4.11	199.59
	4	24.86	5.66	52.87
	5	27.3	2.44	137.64
	6	30	2.7	316.97
Vs30 [m/s]				103.28



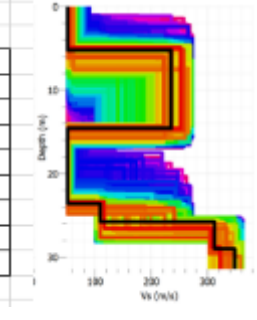
T45 6-7	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	Vs [m/s]
	1	4.44	4.44	52.87
	2	14.43	9.99	256.65
	3	24.97	10.54	52.87
	4	26.3	1.33	176.77
	5	30	3.7	323.49
Vs30 [m/s]				87.92



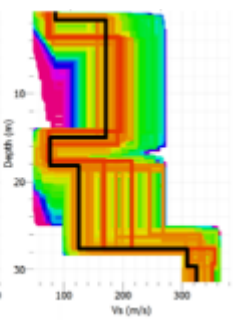
T45 Centro	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	Vs [m/s]
	1	14.43	14.43	158.83
	2	18.20	3.77	52.87
	3	27.97	9.77	109.93
	4	29.52	1.55	302.30
	5	30.00	0.48	357.73
Vs30 [m/s]				116.50



T45 10-11	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	Vs [m/s]
	1	5.11	5.11	51.24
	2	14.43	9.32	237.09
	3	23.53	9.1	51.24
	4	29.08	5.55	310.45
	5	30.00	0.92	347.95
Vs30 [m/s]				88.98



T45 12-13	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	Vs [m/s]
	1	15.09	15.09	170.25
	2	18.2	3.11	77.32
	3	27.52	9.32	124.6
	4	30	2.48	323.49
Vs30 [m/s]				141.96



T45 14-15	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	Vs [m/s]
	1	14.43	14.43	157.2
	2	18.42	3.99	77.32
	3	28.3	9.88	106.67
	4	30	1.7	349.58
Vs30 [m/s]				124.54

