



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Carrera de Ingeniería Civil**

**“Análisis de infiltraciones en la Presa de Mazar, mediante los métodos de prospección geofísica: geoelectrónicos y sísmicos”**

Trabajo de titulación previo a la obtención de  
título de Ingeniero Civil

**Director**

Ing. Benigno Alfredo Vázquez López, M. Sc. CI. 0101815892

**Autores:**

Jorge Andrés Arízaga Altamirano CI. 0105204689

María Gabriela Ulloa Palacios CI. 0104633037

Cuenca – Ecuador  
2018



## RESUMEN

La presa Mazar es una de las más importantes del país, la cual es de tipo pantalla. Este tipo de presas, al contener espaldones de material filtrante, permite el paso de agua para evitar presiones internas.

La zona de estudio del proyecto se la realizó en función de las características de la presa, desde la vía de acceso aguas abajo hasta una pasarela al inicio de la pantalla, aguas arriba, con el objetivo de detectar las áreas de mayor infiltración dentro de la presa, mediante la interpretación de perfiles geofísicos y composición interna de la misma. Se realizaron estudios sísmicos y eléctricos, utilizando el método de refracción y Análisis multicanal, en el primer caso, y el método Wenner-Schlumberger, en el segundo.

Los resultados sísmicos obtenidos determinaron el material interno con características cercanas a los materiales especificados en los perfiles constructivos, facilitados por la empresa CELEC. EP, en función de las velocidades  $V_p$  y  $V_s$ . Mediante los ensayos eléctricos, se identificó posibles zonas de mayor concentración de flujo. Con estos resultados se propone realizar ensayos geofísicos de manera regular para evaluar un posible aumento progresivo en estas zonas.

**PALABRAS CLAVES:** Resistividad eléctrica, Resistividad aparente, Presas de pantalla, Velocidad sísmica, Presiones internas.



## ABSTRACT

The Mazar dam is one of the most important in the country; it is "concrete-face rock-fill" SHELL type. This type of dams, when containing walls of filtering material, allows the passage of water to avoid internal pressures.

The study area of the project was carried out according to the characteristics of the dam; from the access road downstream to a walkway at the beginning of the structural shell upstream with the aim of detecting the areas of greatest infiltration within the dam. This is accomplished by interpreting geophysical profiles and internal composition of the dam; Seismic and electrical studies were carried out using the refraction method and multichannel analysis in the first case and Wenner-Schlumberger in the second.

The seismic results obtained in this study determined the internal building material with close characteristics to the materials specified in the construction profiles provided by the CELEC company. EP, depending on the velocities  $V_p$  and  $V_s$ . Through the electrical tests, possible areas of higher flow concentration were identified. With these results, it is proposed to perform geophysical tests on a regular basis to evaluate a possible progressive increase in these areas.

**KEYWORDS:** Electrical resistivity, Apparent resistivity, Concrete-face shell dams, Seismic velocity, Internal pressures.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO 1.....	17
Introducción.....	17
Objetivos .....	18
Objetivo General .....	18
Objetivos específicos.....	18
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO.....	19
Geofísica .....	19
Resistividad eléctrica.....	19
Resistividad aparente .....	22
Métodos de resistividad eléctrica .....	22
Schlumberger:.....	22
Wenner:.....	23
Dipolo – Dipolo:.....	23
Polo – Dipolo:.....	23
Métodos sísmicos .....	25
Refracción,.....	26
Reflexión,.....	26
Difracción,.....	26
Ondas primarias (P):.....	26
Ondas secundarias (S):.....	27
Ondas de Rayleigh (R):.....	27
Ondas de Love (L):.....	28
Método de Refracción Sísmica.....	30
Método MASW .....	32
Método ReMi.....	34
ESAC .....	35
PRESAS.....	40
Presas de materiales sueltos.....	41
Clasificación de las presas de materiales locales .....	41
Presas de secciones homogéneas:.....	41



Presas heterogéneas: .....	42
Presas de pantalla: .....	43
Tipos de Fallas .....	44
Fallas por rebase de la cortina .....	44
Fallas por sifonamiento .....	45
Fallas por agrietamiento transversal.....	45
Fallas por deslizamiento.....	45
Falla por licuación .....	45
Pérdidas por filtración.....	46
CAPITULO 3. METODOLOGÍA.....	47
Área de estudio .....	47
Geología.....	48
Geomorfología.....	48
Geología Regional.....	48
Recopilación de Información.....	49
Cota de agua en toma de datos.....	49
Secciones de la presa .....	49
Muro Parapeto.....	50
Pasarela.....	50
Materiales utilizados .....	52
Perfil de construcción .....	52
Investigación de Campo .....	54
Materiales y equipo .....	54
Descripción de los ensayos en campo .....	55
Resistividad eléctrica:.....	55
Métodos sísmicos: .....	55
Línea Esac: .....	55
Línea Remi:.....	55
Línea Refracción sísmica y Masw: .....	55
Ubicación de ensayos.....	56
Líneas de Resistividad Eléctrica .....	57
Sísmica de Refracción, MASW y Remi.....	58



Esac .....	59
Procesamiento de Datos .....	62
Resistividad Eléctrica .....	62
Error en los perfiles eléctricos .....	63
Tomografía sísmica, Determinación de las velocidades $V_p$ .....	65
Determinación de las velocidades $V_s$ , MASW .....	67
<b>CAPITULO 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>74</b>
<b>Perfil 1 .....</b>	<b>74</b>
Ubicación .....	74
Interpretación .....	75
MASW.....	75
Eléctrica .....	77
<b>Perfil 2 .....</b>	<b>78</b>
Ubicación .....	78
Interpretación .....	78
Eléctrica .....	78
<b>Perfil 3 .....</b>	<b>79</b>
<b>Perfil 7 .....</b>	<b>80</b>
Ubicación .....	80
Interpretación .....	80
Eléctrica .....	80
<b>Perfil 6 .....</b>	<b>81</b>
Ubicación .....	81
Interpretación .....	81
MASW.....	81
Eléctrica .....	84
SISMICA .....	85
<b>Perfil 5 .....</b>	<b>86</b>
Ubicación .....	86
Interpretación .....	86
MASW.....	86
Eléctrica .....	90



SISMICAS .....	90
Perfil 4 .....	91
Ubicación .....	91
Interpretación .....	91
MASW .....	91
Eléctrica .....	96
SISMICA .....	97
Resumen .....	98
Validación del método, Presa .....	99
CONCLUSIONES .....	101
Recomendaciones .....	102
BIBLIOGRAFIA .....	103
ANEXOS .....	106

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Medida de resistividades del terreno mediante métodos eléctricos.....	20
Figura 2 Distribución de electrodos, Método Schlumberger .....	22
Figura 3 Distribución de electrodos, Método Wenner.....	23
Figura 4 Distribución de electrodos, Método Dipolo-Dipolo .....	23
Figura 5 Distribución de electrodos, Método Polo-Dipolo .....	23
Figura 6 Modelos disponibles para caracterización.....	24
Figura 7 Esquema de la Propagación de Ondas Primarias "P" .....	27
Figura 8 Esquema de la Propagación de Ondas Secundarias "S". .....	27
Figura 9 Esquema de la Propagación de Ondas Rayleigh "R", .....	28
Figura 10 Esquema de Propagación de ondas Love (L). .....	28
Figura 11 Esquema de ensayo de refracción sísmica. ....	30
Figura 12 Ubicación de "shots" .....	31
Figura 13 Esquema de tiempos de primera llegada para cada distancia .....	31
Figura 14 Resultado de tomografía sísmica, valores Vp .....	32
Figura 15 Resultado de método MASW .....	33
Figura 16 Resultado del método ReMi. ....	35
Figura 17 Resultado del método ESAC.....	36
Figura 18 Implementación de los método (MASW, ReMi y ESAC).....	38
Figura 19 Resultado de velocidades de corte Vs. ....	39
Figura 20 Esquema de estructura de una presa con secciones homogénea .....	42
Figura 21 Esquema de estructura de una presa heterogénea.....	43
Figura 22 Esquema de estructura de una presa con pantalla de hormigón.....	44
Figura 23 Vista de Pantalla y Enrocado de Presa Mazar .....	47
Figura 24 Ubicación geológica.....	48
Figura 25 Perfil de Muro Parapeto perteneciente a la Presa de Mazar .....	50
Figura 26 Perfil de composición de la Presa de Mazar .....	51
Figura 27 Perfil de Materiales utilizados en la Presa de Mazar .....	52
Figura 28 Perfil de Roca Sana .....	53
Figura 29 Equipo .....	54
Figura 30 Ubicación de "Shots" para Masw .....	56
Figura 31 Plano de Ubicación de Perfiles .....	57
Figura 32 Electrodo sobre Tierra -Electrodo sobre Concreto.....	61
Figura 33 Geófonos sobre material de tierra - Geófonos sobre material concreto... ..	62
Figura 34 Resultado del programa RES2DINV .....	63
Figura 35 Perfiles eléctricos con errores de 8.8 y 28.8 respectivamente.....	65
Figura 36 Detección de los primeros arribos del registro sísmico .....	66
Figura 37 Curvas Dromocronas. ....	66
Figura 38 Perfil sísmico, Obtención de Vp .....	67
Figura 39 Resultados MASW, (Línea 4).....	68
Figura 40 Resultados ReMi (Línea 4) .....	69
Figura 41 Resultados Esac (Línea 4).....	70





Figura 42 Velocidades numéricas .....	71
Figura 43 Profundidad vs Velocidad .....	72
Figura 44 Ubicación de los perfiles .....	74
Figura 45 Perfil Masw del perfil 1 .....	75
Figura 46 Perfil Vs del perfil 1 .....	76
Figura 47 Perfil Masw del perfil 1 .....	77
Figura 48 Perfil eléctrico del perfil 1. ....	78
Figura 49 Perfil eléctrico del perfil 2. ....	79
Figura 50 Perfil eléctrico del perfil 3. ....	79
Figura 51 Perfil eléctrico del perfil 7. ....	81
Figura 52 Perfil Masw del perfil 6. ....	82
Figura 53 Perfil Vs del perfil 6 .....	83
Figura 54 Perfil Vs del perfil 6 .....	84
Figura 55 Perfil eléctrico del perfil 6. ....	85
Figura 56 Perfil sísmico del perfil 6. ....	86
Figura 57 Perfil Masw del perfil 5 .....	87
Figura 58 Perfil Vs del perfil 5 .....	88
Figura 59 Perfil Vs del perfil 5 .....	89
Figura 60 Perfil eléctrico del perfil 5. ....	90
Figura 61 Perfil sísmico del perfil 5. ....	91
Figura 62 Perfil Masw del perfil 4 .....	92
Figura 63 Perfil Vs del perfil 4 .....	93
Figura 64 Perfil Vs del perfil 4 .....	94
Figura 65 Perfil Vs del perfil 4 .....	95
Figura 66 Perfil Vs del perfil 4 .....	96
Figura 67 Perfil eléctrico del perfil 4. ....	97
Figura 68 Perfil sísmico del perfil 4. ....	98
Figura 69 Ubicación de perfiles.....	99
Figura 70 Sentido de flujo en planta. ....	100

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de resistividades .....	25
Tabla 2 Valores de velocidad de longitudinales para diferentes rocas .....	29
Tabla 3 Cota de agua sobre la presa .....	49
Tabla 4 Materiales utilizados en la Presa de Mazar .....	52
Tabla 5 Perfiles de Resistividad eléctrica realizados.....	58
Tabla 6 Perfiles de Sísmica de refracción, MASW y Remi .....	59
Tabla 7 Perfiles de ESAC .....	60
Tabla 8 Datos crudos - Tomografía eléctrica .....	62
Tabla 9 Clasificación de los perfiles del suelo mediante Vs 30 (NEC-11).....	72

## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

María Gabriela Ulloa Palacios, autora del trabajo de titulación "Análisis de infiltraciones en la Presa de Mazar, mediante los métodos de prospección geofísica: geoelectrónicos y sísmicos", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 24 de octubre de 2018



---

María Gabriela Ulloa Palacios

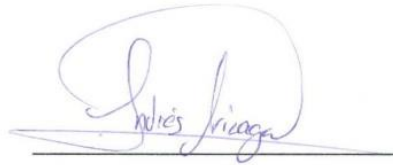
C.I: 0104633037

## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Jorge Andrés Arízaga Altamirano, autor del trabajo de titulación "Análisis de infiltraciones en la Presa de Mazar, mediante los métodos de prospección geofísica: geoelectrónicos y sísmicos", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 24 de octubre de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jorge Arízaga", is written over a horizontal line.

Jorge Andrés Arízaga Altamirano

C.I: 0105204689

## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

María Gabriela Ulloa Palacios en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis de infiltraciones en la Presa de Mazar, mediante los métodos de prospección geofísica: geoelectrónicos y sísmicos", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de octubre de 2018



---

María Gabriela Ulloa Palacios

C.I: 0104633037


## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Jorge Andrés Arízaga Altamirano en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis de infiltraciones en la Presa de Mazar, mediante los métodos de prospección geofísica: geoelectricos y sísmicos", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de octubre de 2018



Jorge Andrés Arízaga Altamirano

C.I: 0105204689



## AGRADECIMIENTO

*Nuestro más profundo agradecimiento al Ing. Alfredo Vásquez López. M. Sc., quien nos brindó sus conocimientos, dedicación y experiencia, así como su asesoramiento incondicional en la realización de este proyecto, de la misma manera con el apoyo logístico, equipos y personal técnico por la empresa GEO&GEO.*

*Así mismo extendemos nuestro agradecimiento hacia la empresa CELEC. EP. en la persona del Ing. Pablo Guzmán Cárdenas. PhD, Ing. Henry Banegas Ávila y demás personal técnico, por brindarnos su apoyo incondicional hacia todos nuestros requerimientos, así como compartir su experiencia, conocimientos y recomendaciones.*

*Andres A. y Gabriela U.*



**DEDICATORIA**

A mi familia, por el apoyo incondicional que me brindan.

A mis padres Jorge y Soraya, por ser mi apoyo, ejemplo e inspiración.

A mis hermanas Tamara y Belén por contagiarme con su alegría y entusiasmo.

A Rosy, mi esposa, y a su familia por brindarme su amor y cariño.

A mis maestros Darshan, Hazur, Kirpal, y Rajinder Singh Ji Maharaj, quienes me dan un ejemplo de vida.

A mis amigos, por su confianza y apoyo brindado, quienes más que amigos son hermanos.

*Andres A.*



## DEDICATORIA

Este trabajo dedico a mis padres Jaime y Susana, quienes con su amor y apoyo incondicional han logrado cumplir junto a mí esta meta, siendo un pilar fundamental en cada paso de este largo camino.

Así también a mi familia y hermanos, quienes han sido un soporte en todo momento.

Pero principalmente este logro se lo dedico a David y Amelia ya que son la razón de mi vida y la fuerza que cada día me ayuda a seguir adelante, gracias a su amor, compañía y confianza.

Gabriela U.





## **CAPITULO 1.**

### **Introducción**

Las presas y embalses son estructuras que se caracterizan por almacenar un volumen grande de agua para diversas utilidades, entre las más conocidas están la hidroeléctrica, riego, control de inundaciones, entre otras; debido a esto, es importante garantizar el buen funcionamiento de las mismas, ya que un fallo en la estructura puede significar un problema grave y en algunos casos catastrófico.

Iniciando su construcción en marzo de 2005, entró en funcionamiento en diciembre de 2010. La presa de Mazar se encuentra ubicada en la cuenca hidrológica Paute y está formada de una pantalla de hormigón de 166 metros de altura y un cuerpo de enrocado; forma un embalse de 394 hm<sup>3</sup> de volumen total, con una central hidroeléctrica subterránea que genera 800 GWh/año al Sistema Nacional Interconectado (SNI). La característica principal de Mazar es su gran capacidad de almacenamiento, lo cual permite regular el caudal del río Paute, incrementar la energía continua en la central Molino y retener materiales arrastrados por el éste río, contribuyendo a la continuidad operativa del embalse Amaluza. (CELEC EP.)

Esta presa está en continuo contacto con diversos factores que en su mayoría son de carácter natural como: oleaje, acumulación de sedimentos, sismos, vientos fuertes y crecidas. Todos estos factores pueden influir para provocar la erosión en la pantalla, y por ende generar zonas débiles en la misma, las cuales podrían dar inicio a una falla de funcionamiento de la estructura.

Actualmente la presa dispone de instrumentos de monitoreo como piezómetros, vertedero de control, control topográfico, entre otros. El vertedero de control, por medio de un dren ubicado en medio de la presa, recepta las filtraciones, a las cuales se realizan medidas topográficas desde diferentes hitos hasta la presa, mediante los cuales determinan movimientos de la misma en el tiempo.

La importancia de este trabajo de titulación radica en determinar las zonas en las que existe mayor concentración de flujo, las cuales son posibles zonas vulnerables, y así conocer la tendencia que sigue el flujo interno, lo cual dará parámetros iniciales para ensayos específicos, además de un mantenimiento temprano, con la finalidad de disminuir costos y mejorar la seguridad.



## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Detectar las áreas de mayor infiltración dentro de la presa mediante la interpretación de perfiles geofísicos, así como, la validación del método mediante un estudio comparativo de los datos de instrumentación de monitoreo existentes en la presa relacionados con niveles de agua y composición interna de la presa.

### **Objetivos específicos**

Hacer pruebas de resistividad mediante perfiles eléctricos y perfiles sísmicos (MASW, REMI, ESAC) ubicadas sobre la presa.

Determinar mediante las lecturas de resistividad eléctrica los niveles de resistividad dentro del macizo de la presa.

Interpretar los resultados de resistividad eléctrica y sísmica MASW en la presa y así inferir zonas de mayor y menor infiltración.

De ser posible, utilizar otras herramientas, como investigación mediante ondas electromagnéticas (GPR – Georadar), para complementar los resultados obtenidos.



## **CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO**

### **Geofísica**

La Geofísica que es un vocablo compuesto de las raíces latinas “geo” = “tierra” y “physis” = “naturaleza” e “ica” = “relativo a”, significa ciencia que estudia la naturaleza de la tierra en cuanto a sus principios físicos. Esta, además, se ocupa de los campos físicos vinculados a nuestro planeta. Es decir, que estudia la tierra mediante métodos de la física, (métodos indirectos), con el propósito de conocer su evolución y características actuales (geofísica pura) y también como herramienta de prospección de recursos (geofísica aplicada). Pueden ser medidos directamente los campos físicos naturales (gravedad, magnetismo, radioactividad, geotermas, etc.) o generar campos artificiales por emisión de electricidad, energía sísmica, etc., obteniendo mediciones más concretas en los sitios de estudio y por lo tanto resultados específicos a los fines exploratorios. (Chelotti et al, 2009)

Mediante los diferentes métodos geofísicos se pueden obtener diferentes parámetros tales como: gravimetría (densidad), magnético (susceptibilidad magnética), eléctricos (resistividad), electromagnéticos (conductividad eléctrica y permeabilidad magnética), sísmico (velocidad de propagación de ondas sísmicas), radioactivos (niveles de radiación natural o inducida) (González de Vallejo et al, 2002, pág. 329). Los resultados obtenidos en los ensayos de campo parten de la recopilación de parámetros físicos, elásticos, acústicos, etc., que, a través del entendimiento de las respuestas de las distintas estructuras del suelo al flujo de electricidad, magnetismo, ondas sísmicas, etc. permiten determinar y reconstruir las condiciones del subsuelo. (Uvidia, 2015).

Los estudios geofísicos, además, permiten determinar espesores de rellenos o recubrimientos, excavaciones de materiales, posición de nivel freático, localización de cavidades u otras heterogeneidades del subsuelo, propiedades geomecánicas de materiales, localización de fallas, espesores de roca, entre otros (González de Vallejo et al, 2002).

La difusión de los métodos geofísicos se ha incrementado de la mano de avances tecnológicos en la construcción de equipos y la capacidad de procesamiento e interpretación de datos.

### **Resistividad eléctrica**

La resistividad eléctrica es uno de los métodos de exploración geofísica más antiguos iniciando su desarrollo a principios de del siglo XX, generalizándose su práctica en los años 70's (Reynolds, 1997).

Como explica Gonzales de Vallejo, la técnica de prospección geofísica a través del uso de la resistividad eléctrica, consiste en estudiar la respuesta del terreno cuando a este se le aplica corriente eléctrica continua de intensidad  $I$  mediante dos electrodos de corriente denominados A y B, los cuales se encuentran conectados a

una fuente de energía externa, la medida de la diferencia de potencial  $\Delta V$  entre dos electrodos de potencial denominados M y N, está ligada a las condiciones del subsuelo. (2002) (Figura 1)

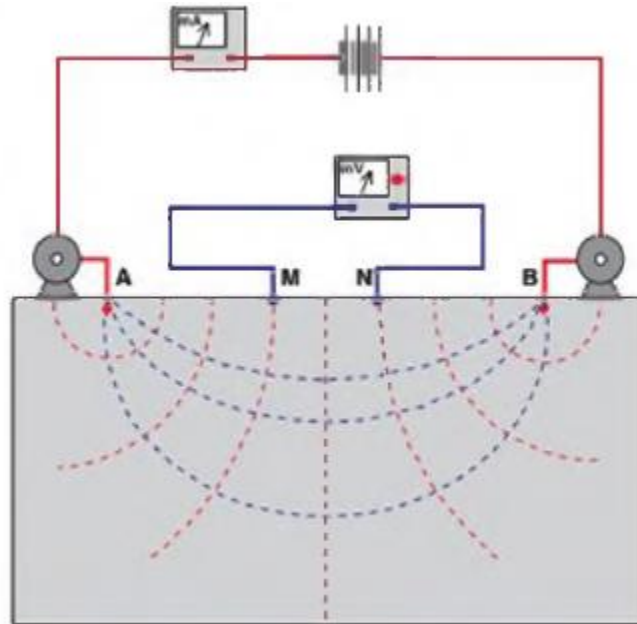


Figura 1 Medida de resistividades del terreno mediante métodos eléctricos (González de Vallejo et al, 2002, pág. 330).

Todos los materiales se oponen en menor o mayor grado al paso de la corriente eléctrica, lo que se conoce como resistencia eléctrica; los aislantes poseen una resistencia eléctrica muy alta y los materiales que son buenos conductores eléctricos tienen una resistencia eléctrica muy baja. Por tal motivo, la resistividad eléctrica de un material es la dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos en una corriente eléctrica aplicada. (Cárdenas Valencia & Galvis García, 2011).

Esto implica que, si un material muestra una alta resistividad, el material es un mal conductor o buen aislante, por el contrario, si un material presenta una baja resistividad, indica que es buen conductor o mal aislante. La resistividad de cualquier material conductor que tiene una longitud  $L$  y una sección transversal de área  $A$  se define como:

$$\rho = \frac{R * A}{L}$$

donde,

$\rho$  Resistividad eléctrica ( $\Omega\cdot m$ )



- R Resistencia eléctrica ( $\Omega$ )
- A Área de la sección transversal de la muestra ( $m^2$ )
- L Longitud de la porción de material (m)

La resistividad eléctrica y su inverso la conductividad eléctrica en un suelo varían extensamente en el mundo entero y cambiar drásticamente en espacios relativamente cortos. La resistividad eléctrica del suelo depende de las características intrínsecas de los suelos, es decir, del contenido de distintas partículas como arcillas, arenas, pizarras, etc.; del porcentaje de vacíos, contenido de agua, cantidad de electrolitos (sales disueltas y minerales) entre los principales. (Cárdenas Valencia & Galvis García, 2011)

Aunque hay suelos que poseen materiales aislantes, es posible detectar una resistividad eléctrica apreciable en el terreno. Esto se debe a que el proceso de conducción en suelos es de carácter electroquímico.

Según Cárdenas y Galvis (2011), estas variaciones se dan por:

La humedad o contenido de agua que contiene cada terreno tiene una alta incidencia en la resistividad del terreno, en virtud de que la corriente eléctrica se conduce en mayor medida por los poros con agua, por lo que no se obtienen los mismos resultados diferentes épocas del año.

La concentración de sales disueltas es un factor determinante en la resistividad del terreno ya que la conductividad de esta mejora al tener mayor concentración de sales disueltas dejados por las formaciones rocosas o masas minerales; El agua disocia las sales en iones y cationes, los cuales se encargan en transportar los electrones por el terreno permitiendo mayor circulación de electricidad.

La porosidad o índice de poros del material, a menor índice de poros mayor es la conductividad eléctrica por lo que se obtiene menor resistividad. Este índice de poros está influenciado por la geometría de los poros, distribución, compactación, composición del material, etc.

El contenido de arcillas puede generar variaciones en la medición, debido a que estas poseen muy bajo índice de poros. Es por ello que al estar en contacto con otros materiales aumenta su conductividad. (pag.18-21)

### Resistividad aparente

La resistividad medida generalmente no corresponde a una unidad litológica concreta, si no a un conjunto de materiales afectados por el paso de una corriente (González de Vallejo et al, Ingeniería Geológica, 2002), esta se denomina resistividad aparente ( $\rho_a$ ):

$$\rho_a = K \left( \frac{\Delta V}{I} \right)$$

donde,

$\rho_a$	Resistividad aparente
K	Constante de configuración geométrica del dispositivo en cada medida (depende de las distancias de los electrodos)
$\Delta V$	Diferencia de potencial medido entre electrodos
I	Corriente eléctrica

La resistividad real obtenida coincidirá con la resistividad aparente sólo en el caso que se tenga un terreno completamente homogéneo. En la práctica, el valor de resistividad obtenido en la medición es una mezcla de las resistividades de diversos materiales. (Cárdenas Valencia & Galvis Garcia, 2011, pág. 16)

### Métodos de resistividad eléctrica

Los métodos de resistividad eléctrica aplicados en la actualidad hacen referencia al arreglo o configuración que resulta de la combinación y la separación entre electrodos; se conocen los siguientes:

**Schlumberger:** Configuración simétrica, con los electrodos de potencial MN interiores y alineados con los de corriente AB, y separación entre M-N inferior a 1/5 de A-B, con una separación a desde el punto medio a cada electrodo de potencia n veces a, esto de acuerdo a la distancia que se desee cubrir.

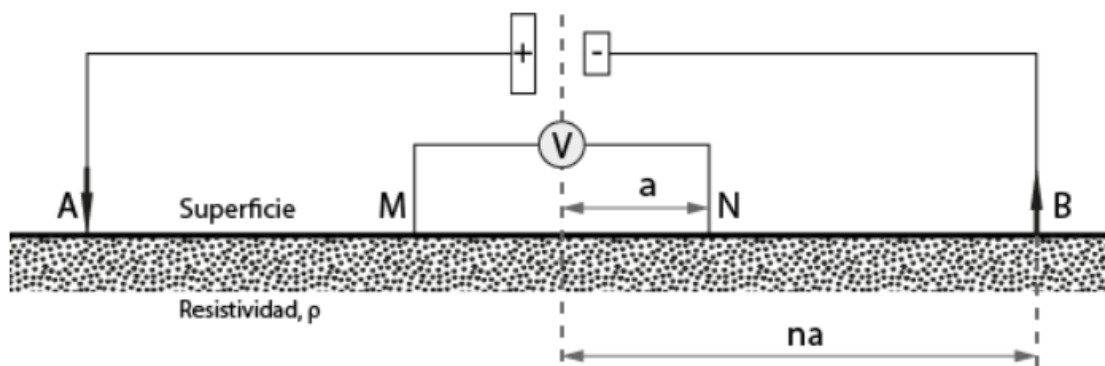


Figura 2 Distribución de electrodos, Método Schlumberger

**Wenner:** Configuración simétrica, con los electrodos de potencial MN interiores y alineados con los de corriente AB con una separación  $a$  entre M-N, A-M, N-B respectivamente.

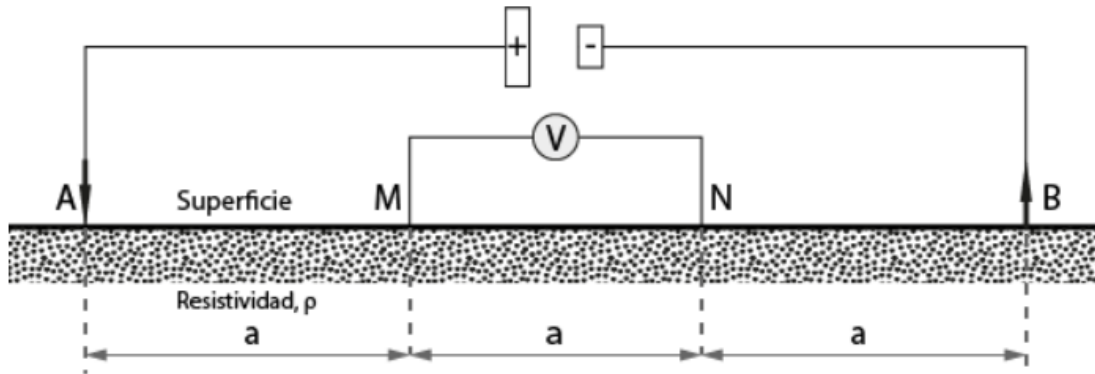


Figura 3 Distribución de electrodos, Método Wenner

**Dipolo – Dipolo:** Configuración simétrica, con los electrodos de potencial MN alineados con los de corriente AB, con igual separación  $a$  entre AB y MN, separados entre sí a una distancia  $n$  veces  $a$ .

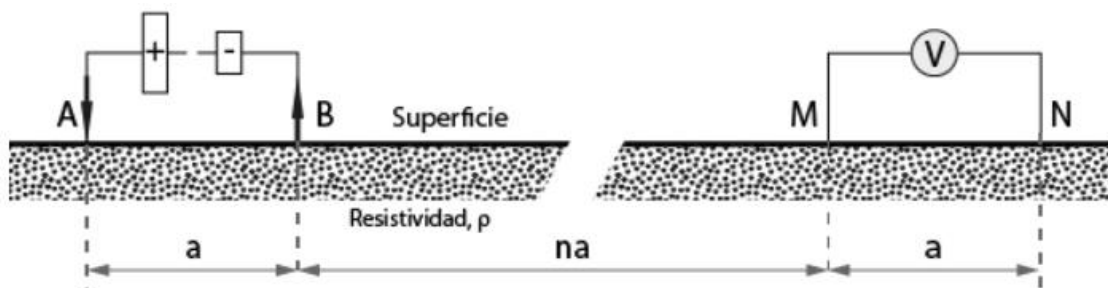


Figura 4 Distribución de electrodos, Método Dipolo-Dipolo

**Polo – Dipolo:** Configuración simétrica, con los electrodos de potencial MN alineados con los de corriente AB, y separación entre AB cualquiera, entre AM  $n$  veces la separación  $a$  de MN.

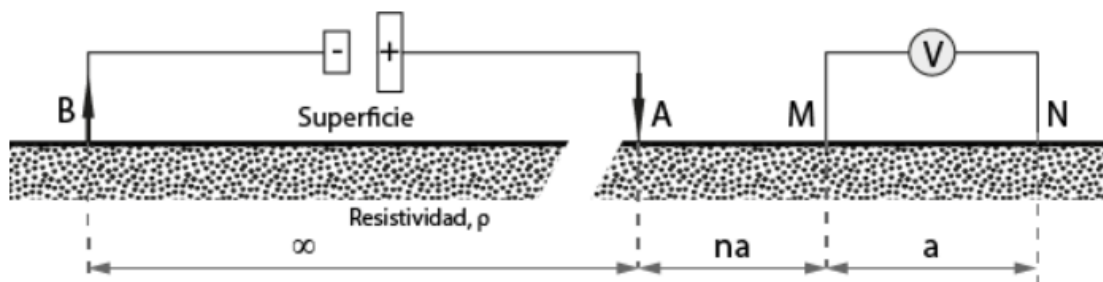


Figura 5 Distribución de electrodos, Método Polo-Dipolo

**Conveniencia de los métodos** (Hidalgo et al, 2006, pág. 18):

- Wenner:                   Sensible a cambios de resistividad vertical del suelo, no para los horizontales;
- Dipolo – Dipolo:       Sensible a resistividad horizontal del suelo, no así para los verticales. Útil para estructuras como muros enterrados, cavidades, etc. No así para estructuras horizontales;
- Polo – Dipolo:           Con mejor fortaleza en la señal que Dipolo – Dipolo, su cobertura horizontal es buena, no así la vertical;
- Schlumberger:           Moderadamente sensible a estructuras horizontales y verticales, posee menor señal que Wenner por lo que se recomienda su aplicación en estructuras geológicas conocidas.

Existen tres tipos de modelos de sondeo que se pueden realizar, estos se los aplica en función de los estudios que se requiere obtener debido a que existe una amplia variación entre sus resultados y su costo de implementación. Los modelos que se pueden realizar son los siguientes (Hidalgo et al, 2006):

Modelo 1D: Se presume que el subsuelo consiste en capas horizontales homogéneas e isotrópicas, es decir, la resistividad varía únicamente en profundidad, mas no en dirección horizontal, siendo esta su limitación debido a que esta situación es muy rara de encontrar. Figura 6a.

Modelo 2D: Este modelo varía sus resistividades en dirección horizontal y vertical, por lo que se asemeja a las características reales de un suelo, este es el sondeo más practico debido a sus costos vs resultados. Figura 6b.

Modelo 3D: Este varía sus resistividades en sentido horizontal, vertical y en profundidad, por lo que se obtienen resultados en tercera dimensión, este sondeo se lo realiza en proyectos específicos debido a sus altos costos. Figura 6c. (pág. 8)

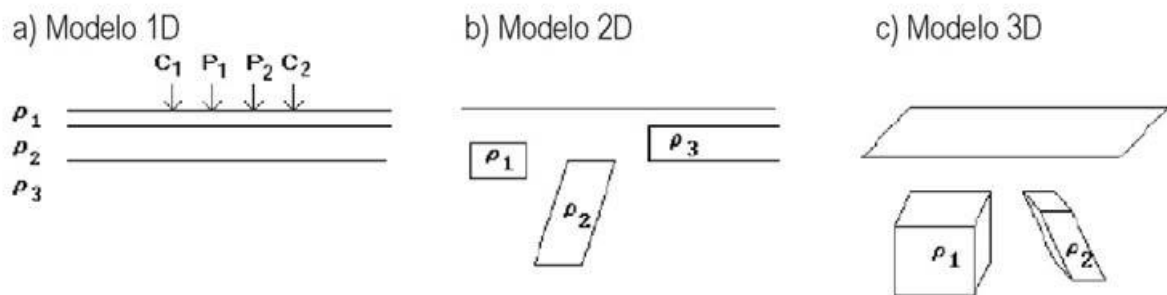


Figura 6 Modelos disponibles para caracterización

Experimentalmente se ha realizado varias mediciones, por lo que existen varias tablas con rangos acercados de la resistividad eléctrica de varios materiales; sin





embargo, estas no son exactas, ya que, dependiendo de las características geotécnica (índice de poros, contenido de arcillas, humedad, etc.) del suelo, estos valores varían ampliamente, por lo que generalmente los resultados se los interpreta en base a la experiencia y conocimientos de la geología de la zona. A continuación, se muestra una tabla ejemplo con datos de resistividades de diversos materiales obtenidos de dos autores diferentes:

Tabla 1 Valores de resistividades de distintos materiales obtenido de dos autores diferentes.

González de Vallejo et al, 2002, pág. 329		Figuerola J. C., 1974, pág. 382	
Materiales	Resistividad $\rho$ ( $\Omega$ m)	Materiales	Resistividad $\rho$ ( $\Omega$ m)
Margas	50 - 5000	Marga seca	50 - 100
Calizas	300 - 10000	Marga húmeda	1-oct
Pizarras	100 - 1000	Calizas seca	1000 - 10000
Granito	300 - 10000	Caliza húmeda	50 - 500
Arcillas	1 - 20	Granito seco	1000000 - 1000000000
Arenas	50 - 500	Arcilla seca	80
Conglomerados	1000 - 10000	Arcilla húmeda	0.1 - 10
Areniscas	50 - 5000	Arenisca seca	10000 - 100000000
Aluviones	50 - 800	Limonita	100000

### Métodos sísmicos

Robert Mallet, en 1846 publicó en la Academia Irlandesa el estudio: *Sobre la dinámica de los terremotos*, que fue una de las primeras experiencias en el campo de la sismología aplicada. Él sugería que es posible generar terremotos artificiales mediante explosiones de pólvora apuntando a que las velocidades de cada roca dependen de sus características tales como: Origen, edad, meteorización, fractura, etc. (Figuerola J. C., 1974, pág. 204)

La energía liberada por un terremoto, explosión o golpes sobre el terreno, producen propagación de energía en forma de ondas sísmicas, estas viajan por el interior y superficie del terreno, el efecto de propagación es parcialmente similar cuando lanzamos una piedra en un estanque.