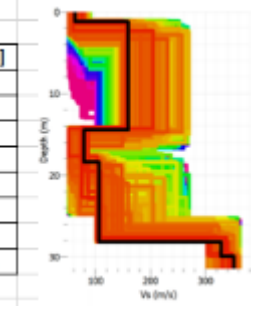


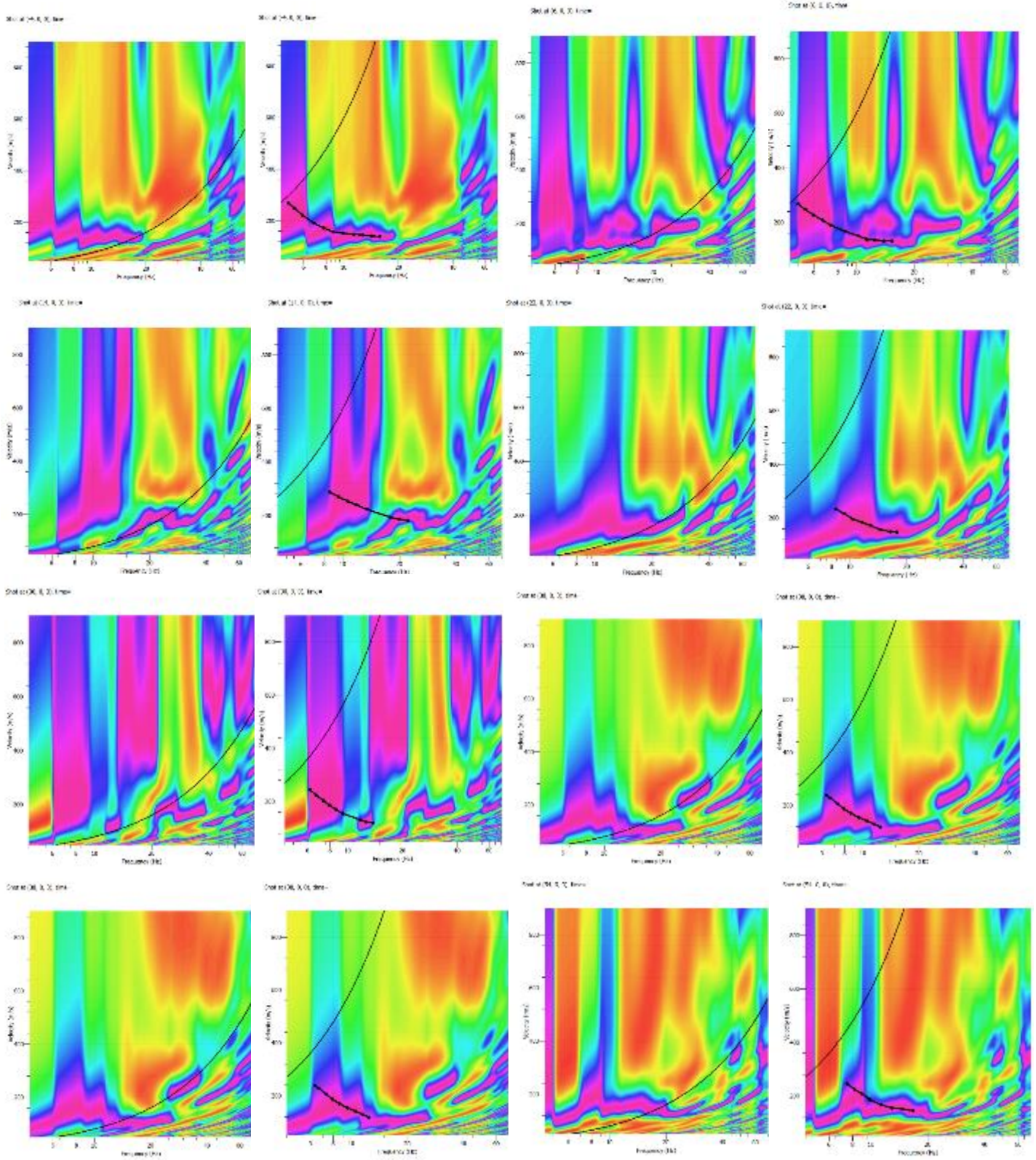


Figura A-135 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 45.

1.46 Tendido 46

TENDIDO 46			
COORDENADAS	Inicio:	Medio:	Final:
	17M 774491 E	17M 774495 E	17M 774498 E
	9962705 N	9962741 N	9962774 N
	2994 m	2991 m	2991 m
LONGITUD	60 m		
DISPAROS	Geófonos	Distancia (m)	
	Perfil	-4.00	
	2-3	6.00	
	4-5	14.00	
	6-7	22.00	
	8-9	30.00	
	10-11	38.00	
	12-13	46.00	
	14-15	54.00	
Contraperfil	64.00		