Los métodos sísmicos estudian la propagación en el terreno de ondas sísmicas artificiales, estableciendo su relación con la configuración geológica del subsuelo. La velocidad de transmisión depende de las propiedades elásticas (porosidad y



contenido de arcilla) y de la densidad del medio por el cual se propagan. (González de Vallejo et al, 2002, pág. 331)

Por otro lado, “Los contactos entre los cuerpos geológicos con diferente velocidad de transmisión de las ondas sísmicas, definen superficies de separación en las que las ondas sufren **refracción, reflexión o difracción** (ley de Snell).” (González de Vallejo et al, 2002, pág. 331), donde:

**Refracción**, es el cambio de dirección de una onda al pasar de un material a otro, esta varía en su velocidad de propagación;

**Reflexión**, es cuando una parte de una onda se refleja en otra dirección al incidir en un material;

**Difracción**, es el fenómeno que ocurre cuando las ondas encuentran un material que actúa como obstáculo o como una rejilla, este obstáculo actúa como un nuevo foco emisor;

Existen dos tipos de ondas sísmicas: internas y superficiales, las primeras se dividen en ondas primarias P y ondas secundarias S; las segundas se dividen en ondas Rayleigh y ondas Love. Las primeras se transmiten por medio del interior de la tierra emergiendo hasta la superficie, mientras que las segundas se propagan en zonas de discontinuidad en el interior de la Tierra y por la superficie de la misma. (Giner & Molina, 2001, pág. 13)

**Ondas primarias (P):** También conocidas como ondas de compresión u ondas  $V_p$ , son ondas longitudinales o de compresión debido a que el movimiento de vibración de las partículas es en la dirección de propagación de la onda, de manera que la roca se comprime y dilata con el paso de la onda, estas dañan de menor forma a las estructuras ya que las hacen vibrar principalmente en dirección vertical, se propagan en la superficie y en el subsuelo, poseen las velocidades más altas y arriban antes que ninguna otra. (Lazcano, 2007, págs. 8-10)

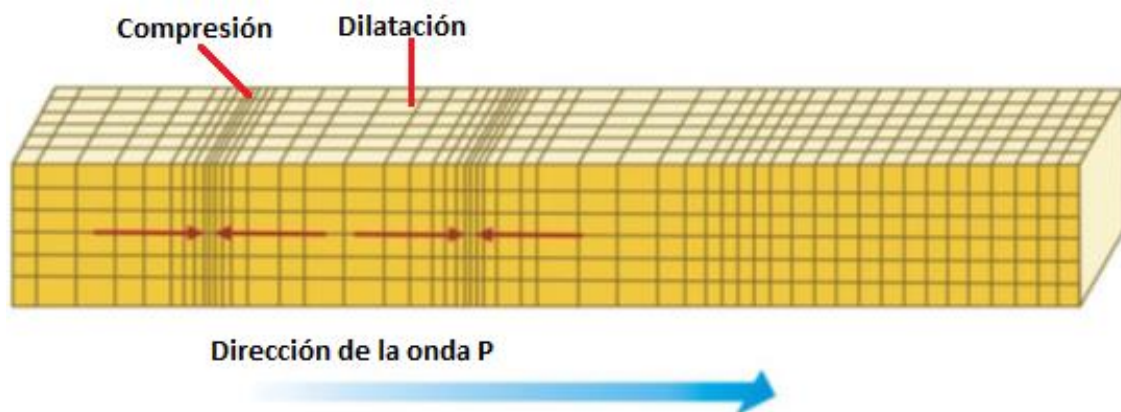


Figura 7 Esquema de la Propagación de Ondas Primarias "P", la dirección de la onda coincide con la dirección de vibración de las partículas.

**Ondas secundarias (S):** También conocidas como ondas de corte u ondas Vs, son ondas transversales o de corte debido a que el movimiento de vibración de la partícula es perpendicular a la dirección de propagación de las ondas desarrollando esfuerzos de corte en el medio de propagación. Estas ondas no pueden propagarse a través de fluidos debido a que estos no soportan esfuerzos de corte, su velocidad es menor a las ondas P. (Lazcano, 2007, págs. 8-10)

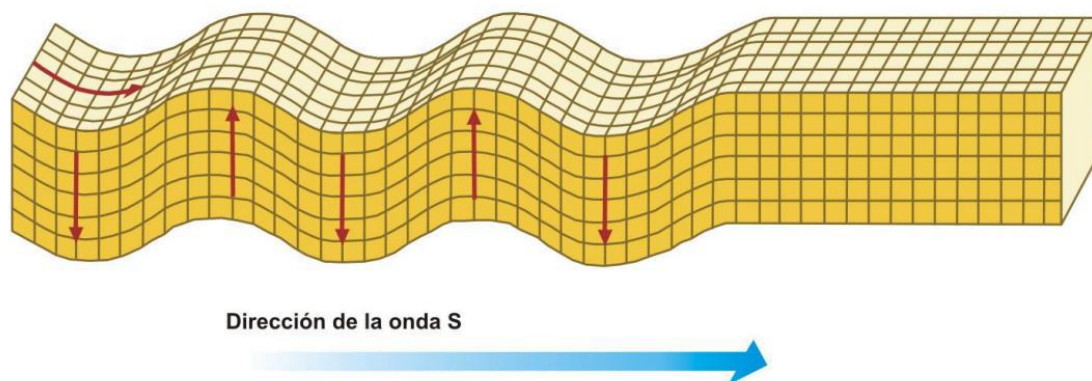


Figura 8 Esquema de la Propagación de Ondas Secundarias "S", la dirección de propagación de la onda es perpendicular a la dirección de la vibración de las partículas.

**Ondas de Rayleigh (R):** Fueron propuestas por Lord Rayleigh en 1885 al considerar la propagación de ondas en un medio homogéneo semi-infinito y limitado por una superficie plana libre de esfuerzos, son consecuencia de la propagación de ondas al incidir sobre una superficie libre de esfuerzos. Estas ondas son de gran importancia ya que generan gran daño en los terremotos, debido a que perturban las partículas a su paso, horizontal y verticalmente; su movimiento es similar al de una elipse girando en sentido retrogrado al de su avance generando un efecto de vaivén. Su velocidad de propagación es menor al de las ondas S. (Lazcano, 2007, págs. 8-10)

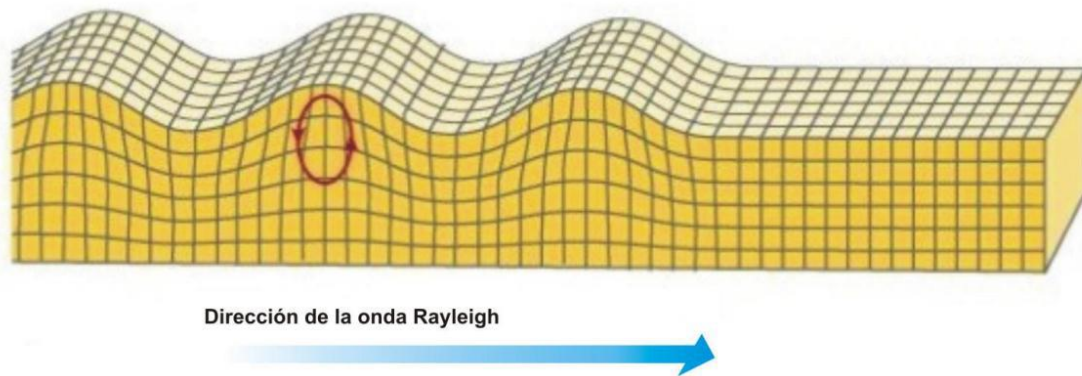


Figura 9 Esquema de la Propagación de Ondas Rayleigh "R", la dirección de la onda de propagación es elíptica a la dirección de la vibración de las partículas.

**Ondas de Love (L):** Denominadas así por el matemático A. E. H. Love que en 1911 explicó este fenómeno de transmisión desarrollando la teoría de propagación de ondas superficiales de componente transversal, en una capa (litosfera) sobre un medio semi-infinito de diferentes propiedades elásticas. Estas ondas producen sacudida de los cimientos, por lo que, junto con las Rayleigh, son las que más daño producen. Su movimiento es muy parecido al de las ondas S y no tiene ningún desplazamiento vertical, es decir, van de un lado a otro respecto al plano horizontal. Su velocidad es mayor al de las ondas Rayleigh y menor que las ondas internas (P y S). (Lazcano, 2007, págs. 8-10)

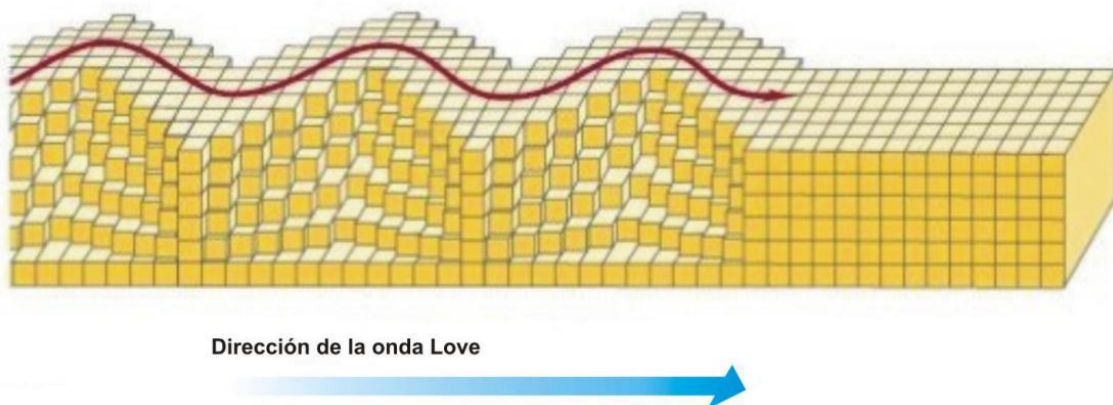


Figura 10 Esquema de Propagación de ondas Love (L), la dirección de la onda es similar a las ondas S con respecto al plano horizontal de la vibración de las partículas.

La velocidad de transmisión de ondas  $V_s$  y  $V_p$  son un buen indicador de las características geotécnicas del material por el que se propaga, es por ello que,



debido a la variabilidad de la composición litológica o estructura interna, densidad, humedad, porosidad, saturación, porcentaje de vacíos, presencia de arcillas, etc.; existe una importante dispersión con los valores de velocidades de diversos materiales que se han estudiado ampliamente, los resultados se encuentran plasmados a manera de tablas y formulas producto de experimentos. A medida que los materiales se degradan y aumentan el grado de alteración, la velocidad disminuye, así en general a medida que se profundiza en el subsuelo, se presentan velocidades crecientes, debido a que se acercan a suelo – roca o roca matriz, es decir, estos materiales poseen velocidades muy altas. (Gonzáles de Vallejo et al, 2002, pág. 333) (Giner & Molina, 2001, pág. 14)

A continuacion se muestran valores de velocidades de propagacion en las rocas en funcion de la onda longitudinal, estas son experimentales y varian en funcion de las características internas, edad, origen, profundidad, etc. de las mismas.

Tabla 2 Valores de velocidad de longitudinales para diferentes rocas. (Figuerola, 1974)

Rocas	Vp (m/s)
Capa meteorizada	300 - 900
Aluviones modernos	350 - 1500
Arcillas	1000 - 2000
Margas	1800 - 3200
Areniscas	1400 - 4500
Conglomerados	2500 - 5000
Calizas	4000 - 6000
Dolomías	5000 - 6000
Sal	4500 - 6500
Yeso	3000 - 4000
Anhidrita	3000 - 6000
Gneises	3100 - 5400
Cuarcitas	5100 - 6100
Granitos	4000 - 6000
Gabros	6700 - 7300
Dunitas	7900 - 8400
Diabasas	5800 - 7100

De esta tabla (Figuerola, 1974) llega a la conclusion de que las rocas igneas poseen mayores velocidades que las rocas sedimentarias.

Los ensayos sísmicos están basados en el registro de ondas superficiales  $V_s$  y  $V_p$ . Estos procedimientos son empleados en la ingeniería para la determinación de fallas, estratigrafía, detección de acuíferos, etc. y se las determina mediante los ensayos de exploración denominados “Refracción Sísmica, Masw, Remi y Esac”. Estos métodos son ensayos no destructivos, es decir, no es necesario realizar perforaciones ni daños a la estructura para su aplicación. A continuación, se expone cada uno de ellos.

### Método de Refracción Sísmica

La refracción sísmica estudia la energía que vuelve a la superficie tras sufrir refracción total en superficies límite del subsuelo. (González de Vallejo et al, 2002, pág. 331)

Consisten en la medición del tiempo de viaje de la primera onda superficial u onda P ( $V_p$ ) empleando perfiles longitudinales con geófonos instalados, los cuales registran el tiempo de propagación al pasar por el material. Si es que el material fuese homogéneo, las ondas no variarían sus propiedades, en cambio, si se encontraran un cambio en el material, cambiaría su velocidad produciéndose los fenómenos de refracción y reflexión (ley de Snell). (GUARACHI, 2013, pág. 21) (González de Vallejo et al, 2002, pág. 331)

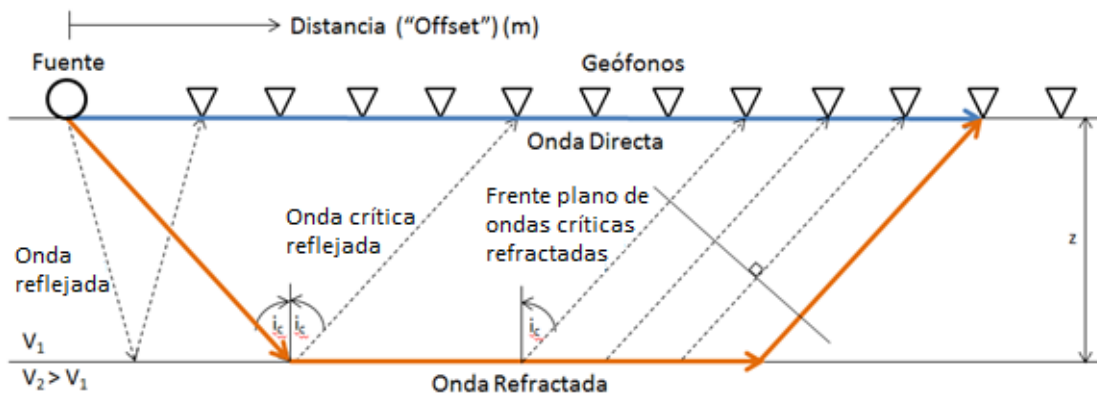


Figura 11 Esquema de ensayo de refracción sísmica (GUARACHI, 2013, pág. 21). comportamiento de la onda al transmitir desde la fuente hasta los geófonos.

Las ondas son generadas mediante una fuente de energía impulsiva, la cual es provocada mediante el golpe de una masa ej. martillo de 8kg, estas ondas llegan a los sensores provocando una perturbación que es registrada por los geófonos. Las longitudes de los perfiles dependen de la cantidad de geófonos utilizados, los cuales variarán de entre 12 a 24 geófonos, estos tendrán una separación máxima de 5m entre cada uno, a fin de obtener un buen detalle de la información. El número de golpes o “shots” se los realiza a los extremos de la línea y dentro de ésta, la configuración más común es la que se muestra a continuación en la figura 12,

donde G=Geófonos, SH=Shots, x=Separación entre geófonos. (Gonzáles de Vallejo et al, 2002, pág. 332)

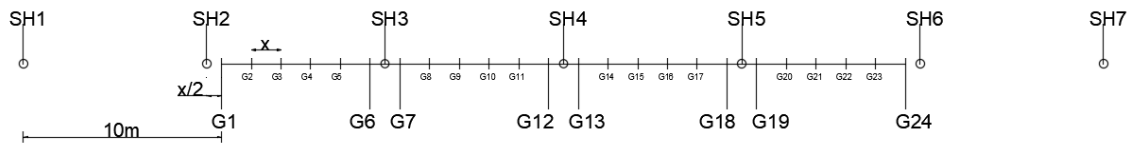


Figura 12 Ubicación de "shots" sobre un alineamiento sísmico con 24 geófonos.

La medida de los tiempos de arribo de las ondas elásticas a los geófonos proporciona el valor de la velocidad de propagación y espesor de los distintos materiales atravesados. Cada geófono mide el tiempo transcurrido entre el "shot" y la llegada de la onda. (Gonzáles de Vallejo et al, 2002, pág. 332). Los tiempos y distancias medidos por los geófonos van en función de las condiciones estratigráficas del medio. (Figueroa J. C., 1974, pág. 208)

Los espesores de las capas se determinan mediante la medición del tiempo en el que se producen los cambios de pendiente, donde los espesores están dados por las velocidades de cada capa. Al aplicar los shots a lo largo del arreglo lineal se obtiene los modelos con los estratos de suelos.

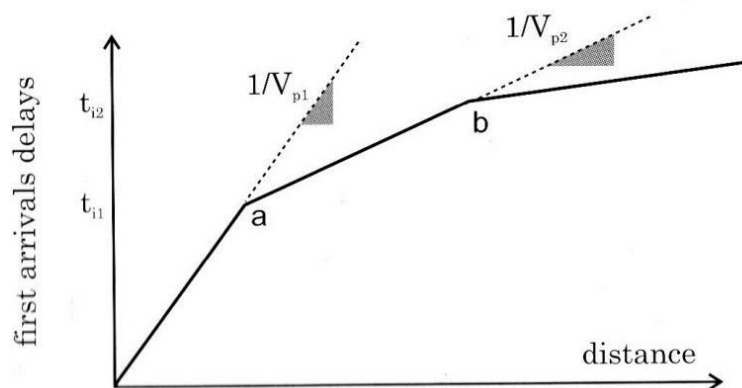


Figura 13 Esquema de tiempos de primera llegada para cada distancia. Los cambios de dirección en los puntos a y b, representan un cambio de estrato o material de terreno.

Los resultados obtenidos se procesan mediante un software especializado que se detalla en la metodología, en el cual se aplican procesos matemáticos e iteraciones complejas, de tal manera que se permite visualizar los resultados obtenidos de las lecturas de las ondas  $V_p$ , lo cual permitirá la interpretación de las condiciones geotécnicas en las que se encuentra un sitio.

Mediante la figura 13 se muestra un ejemplo del resultado obtenido del método de refracción sísmica, donde se presentan las velocidades sísmicas en el interior del

subsuelo en escala de colores, se aprecia que a mayor profundidad la velocidad  $V_p$  es mayor.

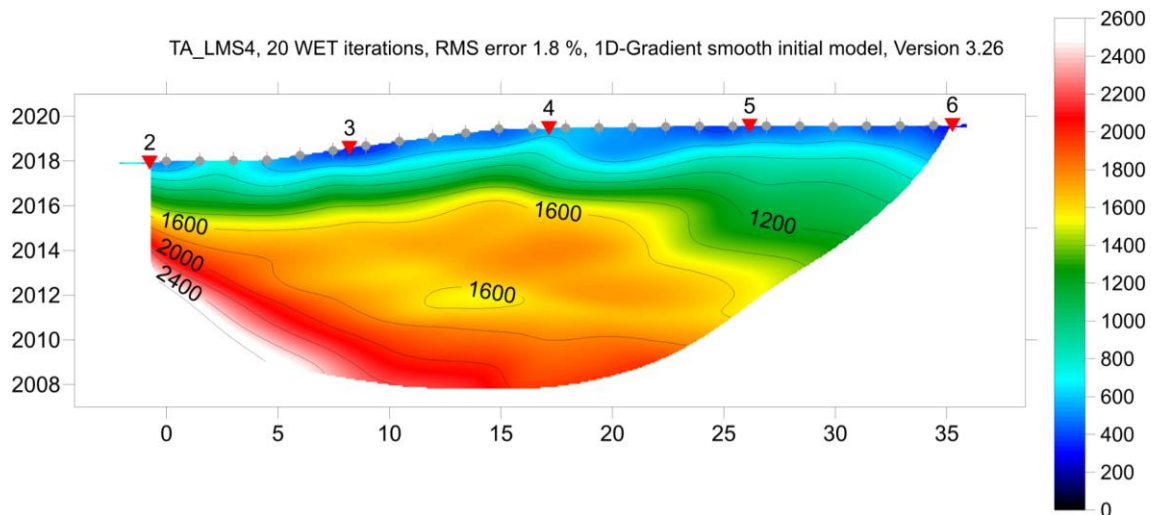


Figura 14 Resultado de tomografía sísmica, valores  $V_p$ . Se puede observar como las velocidades  $V_p$  incrementan conforme mayor profundidad de alcance se obtiene.

### Método MASW

Este método registra las ondas superficiales Rayleigh que tienen una longitud de onda y profundidad de penetración diferentes a las ondas P y S y, por lo tanto, se propagan con una velocidad diferente; al analizar las ondas superficiales se puede obtener un perfil de velocidad cercano a la superficie. Park define al método como Multichannel Analysis of Surface Waves, MASW, Análisis Multicanal de Ondas Superficiales. (Park et al, 1997, pág. 1)

Es importante conocer que las ondas de alta frecuencia poseen una longitud de onda corta, alcanzando poca profundidad, siendo contrario con ondas de baja frecuencia que poseen longitudes de onda más larga y alcanzan mayor profundidad. Es decir, a mayores profundidades de estudio, las frecuencias son más bajas. Para el estudio de velocidades del método MASW experimentalmente se ha establecido que las frecuencias entre 5Hz y 70Hz permite una velocidad de fase aparente experimental o curva de dispersión óptima con lo que usualmente se alcanzan profundidades de 10 a 30m dependiendo de las características geotécnicas internas del sitio. (Roma, 2013, pág. 1)

La metodología para la recolección de datos en campo es la misma que la de sísmica de refracción, es decir, poseen la misma configuración de electrodos, espaciamiento y aplicación de energía (Shots). La diferencia está en que los geófonos del método MASW son para frecuencias más bajas, por lo que generalmente alcanzan mayor profundidad que la Sísmica de Refracción, siendo la propiedad principal el tipo de material.



El análisis de las ondas Rayleigh permite registrar las velocidades de onda de corte  $V_s$  o de cizalladura. En la figura 14 se observa el registro de los datos en velocidad vs frecuencia, en este caso en particular, el óptimo registro de datos se encuentra hasta frecuencias entre los 17 Hz y su velocidad se encuentra en el rango de 400 m/s. (Rivera Zeta et al, 2016, pág. 51) (Roma, 2013, pág. 1)

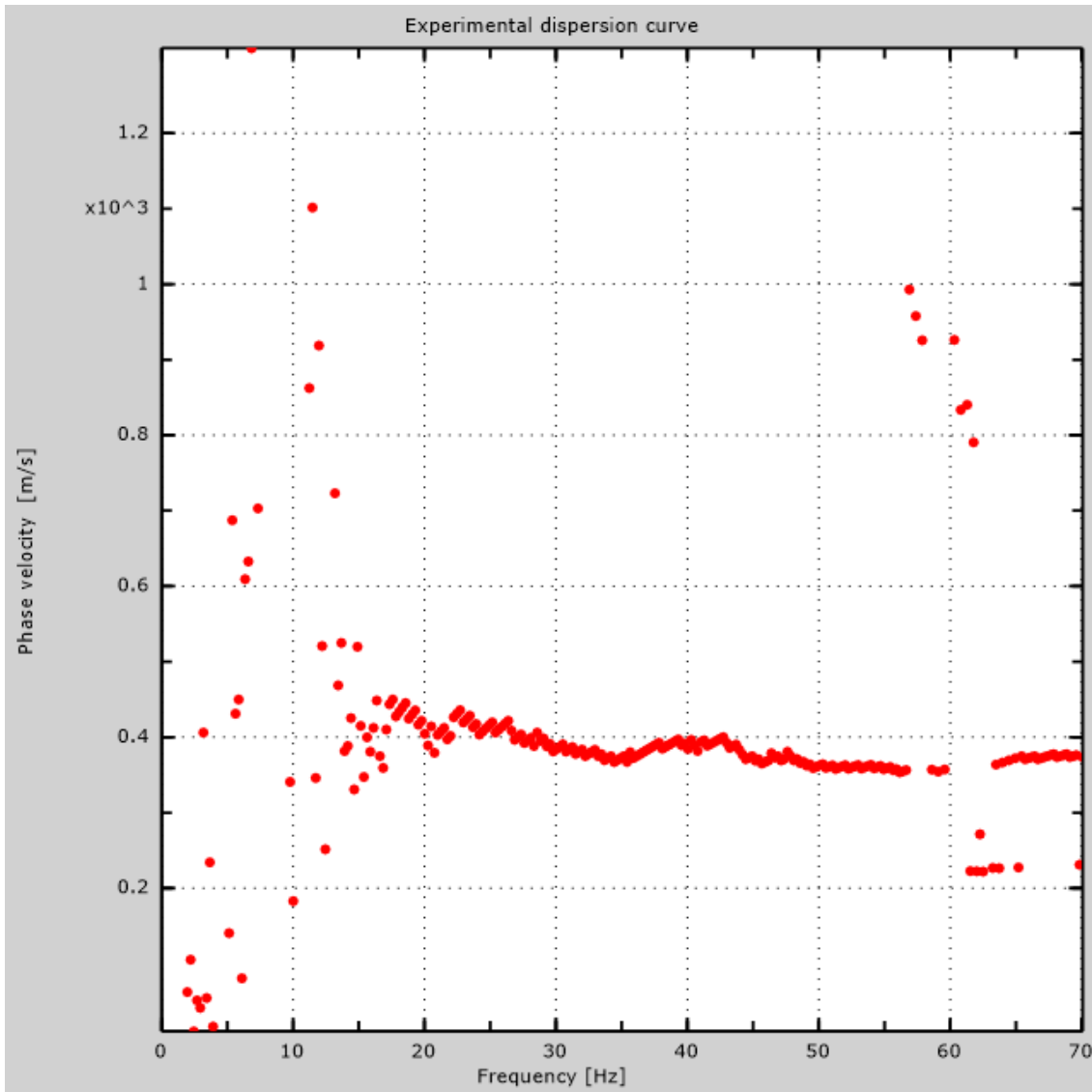


Figura 15 Resultado de método MASW. Curva de dispersión de velocidades  $V_s$  presentadas en Velocidad vs Frecuencia.



### **Método ReMi**

Surge a partir de la complejidad de la implementación de arreglos en zonas urbanas en las cuales el ruido ambiental es continuo y elevado. El método de Refraction Microtremors (ReMi) que quiere decir *Refracción de Micro Temblores* ha sido propuesto por Louie (2001).

A diferencia del método MASW, aprovecha y registra el ruido ambiental, cuyas ondas Rayleigh viajan por todas las direcciones y en todo momento, estas son interceptadas por los geófonos; es por ello que este método puede aplicarse sin problema en ambientes urbanos. EL ruido ambiente puede clasificarse según las fuentes del ruido: para frecuencias bajas (Menor que 0.5 Hz) las fuentes pueden ser océanos, y condiciones meteorológicas a gran escala; para frecuencias alrededor de 1 Hz las fuentes pueden ser viento y condiciones meteorológicas locales, y para frecuencias mayores a 1 Hz las fuentes son esencialmente producto de la actividad humana como tráfico, motores, etc. (Cintas, 2013, pág. 5)

Para el estudio del método ReMi, experimentalmente se ha establecido que las frecuencias entre 5Hz y 15Hz permite una velocidad de fase aparente experimental o curva de dispersión óptima y generalmente se alcanzan profundidades de hasta 50m., dependiendo de las características del material de sitio. (GUARACHI, 2013, pág. 39) (Roma et al, 2011, pág. 2)

La metodología para la recolección de datos en campo es la misma que la de la MASW, es decir poseen la misma configuración de electrodos y espaciamiento; debido a que este método es pasivo, no se necesita la aplicación de "shots". Los tiempos de registro recomendados son de 15 a 30 segundos, los cuales son calibrados en el equipo que registra automáticamente.

Mediante los registros de las ondas Rayleigh producto del ruido ambiental, el cual se determina mediante un análisis espectral, se determina la curva de dispersión de las ondas Rayleigh. Esta técnica permite mejorar la definición en profundidad de la distribución de velocidades de corte Vs, mediante un resultado visual, el cual se ajusta según la definición de colores.

Los resultados se muestran mediante una curva de dispersión con datos en Velocidad vs frecuencia. En caso de la figura 15, los datos presentan mejor definición en frecuencias de 5 a 15 Hz, por lo que, con el mismo criterio anterior, alcanzan mayores profundidades. Su velocidad se encuentra alrededor de los 400 m/s.

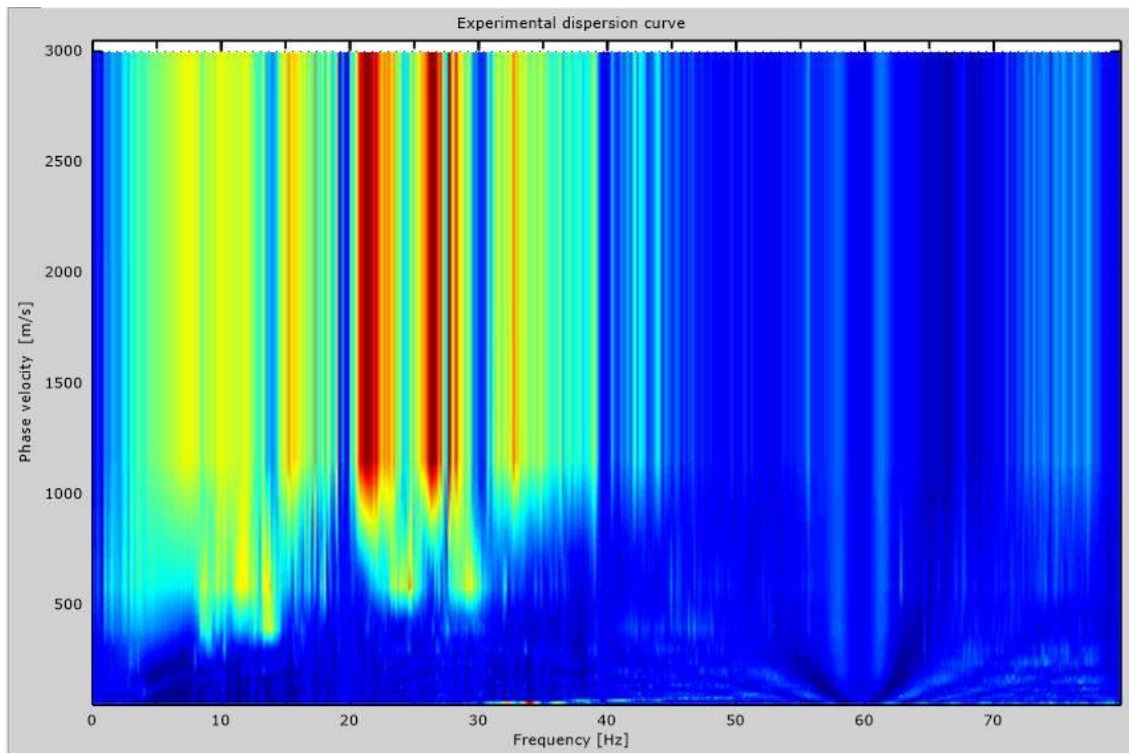


Figura 16 Resultado del método ReMi. Curva de dispersión de velocidades  $V_s$  mediante ruido ambiental presentadas en Velocidad vs Frecuencia.

## ESAC

Al igual que el método ReMi, también basa su metodología en el registro del ruido ambiental, con la diferencia que este método utiliza varios tipos de configuraciones o arreglos de los geófonos, el método extended spatial autocorrelation (ESAC), (auto correlación espacial ampliada en español), método propuesto por (Ohori et al. 2002, Okada, 2013) se basa en el método conocido como spatial autocorrelation (SPAC), propuesto por (Aki, 1957), el cual posee un arreglo circular de geófonos.

Este método se caracteriza por registrar ondas Rayleigh de baja frecuencia (<10 – 15H), es decir, las capas más profundas del sitio. La profundidad alcanzada no sólo depende del espaciamiento utilizado en los electrodos si no de la calidad de las frecuencias obtenidas en relación señal-ruido, en la cual el tipo de material es el principal actor.

El método ESAC se ajusta con 12 geófonos, los cuales tienen una configuración diferente a la SPAC, el cual se aplica de las siguientes formas: L, T, +, X, triángulo, rectángulo. La configuración de los geófonos dependerá del espacio disponible para extenderse por el lado perpendicular de cada configuración. Es importante señalar

que el espaciamiento mínimo deberá ser el mismo utilizado en el método ReMi. (Roma, 2013, pág. 3)

El método ESAC es preferible a ReMi, puesto que proporciona una curva de dispersión experimental aparente obtenida con un procedimiento objetivo, lo cual no ocurre con el método ReMi, el cual se basa en la selección subjetiva de la curva de dispersión. (Roma, 2013) Es por ello que esta curva se la presenta con más definición para las frecuencias más bajas.

Los resultados son presentados en las unidades de lectura Velocidad vs frecuencia. Este presenta una óptima definición a frecuencias todavía más bajas, es por ello que mediante este método se alcanza todavía mayor profundidad. En este caso particular, una buena definición se observa entre los 10 y 20 Hz. con velocidades que van desde los 500m/s y alcanzan los 1000 m/s, lo que significa la posibilidad de un suelo tipo roca.

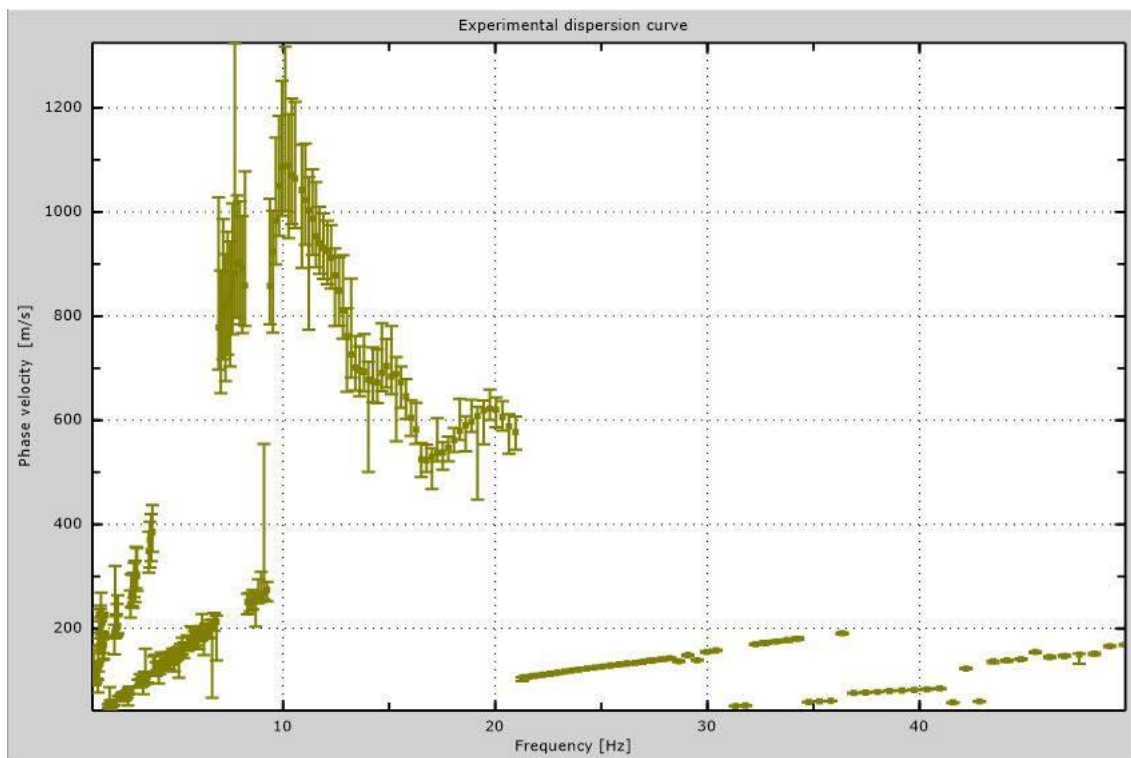


Figura 17 Resultado del método ESAC. Curva de dispersión de velocidades Vs a frecuencias más bajas, presentadas en Velocidad vs Frecuencia

El método ESAC y ReMi son complementarios al método activo MASW, por lo que, analizando los resultados con los tres métodos combinados, posibilitan determinar con mejor precisión los valores registrados a frecuencias más bajas alcanzando mejor definición a profundidad; esto es de mucha utilidad para determinar las



velocidades de corte  $V_s$  y así determinar los diferentes estratos. (Roma, 2013, pág. 3)

Durante el proceso de selección de toda la curva de dispersión aparente experimental (MASW+ReMi+ESAC). Roma (2013) sugiere seguir la curva de dispersión del método MASW desde las frecuencias más altas hasta las más bajas.