1.46.1 Espectro de velocidad de fase-frecuencia.



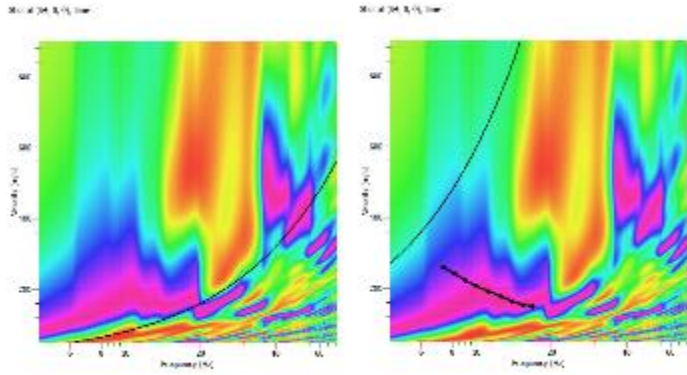
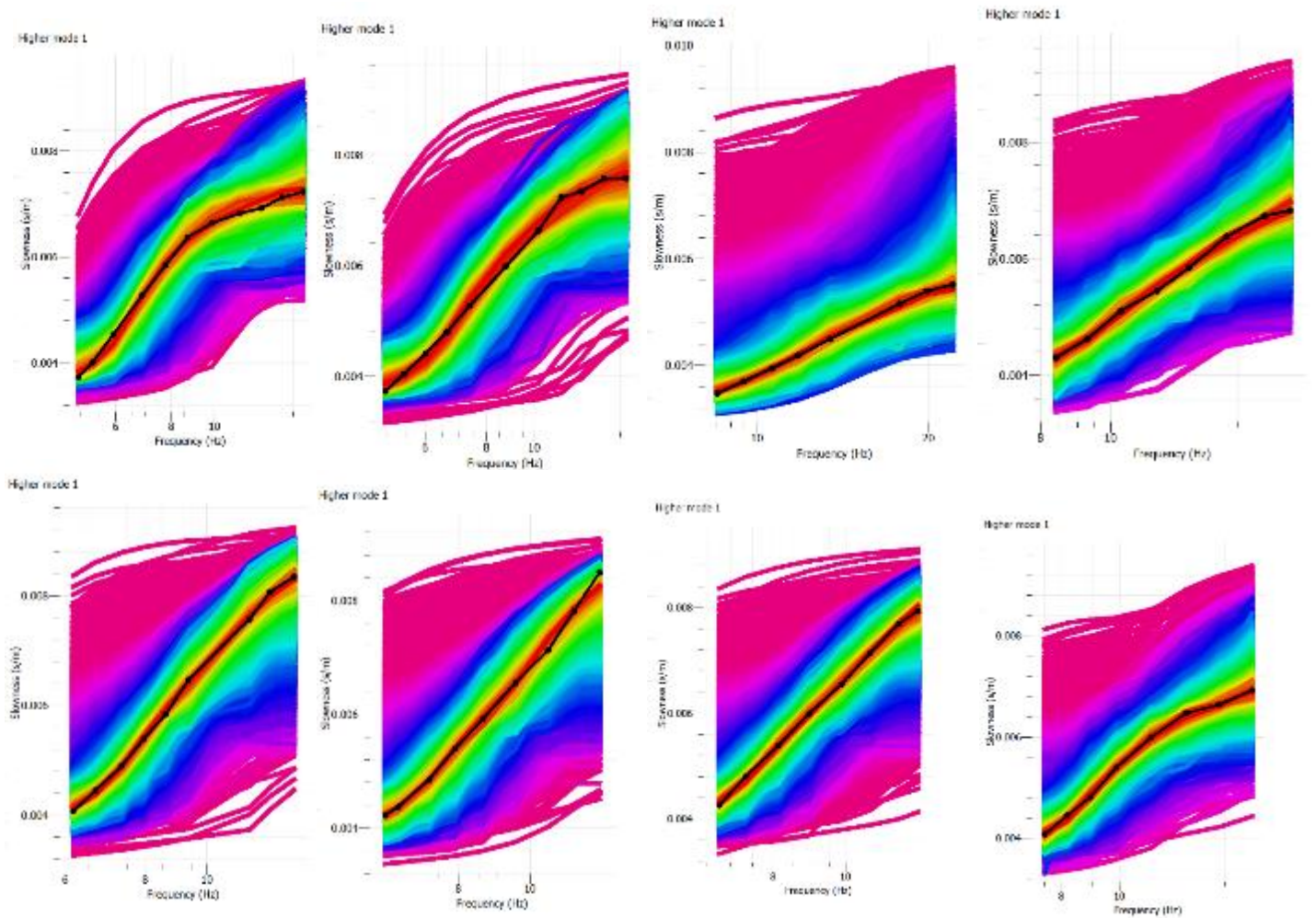


Figura A-136 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 46.

1.46.2 Curva de dispersión teórica y experimental.



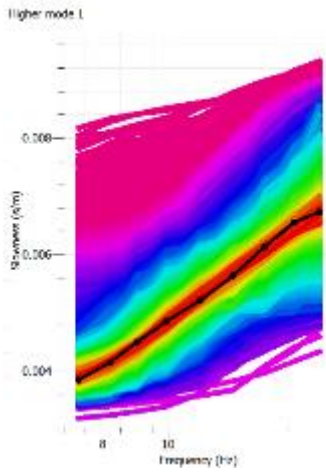
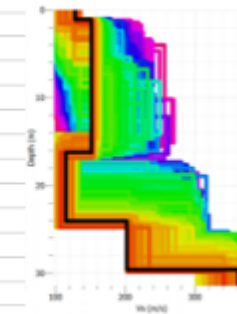


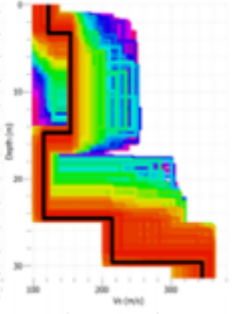
Figura A-137 Curvas de dispersión teóricas y experimentales tendido 46.