En el método ESAC puede ocurrir que a bajas frecuencias la curva de dispersión tenga un pico máximo, el cual luego decrece abruptamente hacia frecuencias más bajas. En estos casos se aconseja tomar en cuenta los datos hasta el pico máximo e ignorar la rama descendente hacia las frecuencias más bajas. Esto se debe a la pérdida de coherencia de la señal, la cual no puede ser procesada por el algoritmo matemático utilizado en este método. (Roma, 2013, pág. 3)

En la figura 17 se observa la combinación de los tres métodos, en donde la tendencia de la curva de dispersión inicia en sus altas frecuencias (cercano a la superficie) con velocidades entre los 400 m/s, donde aproximadamente, en los 15 Hz (mayor profundidad), aumenta su velocidad hasta un pico cercano a 1000 m/s, aproximadamente a los 10Hz, se define visualmente una tendencia continua de velocidad vs frecuencia.

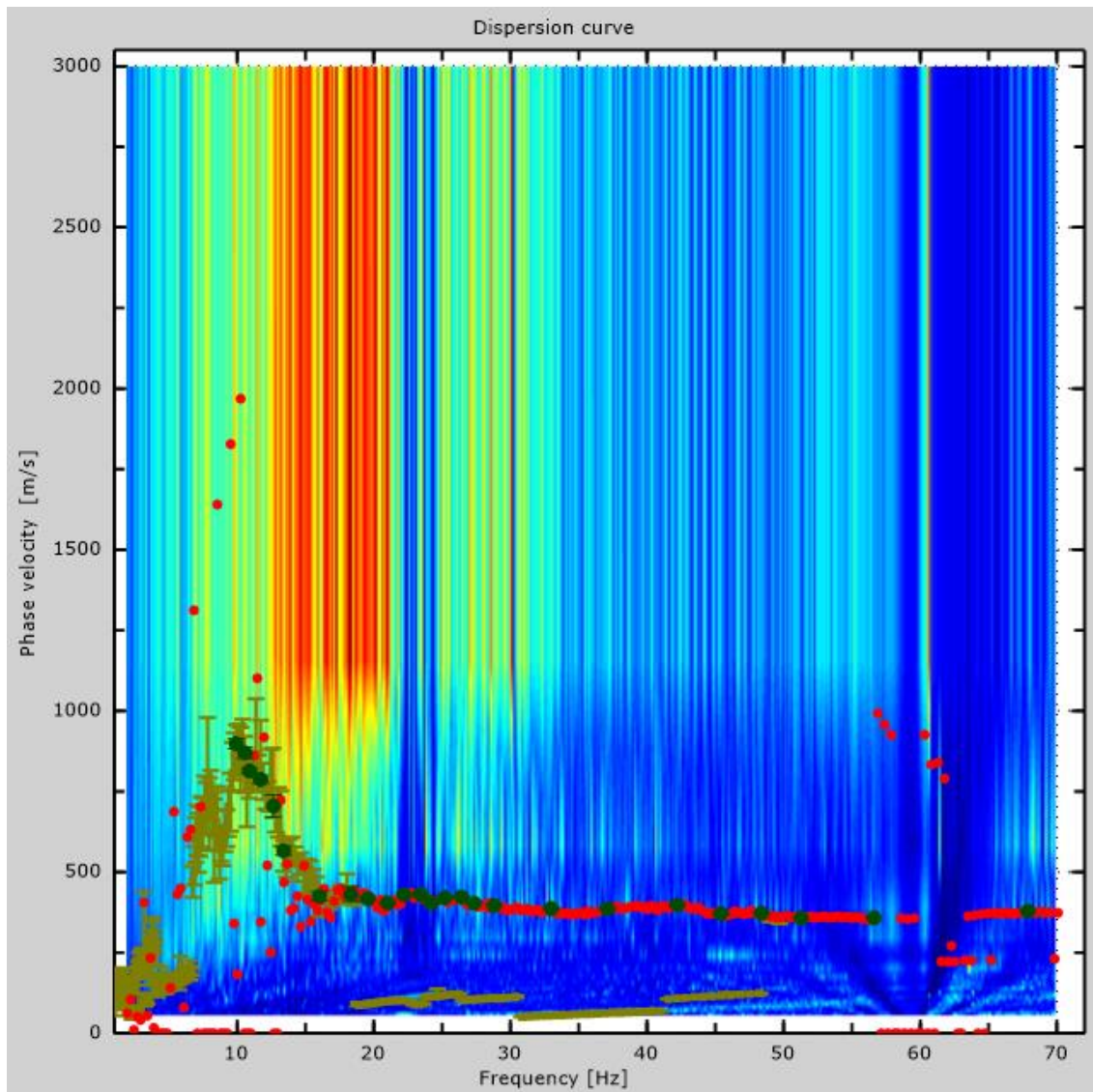


Figura 18 Implementación de los métodos (MASW, ReMi y ESAC). La combinación de los métodos permite mejor definición a menores frecuencias, en este caso hasta los 10Hz.

A partir de la delimitación de la curva de dispersión a usar, mediante un proceso de ajuste y tanteo se obtiene resultados de las ondas de corte encontradas en el sitio, las cuales se encuentran en función  $V_s$  vs Profundidad, si los datos  $V_s$  son mayores, los estratos serán más firmes, es por ello que en la mayoría de casos los resultados  $V_s$  son crecientes a mayor profundidad.

Los resultados que se obtienen son representados por la figura 18, donde las frecuencias que permite el suelo se visualizan en profundidad alcanzada, es por ello que se puede definir una estratigrafía. En este caso la característica del suelo posee

velocidades de 400 m/s hasta los 15m. y luego se encuentra con un suelo de mejores características posiblemente tipo roca con velocidad de 1000 m/s.

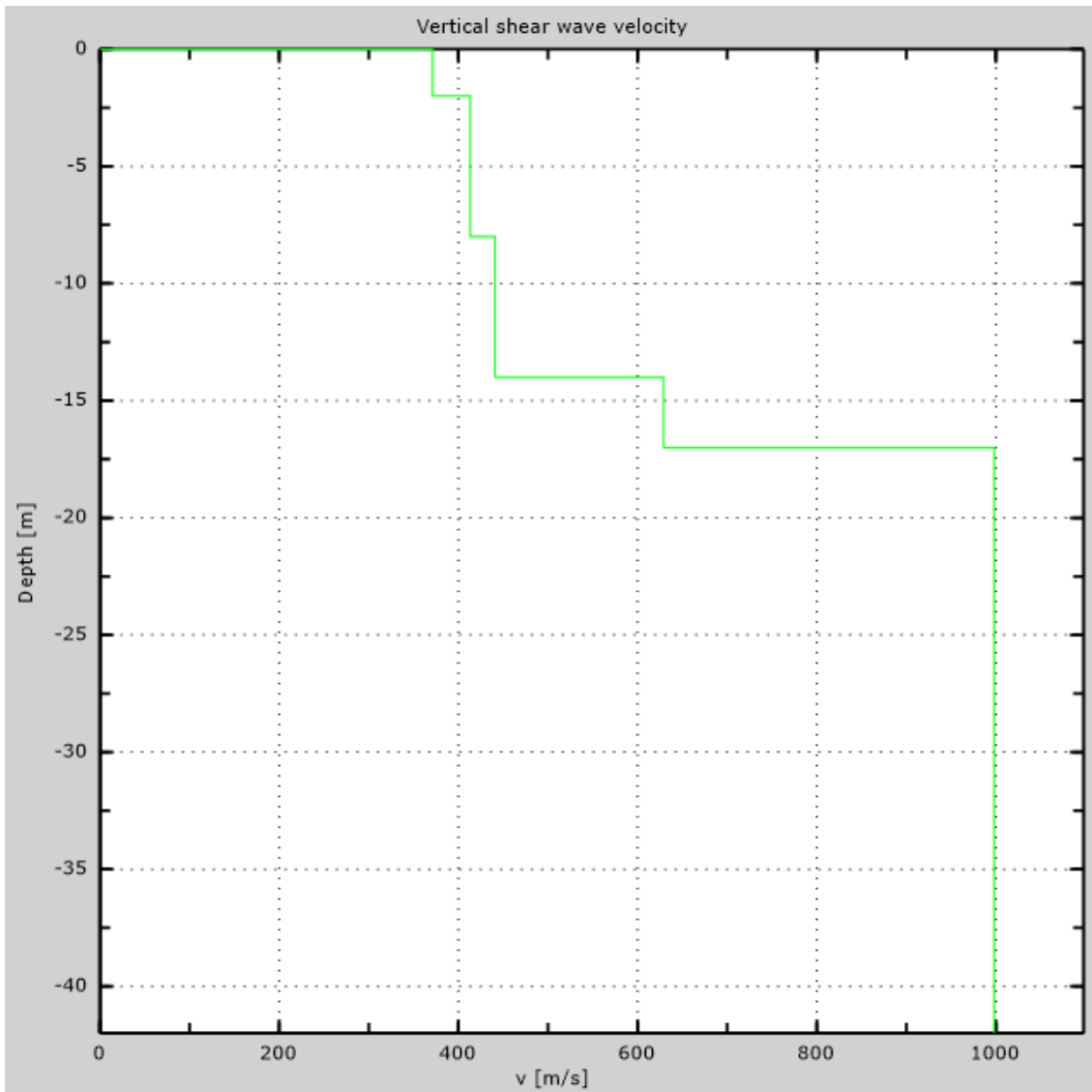


Figura 19 Resultado de velocidades de corte  $V_s$ . (Profundidad vs  $V_s$ ). Se representa la estratigrafía del suelo, donde las frecuencias son interpretadas en profundidad.

La información de las velocidades de corte  $V_s$  permite conocer la estratificación del subsuelo, con lo que se llega a conocer las profundidades de los estratos, así como el posible estrato roca. Con las velocidades de corte de cada estrato se puede clasificar el tipo de suelo, así como su estado de saturación.

Los resultados obtenidos de las ondas  $V_s$  sirven para caracterizar el tipo de suelo que se tiene en sitio mediante las velocidades de corte del percentil 30, esto debido



a que son las más significativas del todo del terreno, Vs30 considerando la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015), Capítulo de Geotecnia y Cimentaciones. También se utilizan los perfiles de velocidades Vp y Vs para obtener características geotécnicas como:

$$\text{Coeficiente de Poisson: } \nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

$$\text{Módulo de Corte: } G_{din} = \gamma * V_s^2$$

$\gamma$  = Densidad del terreno

$$\text{Módulo de Young: } E_{din} = 2 * G_{din} * (1 + \nu)$$

$$\text{Módulo volumétrico: } K_{din} = \frac{E_{din}}{3(1-2\nu)}$$

## PRESAS

Las presas están consideradas entre las construcciones conocidas más antiguas del mundo, impulsadas principalmente por la necesidad del ser humano de contar con agua de manera continua para abastecer sus necesidades. Es por ello justamente que el hombre ha tenido que ingeniarse formas para conseguir, transportar y almacenar el agua que se encuentra distribuida en sectores específicos (Cánovas del Castillo, pág. 4).

La presa es una estructura diseñada para contener el agua proveniente de un cauce natural con dos fines, alternativos o simultáneos, según los casos (Cánovas del Castillo, 1998, pág. 31):

- Elevar su nivel para que pueda derivarse por una conducción (creación de altura);
- Formar un depósito que retenga los excedentes para suministrar un suplemento en los periodos de escasez (creación de embalse) o para amortiguar (laminar) las puntas de las crecidas.

La creación de presas tiene un carácter importante para el desarrollo industrial, económico y turístico, debido a que son proyectos de gran envergadura, las cuales son útiles para prevención de inundaciones e hidroeléctricas, lo cual mejora la calidad de vida de las comunidades favorecidas. (Cánovas del Castillo, 1998, pág. 16)

Existen diferentes clasificaciones de presas, entre ellas, por la ubicación del aliviadero, pueden ser con aliviadero sobre la misma presa o independiente de ella; de acuerdo a la forma de resistir el empuje hidrostático, pueden ser de gravedad o de arco; de acuerdo al material empleado para su construcción, pueden ser de





fábrica (hormigón) o de materiales sueltos (Cánovas del Castillo, 1998, págs. 34-36).

A continuación, se detalla las presas de materiales sueltos, puesto que la presa en estudio (Presa de Mazar) está dentro de esta clasificación.

### **Presas de materiales sueltos**

Las presas de materiales sueltos son construidas básicamente con materiales naturales (tierra, grava, arena, escollera, etc.) con limitada cohesión, transportados y compactados, es por ello que generalmente son más económicas que las de hormigón, dependiendo de esto, la disponibilidad de materiales, condiciones constructivas y del diseño de la presa.

En estas presas se debe considerar la parte hidráulica, la cual debe ser estudiada detenidamente puesto que el “vertido de agua” sobre ellas llevaría al arrastre y erosión de los materiales que posean baja o nula cohesión. Estas están catalogadas como presas de gravedad, por la forma de resistir el empuje del agua.

Comúnmente se distinguen y denominan las presas por el material predominante, es decir, el que comprenda más del 50% del total, así se pueden distinguir las presas de escollera en las cuales el material predominante de construcción es bloque y grava, y presas de tierra en las cuales el material predominante de construcción son gravas, arenas o elementos más finos.

Toda presa debe contar con un material impermeabilizante, el cual puede ser de materiales naturales como arcillas o limos, o materiales artificiales como el hormigón o betún; se debe elegir el material de acuerdo a las necesidades y dimensiones de la presa. (Cánovas del Castillo, 1998, págs. 345 - 348)

### **Clasificación de las presas de materiales locales**

Básicamente existen tres tipos de presas de materiales locales (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987, págs. 8-9):

***Presas de secciones homogéneas:*** son aquellas constituidas básicamente por un solo material, ya sea arcilla, limo, arena arcillosa, entre otros. Además, cabe indicar que, aunque este tipo de presas posea enrocado como protección aguas arriba y como protección de la corona, dicho enrocado no estará ayudando a la estabilización de la presa. (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987, pág. 8).

Este tipo de presas son minoría en la actualidad, ya que es muy difícil encontrar la cantidad de material adecuado, debido a que la mayoría de los ríos se constituyen por gravas y arenas. A más de esto se debe tener en cuenta que el material arcilloso utilizado no contenga sodio, también conocidas como arcillas dispersivas, debido a que se ocasionaría falla de sifonamiento en la presa. (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987, pág. 186) (Cánovas del Castillo, 1998, pág. 318)

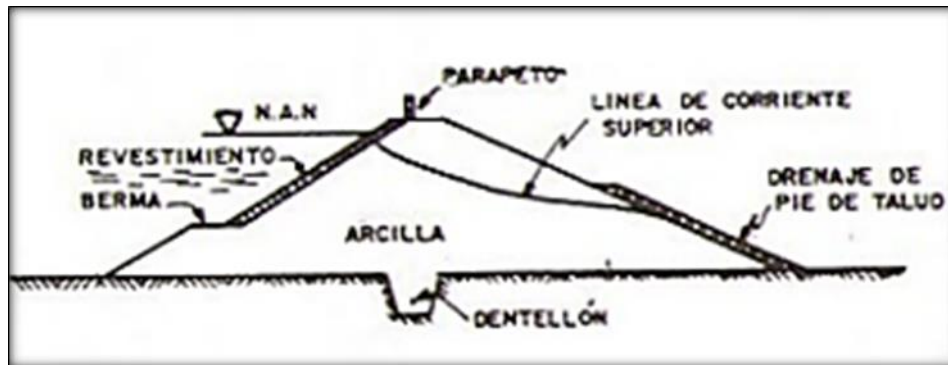
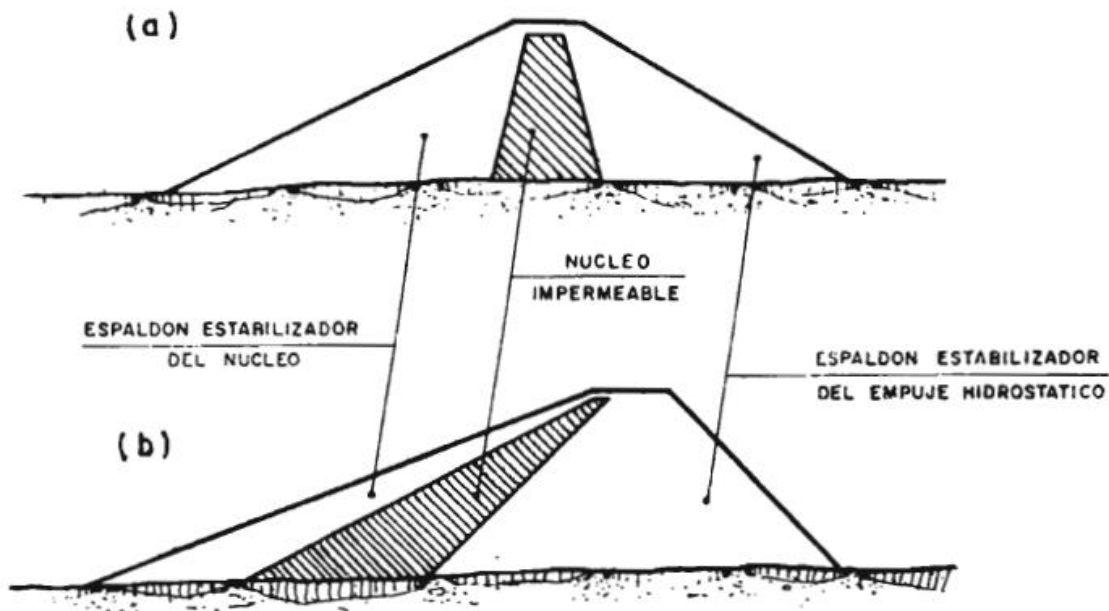


Figura 20 Esquema de estructura de una presa de materiales sueltos con secciones homogénea (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987)

**Presas heterogéneas:** son aquellas que en su estructura cuentan con distintos tipos de materiales. En el espaldón predominan las gravas y arenas, las cuales, generalmente se lo extrae de los causes del río, se usa la arcilla como material impermeable, el cual actúa como núcleo de la presa y puede estar ubicado de forma central (figura 15 b) o inclinada (figura 15 a). (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987, pág. 9).

Cánovas del Castillo explica que, desde el punto de vista funcional, conviene que el espaldón aguas abajo sea lo más permeable posible para que la línea de saturación luego de pasar el núcleo, baje con rapidez y así este quede casi libre de presiones internas. Este tipo de presas alcanzan mayor altura que las homogéneas. (Cánovas del Castillo, 1998, pág. 325)

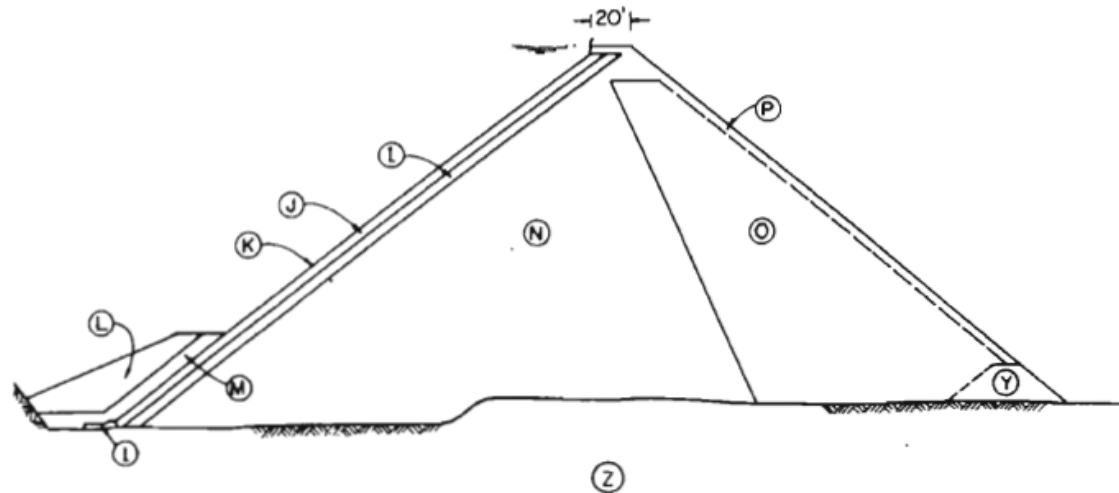


Figu

ra 21 Esquema de estructura de una presa de materiales sueltos heterogénea (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987)

**Presas de pantalla:** son aquellas constituidas por materiales artificiales de impermeabilización, estos se ubican encima del paramento aguas arriba, es decir, como en la figura 16, en pantalla. En estas presas el espaldón es el encargado de resistir las fuerzas hidrostáticas y su material de preferencia debe ser drenante (Grava, Arena o Enrocado) para aminorar las presiones internas. (Cánovas del Castillo, 1998, pág. 331)

Este tipo de presas son más fáciles de construir y permiten taludes más empinados, así como, al no poseer un núcleo de material fino, en caso de una fisura no existe peligro de lavado de finos. Su inconveniente es el costo de construcción, pero dependiendo de la distancia a la que se encuentren los materiales, esta puede resultar más económica que la heterogénea. (Cánovas del Castillo, 1998, pág. 331)



- |  |  |
|--|--|
| (1) Zócalo o plinto.   | (N) Zona 3 B - Escollera o grava en capas de 1 m, aproximadamente. |
| (I) Zona 3 A - Escollera menuda de igual espesor que Zona 2. | (O) Zona 3 C - Escollera o grava en capas de 1,5 a 2,0 m.          |
| (J) Zona 2 - Escollera menuda compactada.                    | (P) Escollera gruesa.  |
| (K) Placa de hormigón.                                       | (Y) Zona 3 D - Escollera de más de 0,3 m.                          |
| (L) Zona 1 B - Escollera vertida.                            | (Z) Sección de la presa.   |
| (M) Zona 1 A - Suelo impermeable.                            |  |

Figura 22 Esquema de estructura de una presa de materiales sueltos con pantalla de hormigón (Cánovas del Castillo, 1998, pág. 349)

### Tipos de Fallas

En las presas de materiales locales se debe tener en cuenta los siguientes tipos de fallas graves (Armas Novoa, 2002, pág. 2):

- Rebase de la cortina
- Sifonamiento
- Agrietamiento transversal
- Deslizamiento
- Licuación
- Perdidas por filtración

### **Fallas por rebase de la cortina**

Cuando en una presa de tierra el agua rebase la cortina provocará un efecto catastrófico en el talud aguas abajo, puesto que el talud contiene materiales erosionables; es por ello que se debe diseñar y construir un vertedero de excesos o aliviadero, para así poder desfogar por él el excedente de caudal que se pudiera tener en la presa en temporada de lluvias. (Armas Novoa, 2002, pág. 182)



### ***Fallas por sifonamiento***

“El sifonamiento se produce cuando una fuga de agua se concentra y erosiona el suelo progresivamente hasta formar un conducto que une el embalse con el pie del talud aguas abajo”. (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987, pág. 183)

El sifonamiento es la segunda causa más frecuente de fallo catastrófico, por lo que se debe tomar en cuenta las siguientes medidas para prevenir dicho fallo: disminución del gradiente hidráulico o velocidad de filtración y controlar el desfogue de agua de modo que no se produzca arrastre de partículas del suelo. (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987, pág. 183)

### ***Fallas por agrietamiento transversal***

Las fallas por agrietamiento se presentan por los diferentes asentamientos que la presa pueda presentar, es importante destacar que no siempre es posible identificar este tipo de falla. Los agrietamientos pueden ser transversales o longitudinales.

Las grietas transversales “resultan muy peligrosas pues atraviesa la presa desde aguas arriba hasta aguas abajo, facilitando el flujo concentrado en una zona de la cortina”. (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987, pág. 189)

### ***Fallas por deslizamiento***

“Un deslizamiento se produce cuando a lo largo de una determinada superficie de falla se ejercen esfuerzos cortantes mayores que la resistencia que puede movilizar el suelo en esa misma superficie”. (Armas Novoa & Horta Mestas, 1987, pág. 195)

Las fallas por deslizamiento se pueden distinguir de tres maneras en particular: la primera, es la falla durante la construcción, la cual ocurre con mayor frecuencia en las presas con cimentaciones en arcillas blandas y dependiendo también si el material de cimentación es homogéneo o estratificado; el segundo tipo de falla por deslizamiento que se debe identificar, es la falla durante la operación, en la cual se afecta básicamente el talud que se encuentra aguas abajo, pudiendo ser una afectación profunda o superficial; finalmente, el tercer tipo de falla de este grupo se denomina falla luego de un desembalse rápido. Básicamente las fallas por deslizamiento están ligadas al contenido arcilloso plástico y de agua con el que cuenta el material de construcción de la presa. (Armas Novoa, 2002, pág. 5)

### ***Falla por licuación***

En general el fenómeno de licuación se puede identificar como el lavado de finos, es decir, de limos y arenas no plásticas o no cohesivas. Este fenómeno se presenta con mayor frecuencia cuando materiales como los anteriormente expuestos están incluidos en la cimentación o en la cortina de la presa. La consecuencia más común que se produce por la licuación es la afectación de los taludes dejándolos irregulares y de forma casi horizontal (talud de pendiente 10:1). (Armas Novoa, 2002, pág. 6)



### ***Pérdidas por filtración***

La pérdida por filtraciones no es considerada una falla catastrófica sino más bien una falla en el adecuado funcionamiento de presas de tierra diseñadas para almacenar agua, puesto que se puede presentar una pérdida en el embalse. (Armas Novoa, 2002, pág. 6)

Tomando en cuenta los materiales cercanos a la zona en la que se implementará la presa, se puede definir el tipo de presa a ser utilizada, lo que abaratarán costos de construcción y mejorará los servicios a las zonas favorecidas.

Siempre se debe tener en cuenta las posibles situaciones en las que se puede encontrar la presa, por lo que adoptar buenos criterios de diseño aumentará el ciclo de vida de las mismas, así como, un buen mantenimiento, aminorará los costos a largo plazo.

## CAPITULO 3. METODOLOGÍA

### Área de estudio

La presa de Mazar se encuentra ubicada en la región nororiental de la cuenca hidrográfica del río Paute, a 105 km de la ciudad de Cuenca, entre las cotas altitudinales 2000 a 2166 msnm. Esta presa tiene 8 años de funcionamiento con una vida útil de 50 años. Se trata de una presa enrocada con solamente una pantalla de hormigón en la cara del embalse, siendo esta el elemento impermeable. La cota de coronación es de 2166m, con una longitud de coronación de 340m y alcanza una altura de 166 metros, medida desde cimentación. A la izquierda de la Figura 1 se identifica taludes que obedecen a la relación 1V: 1.4H aguas arriba, y a la derecha de la misma Figura taludes 1V: 1.5H. La altura del embalse es de 158m sin considerar la cimentación.



Figura 23 Vista de Pantalla y Enrocado de Presa Mazar. (Elaboración Propia)

El nivel máximo nivel de operación del embalse es la cota 2153m, la cual es la cota más alta perteneciente al vertedero de exceso ubicado en la parte izquierda de la Figura 2 perteneciente al enrocado, pero en un evento de crecida máxima probable puede alcanzar la cota 2165.5m. El nivel de operación del embalse es de 2098msnm correspondiente a un volumen de embalse de 101 millones de m<sup>3</sup>. (Medina Galarza, 2012)

## Geología

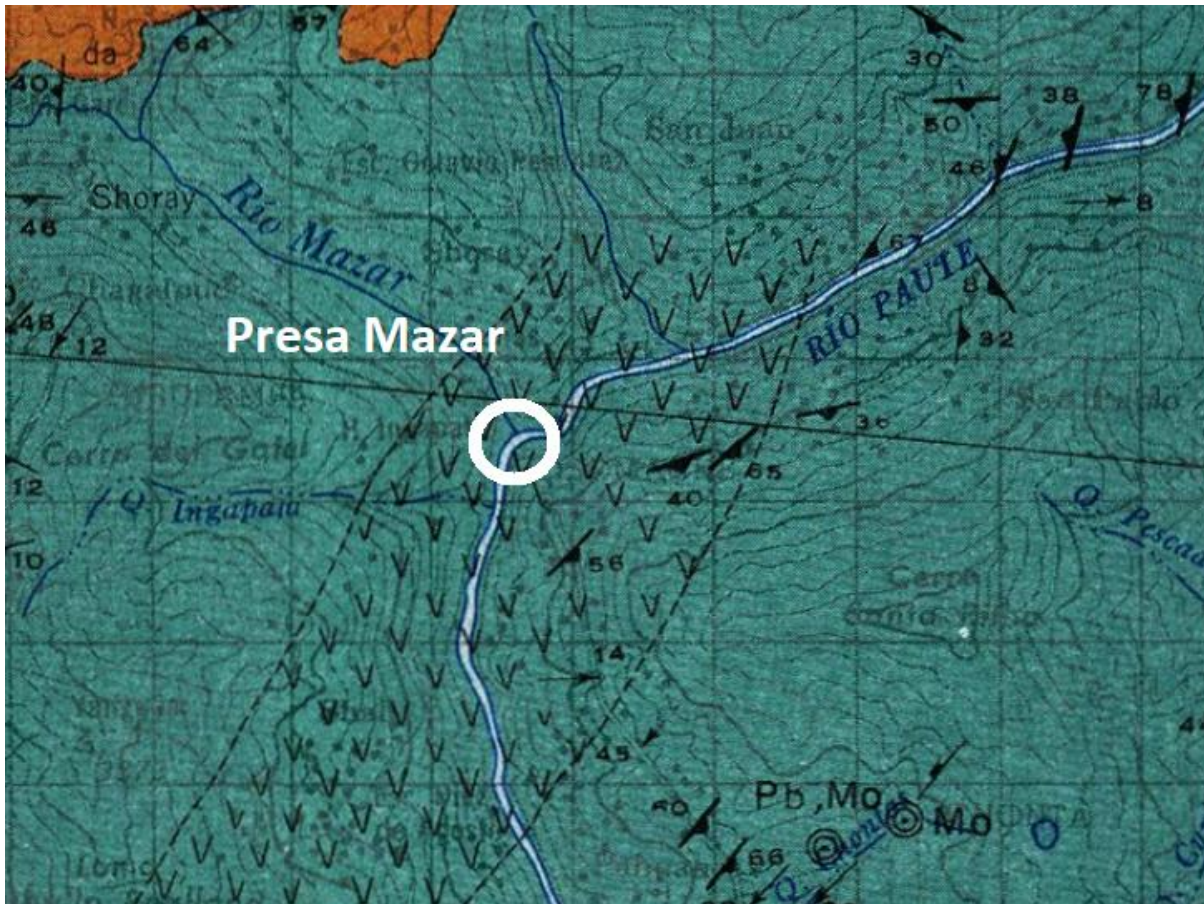


Figura 24 Ubicación geológica en función de las cartas geológicas del Instituto Geográfico Militar, IGM

## Geomorfología

Los Andes Ecuatorianos, constituidos por las cadenas montañosas Occidental y la Central, una región deprimida, el callejón interandino, dividido por umbrales montañosos transversales, caracteriza el emplazamiento geomorfológico de la sierra. Así lo describe Núñez del Arco (Arco, 2003)

Ubicado en el río Paute, el cual se forma de la unión de los ríos Machángara y Burgay, los cuales provienen de las ciudades de Cuenca y Azogues, respectivamente, es afluente a su vez del río Namangoza orientando su curso hacia el Este.

## Geología Regional

La Presa Paute Mazar se encuentra ubicada en las coordenadas 9713229.5 N - 764510 E PSAD 56, la cual está ubicada sobre la formación Serie Paute (Laramidica), perteneciente al Mesozoico, en esta se consideró una división





superior, Metavolcánicos San Francisco (meta-andesita y filita), la equivalente de la Piñon metamorfizadas, y una división inferior, Esquistos El Pan (esquisto, filita, grafito, cuarcita y gneis). (Bristow, 1973), pero ahora parece que los Esquistos El Pan son sedimentos Yunguilla metamorfizados que suprayacen los Metavolcánicos San Francisco

### Recopilación de Información

La empresa CELEC nos brindó el documento DWG de la topografía de la presa mazar, en la cual se puede visualizar curvas de nivel geo referenciados en coordenadas PSAD 56, así como la vista en perfiles en diferentes abscisas de la presa, en donde se identifican los tipos de materiales utilizados. También nos brindaron los niveles de agua del embalse en los días de toma de datos

### Cota de agua en toma de datos

Tabla 3 Cota de agua sobre la presa. (CELEC. EP)

31/8/2016		8/8/2017		11/9/2016		11/12/2017	
hora	msnm	hora	msnm	hora	msnm	hora	msnm
10:00	2149.74	6:00	2153.06	9:00	2149.5	8:00	2146.29
11:00	2149.73	7:00	2153.07	10:00	2149.51	9:00	2146.26
12:00	2149.73	8:00	2153.08	11:00	2149.52	10:00	2146.22
13:00	2149.71	9:00	2153.1	12:00	2149.5	11:00	2146.18
14:00	2149.7	10:00	2153.1	13:00	2149.47	12:00	2146.14
15:00	2149.67	11:00	2153.11	14:00	2149.44	13:00	2146.1
16:00	2149.64	12:00	2153.13	15:00	2149.41	14:00	2146.06
17:00	2149.62	13:00	2153.15	16:00	2149.38	15:00	2146.01
18:00	2149.59	14:00	2153.18	17:00	2149.35	16:00	2145.97
19:00	2149.56	15:00	2153.22	18:00	2149.33	17:00	2145.93
20:00	2149.52	16:00	2153.24	19:00	2149.29	18:00	2145.89
21:00	2149.48	17:00	2153.24	20:00	2149.26	19:00	2145.85
22:00	2149.44	18:00	2153.23	21:00	2149.23	20:00	2145.8
23:00	2149.41	19:00	2153.23	22:00	2149.19	21:00	2145.75

A continuación, explicaremos los puntos importantes para la interpretación de esta tesis.