1.46.3 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30.

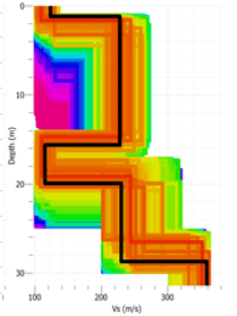
T46 PERFIL	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	16.26	16.26	152.01
	2	24.05	7.79	115.35
	3	29.5	5.45	201.6
	4	30	0.5	362.23
Vs30 [m/s]				147.85



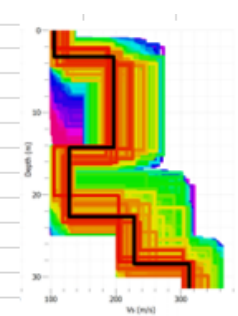
T46 2-3	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	14.7	14.7	154.16
	2	24.48	9.78	115.35
	3	29.5	5.02	214.54
	4	30	0.5	344.98
Vs30 [m/s]				146.35



T46 4-5	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	15.74	15.74	227.47
	2	19.89	4.15	115.35
	3	28.63	8.74	228.55
	4	30	1.37	358.99
Vs30 [m/s]				203.76



T46 6-7	# Capas	Profundidad [m]	d_i [m]	V_s [m/s]
	1	14.27	14.27	196.21
	2	22.66	8.39	128.29
	3	28.46	5.8	226.39
	4	30	1.54	312.64
Vs30 [m/s]				177.86



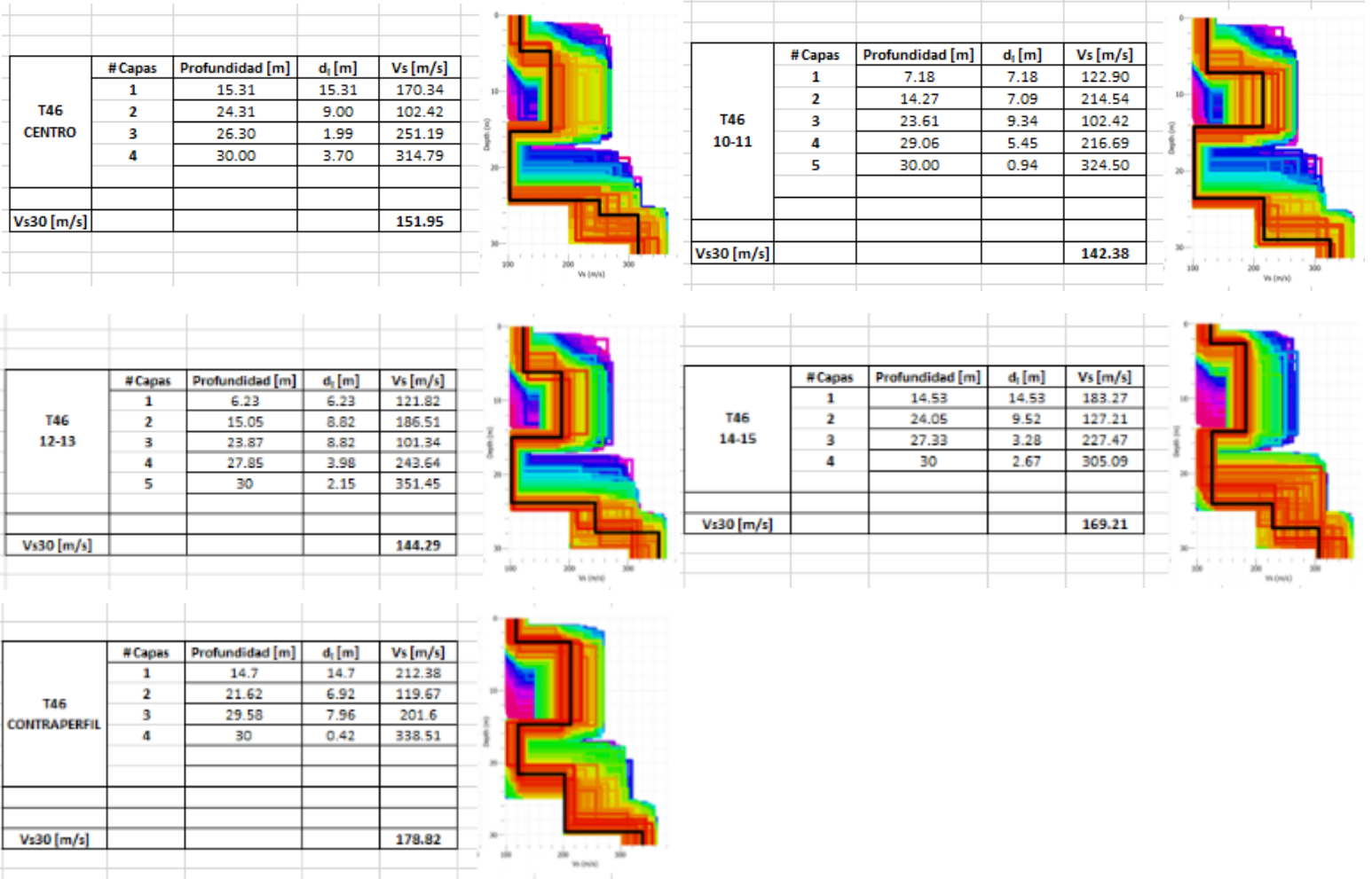


Figura A-138 Modelos Vs-Profundidad y Cálculo de Vs30 tendido 46.

1.2 Anexo 2- Fotografías



ILUSTRACIÓN B-1



ILUSTRACIÓN B-2



ILUSTRACIÓN B-3



ILUSTRACIÓN B-4



ILUSTRACIÓN B-5

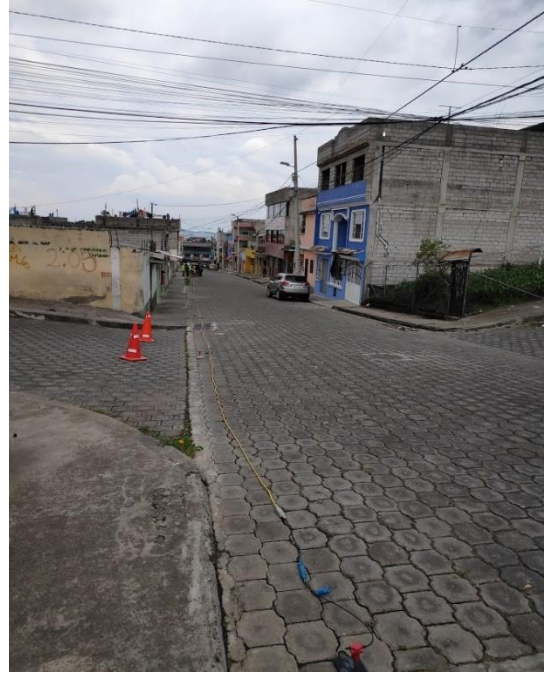


ILUSTRACIÓN B-6



ILUSTRACIÓN B-7

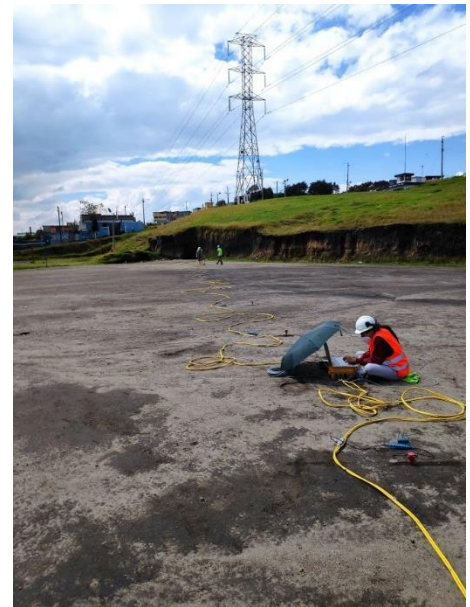


ILUSTRACIÓN B-8



ILUSTRACIÓN B-9



ILUSTRACIÓN B-10



ILUSTRACIÓN B-11



ILUSTRACIÓN B-12



ILUSTRACIÓN B-13



ILUSTRACIÓN B-14