### Secciones de la presa

Como secciones típicas definiremos a las secciones más importantes que se encuentran a lo largo de la presa en función de sus materiales, por lo que tenemos:

## Muro Parapeto

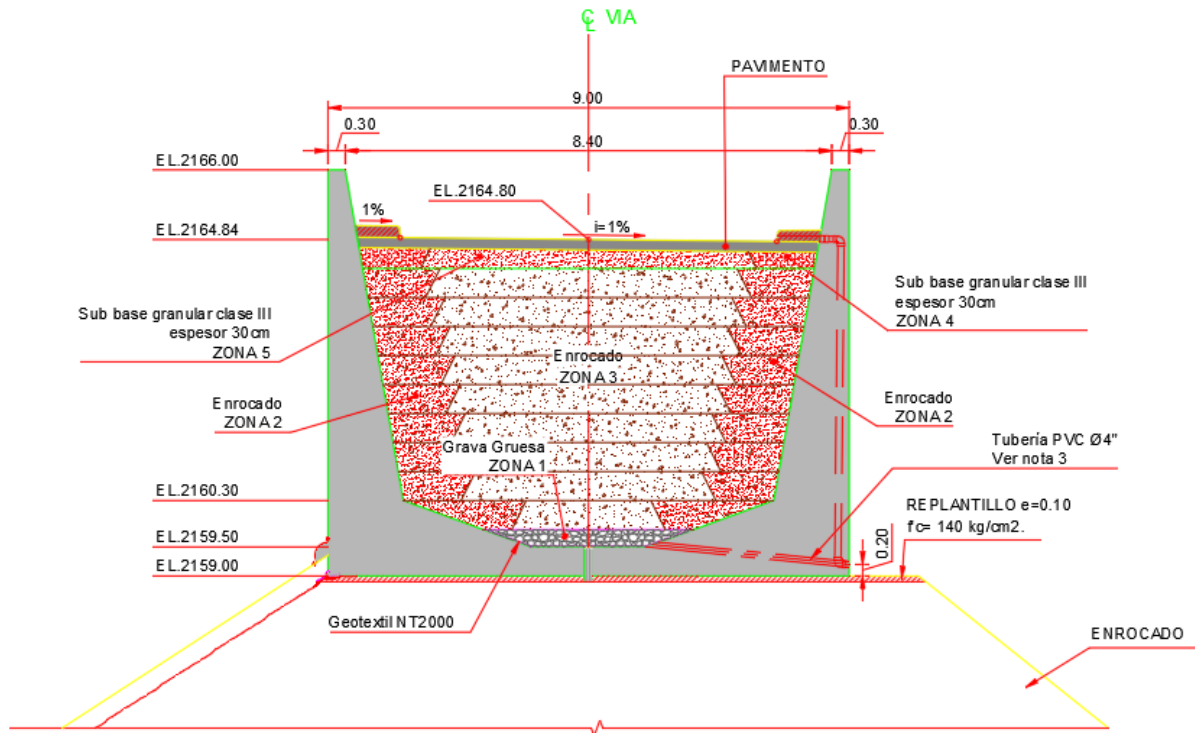


Figura 25 Perfil de Muro Parapeto perteneciente a la Presa de Mazar (CELEC)

Estructura ubicada en la corona de la presa, esta sostiene la vía que comunica ambos extremos de la presa, la construcción consiste en una estructura de hormigón de 21 Mpa, el cual sirve de sostén para el relleno de materiales granulares compactados en capas. Encima del relleno se encuentra ubicada la vía de pavimento rígido, así como sus respectivas veredas. Posee una altura de 5.8 metros hasta el eje de la vía y 7 metros hasta las protecciones laterales para los peatones.

## Pasarela

Ubicada en la base del muro parapeto, en la cota 2159 m.s.n.m. aguas arriba de la presa, permite el acceso hacia la cara aguas arriba de la presa (Figura 1.a), la cual se encuentra conformada de una cara de hormigón.

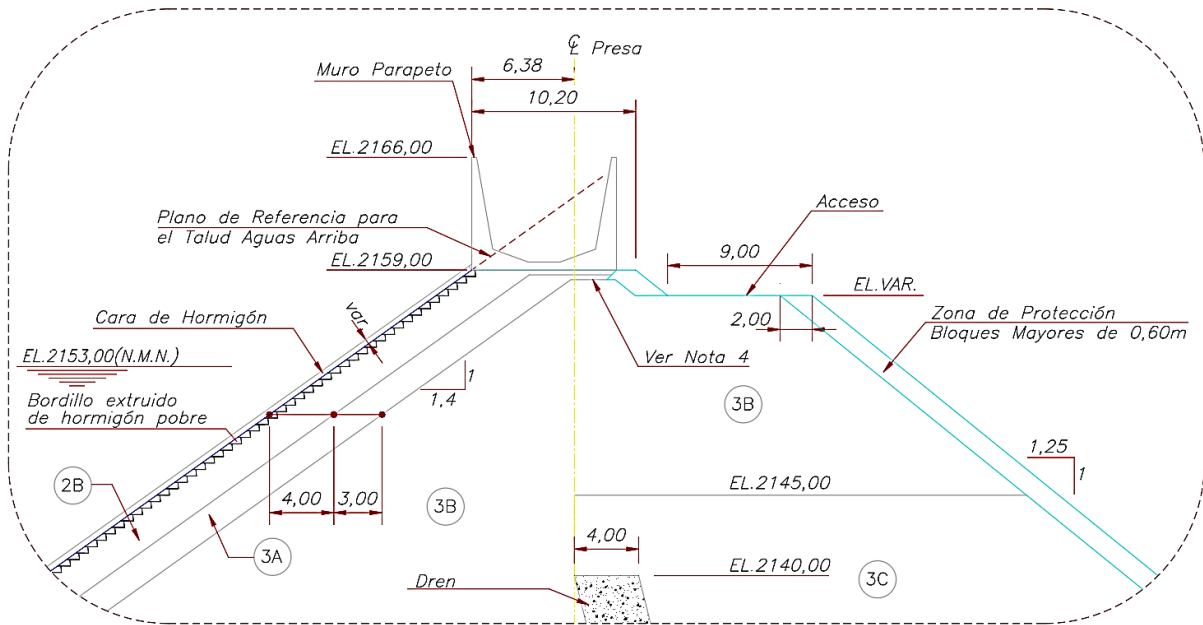


Figura 26 Perfil de composición de la Presa de Mazar (CELEC)

Esta es una presa de pantalla, la cual se encuentra construida por una pantalla de hormigón de espesor variable, siendo de mayor espesor hacia la base, asentada sobre un material filtro tipo 2B de 4 metros de espesor aproximado, seguido de un material enrocado fino tipo 3A de 3 metros de espesor aproximado.

El espaldón aguas arriba se encuentra conformado por un material enrocado tipo 3B el cual se encuentra limitado por un dren de material granular de 3.8 metros de espesor, existente a la parte derecha del eje de la presa con una pendiente 0.25H:1V, seguido del espaldón aguas abajo conformado la cota 2035.00 m.s.n.m., el mismo material 3B, seguido del material enrocado más grueso tipo 3C, el cual se encuentra cubriendo al dren hasta la cota 2145.00 m.s.n.m. para terminar con el mismo material 3B hasta la base del muro parapeto.

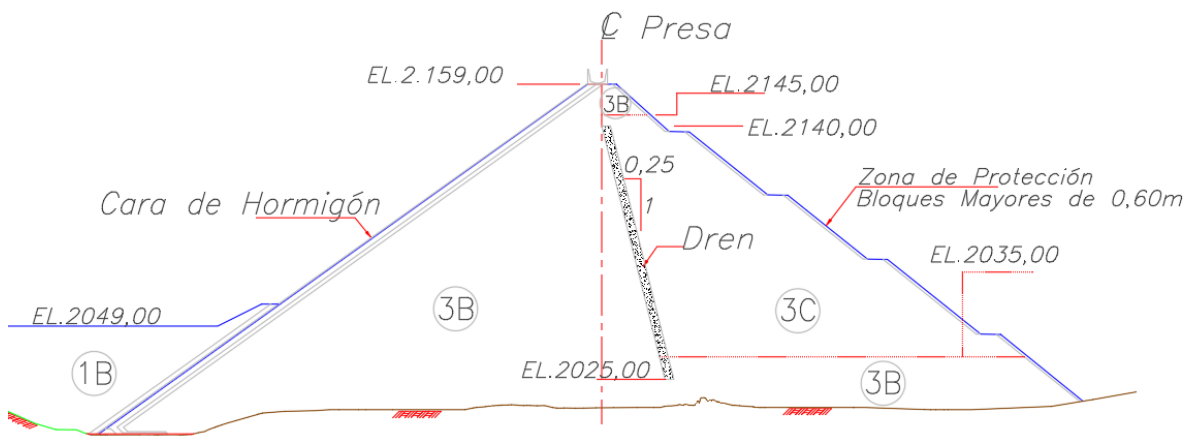




Figura 27 Perfil de Materiales utilizados en la Presa de Mazar (CELEC)

Cabe recalcar que cubriendo al material aguas abajo, se encuentra un enrocado grueso de más o menos 1 metro de espesor con bloques mayores de 0.60 metros de diámetro, así como la vía que comunica desde la corona hasta el pie de la presa aguas abajo, la cual es de material asfáltico.

**Materiales utilizados**

Los materiales mencionados anteriormente se los especifica a continuación, en función de su clasificación en el laboratorio, los cuales fueron utilizados en la presa y compactados por capas según especificaciones para cada material. (CELEC)

Tabla 4 Materiales utilizados en la Presa de Mazar (CELEC)

Zona	CLASIFICACIÓN	% Pasa											
		100c m	80cm	40cm	6"	3"	1 1/2"	1"	3/4"	#4	#16	#50	#200
1A	MATERIAL DE BAJA PERMEABILIDAD (LIMO SIN ARCILLA/SIN COHESION)												
1B	MATERIAL COLUVIAL SIN PREDOMINIO DE BLOQUES, SELECCIONADO EN EXCAVACIONES REQUERIDAS (DESPERDICIO)												
2A	FILTRO: GRAVA BIEN GRADUADA, LIMPIA (ROCA TRITURADA) Ø<38mm						100		85-100	50-75	25-50	10-25	0-5
2B	FILTRO: GRAVA BIEN GRADUADA, LIMPIA (ROCA TRITURADA) Ø<76mm					100	70-100		55-80	35-60	18-40	6-18	0-7
3A	ENROCADO FINO, FORMADO CON ROCA SANA PROVENIENTE DE CANTERAS Ø<0.4m			100	70-100	50-85			25-50			0-15	
3B	ENROCADO DE ROCAS PREDOMINANT. SANAS, CON qu(sat)>100MPa. PROVENIENTES DE CANTERAS Y SELECCIONADO EN EXCAVACIONES.		100						máx. 30%				0-6
3C	ENROCADO DE ROCAS SANAS Y PARCIALMENTE METEORIZADAS CON qu(sat) >80MPa, PROVENIENTES DE LAS EXCAVACIONES (Y/O CANTERAS)	100							máx. 40%				0-6

Estos materiales son los que forman parte de los materiales utilizados en la construcción de la presa de mazar.

**Perfil de construcción**

En función de los perfiles facilitados, se recopiló la información de éstos y de esta manera se estableció un perfil de construcción en función del estrato de roca sana



de la presa, para esto se procedió a la medición de la altura de cada perfil desde el muro parapeto hasta el estrato de terreno presentado en el mismo en las abscisas: 0+170, 0+240, 0+260, 0+280, 0+300, 0+340, 0+360, 0+380, 0+400, 0+410, 0+420. Por lo que se obtuvo el siguiente perfil.

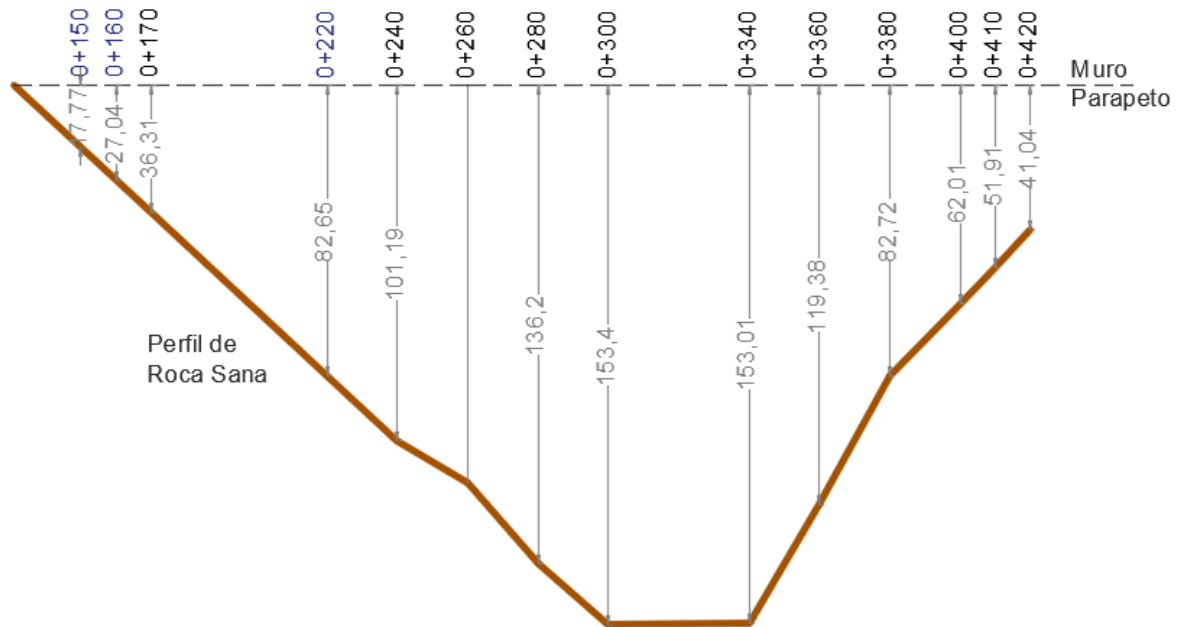


Figura 28 Perfil de Roca Sana con abscisas perteneciente a la Presa de Mazar (Elaboración Propia)

## Investigación de Campo

### Materiales y equipo

Para el desarrollo de las actividades de prospección geofísica y su procesamiento, utilizamos los siguientes equipos:

**Resistivímetro PASI modelo 16SG24-N** (Equipo combinado – sismógrafo y tomógrafo eléctrico): Encargado de verificar el buen estado de las conexiones y almacenar digitalmente todos los valores de resistividad.



Figura 29 Equipo (Fuente Propia)

Accesorios para tomografía eléctrica:

- 2 Cables para 16 electrodos A-B-M-N de 85.
- 2 Link box para 16 electrodos: Equipo de retransmisión, que determina el funcionamiento de cada electrodo.
- Electrodo de acero inoxidable: Barras metálicas de longitud 50cm y diámetro 1cm.
- Energizador modelo P300T-N con accesorios.

Accesorios para sísmica:

- 2 Cables sísmicos de 130 m, 12 canales.
- 24 geófonos verticales de 10 Hz.
- 24 Geófonos verticales de 4.5 Hz.
- 1 Geófono starter.
- 2 cables de 200 m. para geófono starter.

Jorge Andrés Arízaga Altamirano  
María Gabriela Ulloa Palacios



Equipo complementario:

- Vehículo 4x4.
- GPS Garmin.
- Cámara fotográfica
- Herramientas varias.

### **Descripción de los ensayos en campo**

Se realizaron ensayos geofísicos de resistividad eléctrica y métodos sísmicos

**Resistividad eléctrica:** Para su registro se procedió con la instalación de electrodos colocados alineadamente a 5 metros de separación entre cada uno, formando líneas de una longitud aproximada de 155 metros, en función de la distancia a cubrir; se debe traslapar entre si los perfiles para obtener mayor longitud. Posteriormente se procede a registrar por periodos de tiempo el envío y recepción de ondas eléctricas por el método de Wenner, el cual ha sido explicado anteriormente, estas están reguladas automáticamente por el equipo en función del terreno.

**Métodos sísmicos:** La toma de datos se realizó en tres días, en los cuales se obtuvo dos ensayos pasivos mediante una línea ESAC y REMI y dos ensayos activos mediante una línea Refracción sísmica y MASW. Los ensayos activos necesitan de un pulso externo para su registro, en este caso el golpe de un combo sobre una placa de metal, a diferencia de los ensayos pasivos que reciben el ruido ambiental.

**Línea Esac:** Se ubican los geófonos de manera de L, donde la parte más larga o longitudinal utilizamos una separación de 5 metros entre electrodos, y para la parte corta o perpendicular utilizamos separaciones de entre 2 a 4 metros, dependiendo del espacio que tengamos. Posteriormente se procede a tomar registros por periodos de tiempo.

**Línea Remi:** La configuración de los geófonos es la misma que la línea de Masw, los registros se los realiza generalmente luego de registrar esta línea. La línea Remi es producto de las vibraciones ambientales registradas en un periodo de tiempo por el equipo.

**Línea Refracción sísmica y Masw:** Para su registro se procedió con la instalación de 24 geófonos colocados alineadamente a 1.5 metros de separación entre cada uno. Seguido se implementa ondas externas las cuales son registradas por los geófonos, estas ondas se consiguen mediante el impacto de un martillo sobre una placa de acero a ciertas distancias, la implantación de estos golpes se la conoce como "Shots", estos son 7 en total y se ubican de la siguiente manera:

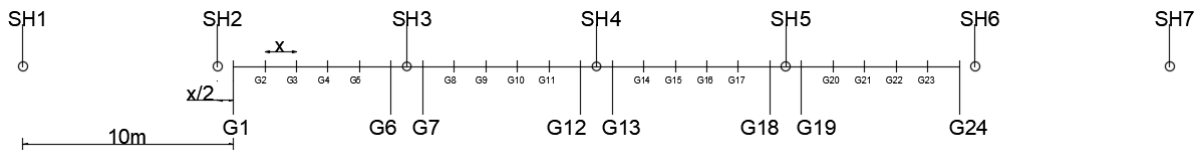


Figura 30 Ubicación de "Shots" para Masw. Ubicación de los golpes sobre la placa de metal a distancias establecidas de los geófonos.

El conjunto de los registros realizados es recolectado por el equipo PASI descrito anteriormente, donde estos son visualizados, revisados, y almacenados. Se debe tener en cuenta que, si los datos presentan anomalías, este deberá ser registrado nuevamente antes de almacenar en conjunto.

La diferencia de estos métodos es que Masw recepta ondas Rayleigh y Refracción sísmica las ondas  $V_p$  generadas por un mismo golpe.

### Ubicación de ensayos

La ubicación de las tomas, se encuentra ubicados en siete zonas de la presa de mazar de la siguiente manera:

Perfil 1: Ubicado en la corona de la Presa, también llamada muro parapeto

Perfil 2: Ubicado en la cara de la presa aguas arriba, también llamada pasarela.

Perfil 3: Ubicado en la vía, al costado externo debido a que al costado interno existe cableado eléctrico

Perfil 4: Ubicado en la parte baja cerca del vertedero de control ubicado aguas abajo.

Perfil 5, 6 y 7: Ubicado en la vía, al costado externo debido a que al costado interno existe cableado eléctrico

Las ubicaciones antes mencionadas se las puede observar en la Figura 31, donde se ubica cada perfil.



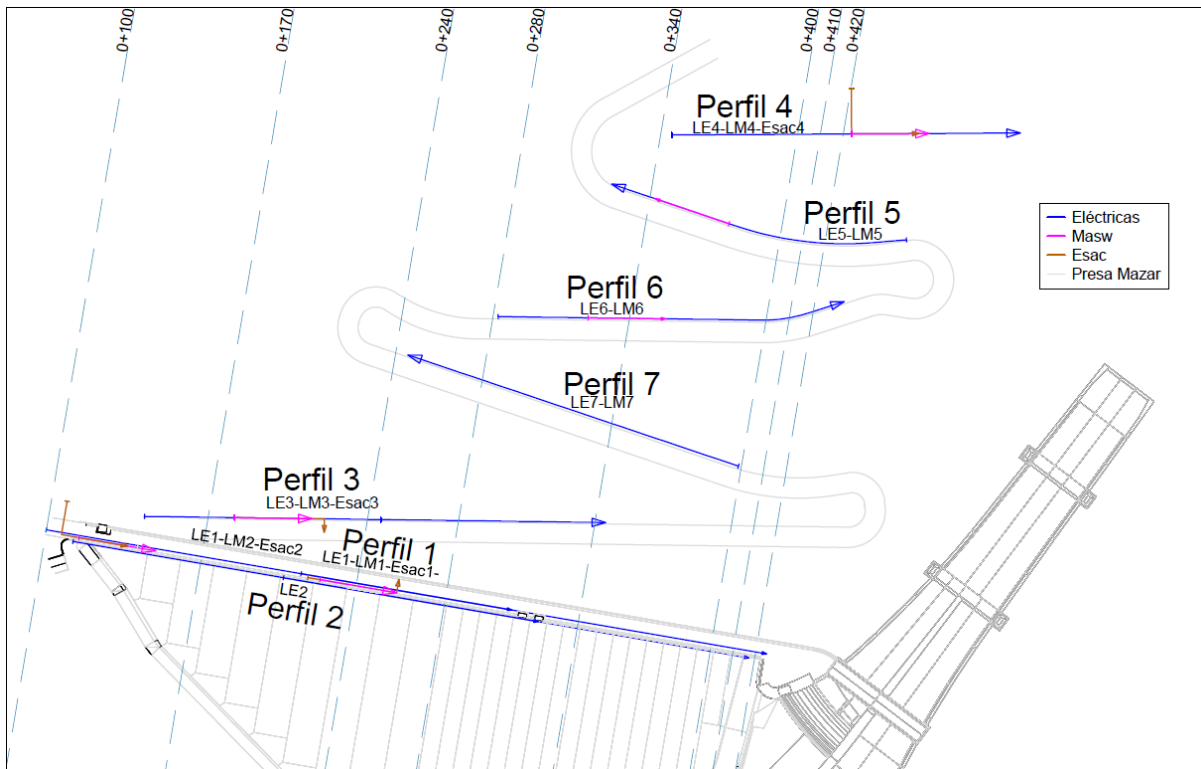


Figura 31 Plano de Ubicación de Perfiles

### Líneas de Resistividad Eléctrica

Se decidió obtener 7 líneas de resistividad eléctrica mostrados en la tabla 4, en donde se muestra la longitud y cantidad de líneas, así como los electrodos empleados en cada línea y su espaciamiento, la ubicación de cada línea se encuentra dentro de cada perfil, mostrado en la figura 31:



Tabla 5 Perfiles de Resistividad eléctrica realizados en la Presa de Mazar

PERFIL	LEVANTADO SOBRE	LONGITUD TOTAL	ORIENTACIÓN DE LINEA	FECHA	HORA		NUMERO DE LINEAS	# DE ELECTRODO DE TRASLAPE	NUMERO DE ELECTRODOS		ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS
					INICIO	TERMINACION			LINEA 1	LINEA 2	
1	Parapeto	325	O - E	31/8/2016	15:15	19:30	2	24	43	43	5 m
2	Pasarela	305	O - E	31/8/2016	12:30	16:40	2	20	43	43	5 m
3	Vía	205	O - E	8/8/2017	10:25	12:19	1		42		5 m
4	Base Tierra	155	O - E	11/12/2017	9:45	10:40	1		32		5 m
5	Vía	135	E - O	11/12/2017	12:25	13:10	1		28		5 m
6	Vía	155	O - E	11/12/2017	14:10	15:00	1		32		5 m
7	Vía	155	E - O	11/12/2017	15:50	16:48	1		32		5 m

**Sísmica de Refracción, MASW y Remi**

Se decidió obtener 6 líneas mostrados en la tabla 5, donde se muestra la orientación de las líneas, el electrodo en el cual se implantó las líneas en función de las líneas de resistividad eléctrica, la ubicación de cada línea se encuentra dentro de cada perfil, mostrado en la figura 31:



Tabla 6 Perfiles de Sísmica de refracción, MASW y Remi realizados en la Presa de Mazar

PERFIL	LEVANTADO SOBRE	Nombre	Geófonos	LONGITUD TOTAL	ORIENTACIÓN DE LINEA	FECHA	HORA		# DE ELECTRODO		ESPACIAMIENTO ENTRE ELECTRODOS	REMI
							INICIO	TERMINACION	Inicio	Final		
1	Muro	LM-1	24	34.5	O - E	8/8/2017	11:15	11:40	26	33	1.5	6
	Parapeto	LM-2	24	34.5	O - E	8/8/2017	14:15	14:41	4	11	1.5	6
2	Pasarela											
3	Vía	LM-3	24	34.5	O - E	8/8/2017	16:12	16:45	9	16	1.5	6
4	Base Tierra	LM-4	24	34.5	O - E	11/12/2017	10:50	11:15	17	24	1.5	6
5	Vía	LM-5	24	34.5	E - O	11/12/2017	13:20	13:40	17	24	1.5	6
6	Vía	LM-6	24	34.5	O - E	11/12/2017	15:05	15:28	9	16	1.5	6
7	Vía											

**Esac**

Se decidió obtener 4 líneas de Esac mostradas en la tabla 6, donde se muestra la orientación de las mismas, así como el espaciamiento y el electrodo en el cual se encuentra el ángulo de cambio de dirección, la ubicación de cada línea se encuentra dentro de cada perfil, mostrado en la figura 31:



Tabla 7 Perfiles de ESAC realizados en la Presa de Mazar

PERFIL	LEVANTADO SOBRE	FECHA	ORIENTACIÓN DE LINEA	HORA		LONGITUD		NUMERO DE GEOFONOS		CAMBIO DE DIRECCION DE GEOFONO	ESPACIAMIENTO O ENTRADA ELECTRODOS	
				INICIO	TERMINACION	LONGITUDINAL	PERPENDICULAR	LONGITUDINAL	PERPENDICULAR		LONGITUDINAL	PERPENDICULAR
1	Muro Parapeto	8/8/2017	O - E	11:55	12:25	40	6	1 al 9	9 al 12	24	5	2
		8/8/2017	E - O	15:10	15:44	30	15	6 al 12	1 al 6	6	5	3
2	Pasar la											
3	Vía	8/8/2017	O - E	17:00	17:25	40	6	1 al 9	9 sal 12	9	5	2
4	Base Tierra	11/12/2017	O - E	11:25	11:55	30	20	6 al 12	1 al 6	6	5	4
5	Vía											
6	Vía											
7	Vía											

En la superficie del terreno, en las zonas que el material es de pavimento rígido, se implementó una mezcla de arcilla y agua para mejorar la conductividad hacia el terreno. En las zonas que poseen pavimento asfáltico, al ser este un material aislante, se implementó a un costado en donde se tiene el enrocado.

Jorge Andrés Arízaga Altamirano  
 María Gabriela Ulloa Palacios



Figura 32 Electrodo sobre material de Tierra - Electrodo sobre material de Concreto





Figura 33 Geófonos sobre material de tierra - Geófonos sobre material concreto

**Procesamiento de Datos**

A partir de la información adquirida en campo, se procede a la determinación de perfiles eléctricos, velocidades de onda de corte Vs, velocidades de ondas de compresión Vp.

**Resistividad Eléctrica**

Luego de la medición en campo aplicando el método de Wenner, se procede a descargar y procesar la información, en donde lo que se busca es filtrar los datos que se encuentran muy dispersos, es decir, que salgan de la tendencia que siguen los datos. Se debe saber que en la información registrada se muestran los datos que se observan en la siguiente figura:

Tabla 8 Datos crudos - Tomografía eléctrica [.txt]

```
METHODE=WENNER
a[m]=5.0
16/08/31-16:21:32
```

a	b	m	n	V/I[ohm]	V[V]	I[A]	R[ohm*m]	SP[V]	NV	NI
1	4	2	3	1.53E+00	6.18E-02	0.040454	4.80E+01	-0.086	3.74E-02	5.60E-04
2	5	3	4	3.29E+00	1.30E-01	0.039664	1.03E+02	-0.037	1.14E-02	1.10E-04
3	6	4	5	1.98E+00	6.64E-02	0.033508	6.23E+01	0.174	1.11E-03	8.75E-05
4	7	5	6	3.59E+00	1.52E-01	0.042236	1.13E+02	-0.074	1.85E-03	7.88E-05
5	8	6	7	3.47E+00	1.40E-01	0.040397	1.09E+02	0	1.29E-03	5.63E-05

En donde: a, b, m y n      Combinación de electrodos según el método de Wenner  
 V/I                          Relación de Voltaje e Intensidad  
 V                              Voltaje  
 I                                Intensidad  
 R                                Resistividad  
 SP                              Potencial espontáneo (Self Potential)  
 NV                              Voltaje Noise (Ruido de voltaje)  
 NI                                Current Noise (Ruido de corriente)

Los datos dispersos o erróneos pueden ser ocasionados por problemas en el contacto del electrodo con el terreno, fuentes electromagnéticas como cables de alta tensión, cables de corriente, objetos metálicos enterrados, entre otros. La eliminación de estos datos no implica un cambio de la información, si no que se busca que exista semejanza en las lecturas encontradas.



El filtro de los datos iniciales se los hace a partir de los datos crudos, en donde se procede a la eliminación de los datos que son inválidos para su procesamiento, debido a:

- Voltajes demasiado bajos
- Errores muy altos en relación NV/V

Luego, mediante el programa RES2DINV, el cual, mediante iteraciones, determina un modelo bidimensional de la resistividad del subsuelo. Este programa permite filtrar los datos que se encuentran muy dispersos del resto, debido a que estos generan errores en los resultados. El programa filtra los datos en dos métodos:

- Puntos dispersos manualmente
- Puntos dispersos estadísticamente

En cada filtro se procede a iterar los datos obtenidos disminuyendo así el error del producto final y de esta manera el programa muestra los resultados de: pseudosección de resistividades aparentes medidas, otra pseudosección de resistividades aparentes calculadas y la sección de resistividad del modelo inverso

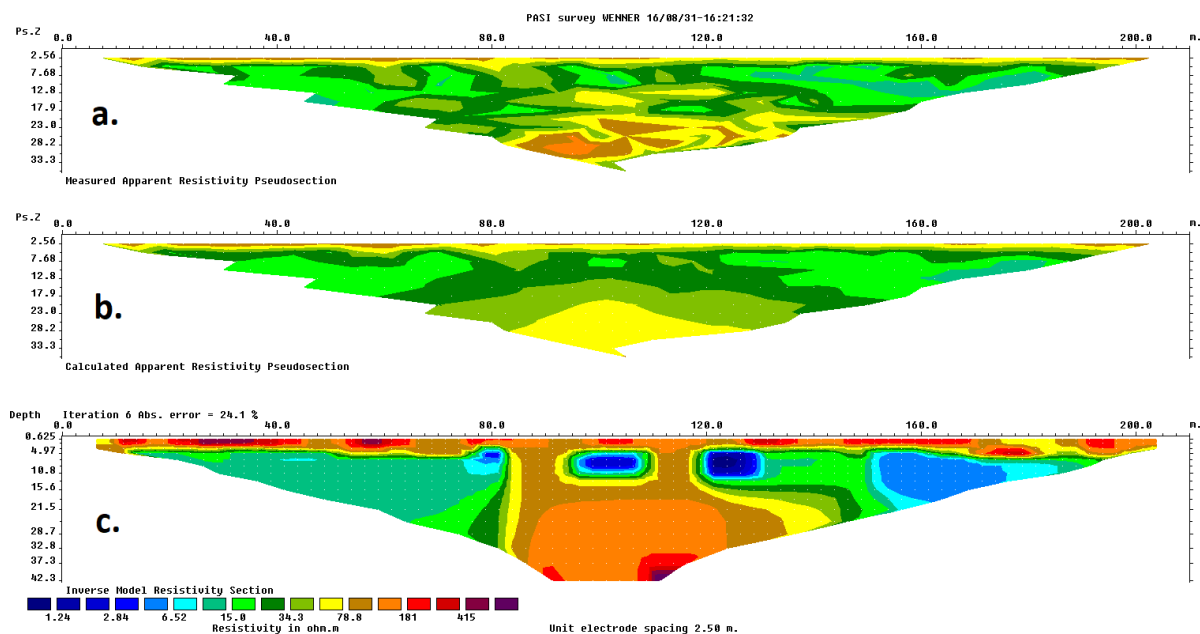


Figura 34 Resultado del programa RES2DINV. a) Pseudosección de resistividades aparentes medidas. b) Pseudosección de resistividades aparentes calculadas. c) Sección de resistividad del modelo inverso

### **Error en los perfiles eléctricos**

Como ya se vio, los datos filtrados deben cumplir con ciertas características, antes mencionadas, para ser eliminados, de otro modo se eliminarían registros



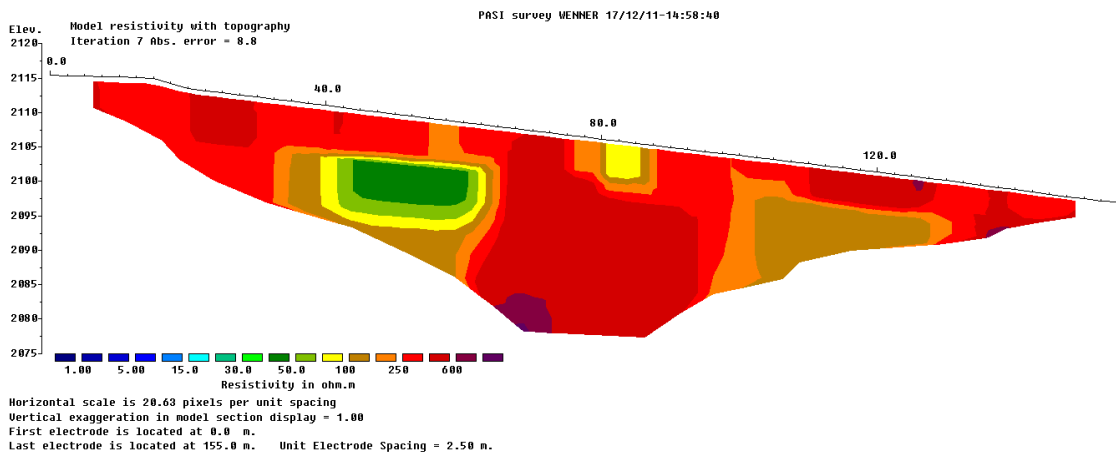
importantes, que ayudan a mejorar la definición del perfil en ciertas zonas donde las variaciones son elevadas.

Es por ello, que los resultados que poseen variaciones elevadas, presentan errores altos en el resultado de resistividad de modelo inverso. No obstante, estos errores no siempre significan un mal producto, sino una gran variación de los registros que no se pueden seguir filtrando.

En caso de filtrar todos los picos posibles, con el fin de disminuir el error al máximo, el resultado pierde características del suelo y se vuelve más homogéneo, por lo tanto, lejano a la realidad.

Es por ello que se presenta mayor error en los perfiles que poseen cambios bruscos en su composición (figura 35), a diferencia de los otros perfiles, como es el ejemplo del perfil 7 y el perfil 6; en el primero observamos un error del 8.8% a diferencia de 28.8% del segundo.

Un aspecto importante que tomar en consideración es la variación de la conexión según la zona de registro de datos. En la zona de enrocado existe una deficiente conexión conjunta que se realiza entre el electrodo, los bloques de roca y la presa, lo cual puede brindar información no consistente.





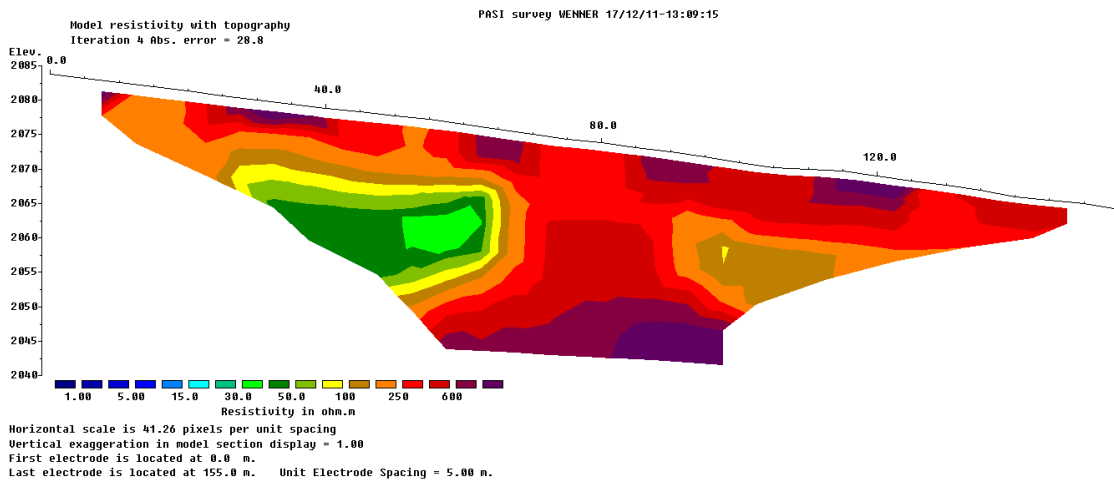


Figura 35 Perfiles eléctricos con errores de 8.8 y 28.8 respectivamente. En el perfil superior se observa un mucho más bajo, en el siguiente perfil uno muy alto.

### Tomografía sísmica, Determinación de las velocidades $V_p$

De la información obtenida a partir de la sísmica de refracción, mediante el análisis de la sísmica de refracción, se obtendrán valores de las velocidades de compresión mediante el software WINSISM.

Cada "Shot" es registrado un geófono, los cuales almacenan la información de manera individual, este registro individual receptado por cada geófono se lo conoce como *traza*, y al conjunto de trazas se lo denomina *sismograma*.

Para el uso del software WINSISM, es necesario identificar el instante en el que se originan las ondas, es decir el tiempo cero, el cual es registrado dentro del expediente de pulsos. La primera llegada es el tiempo en que tarda la onda en viajar desde el "Shot" a cada geófono.

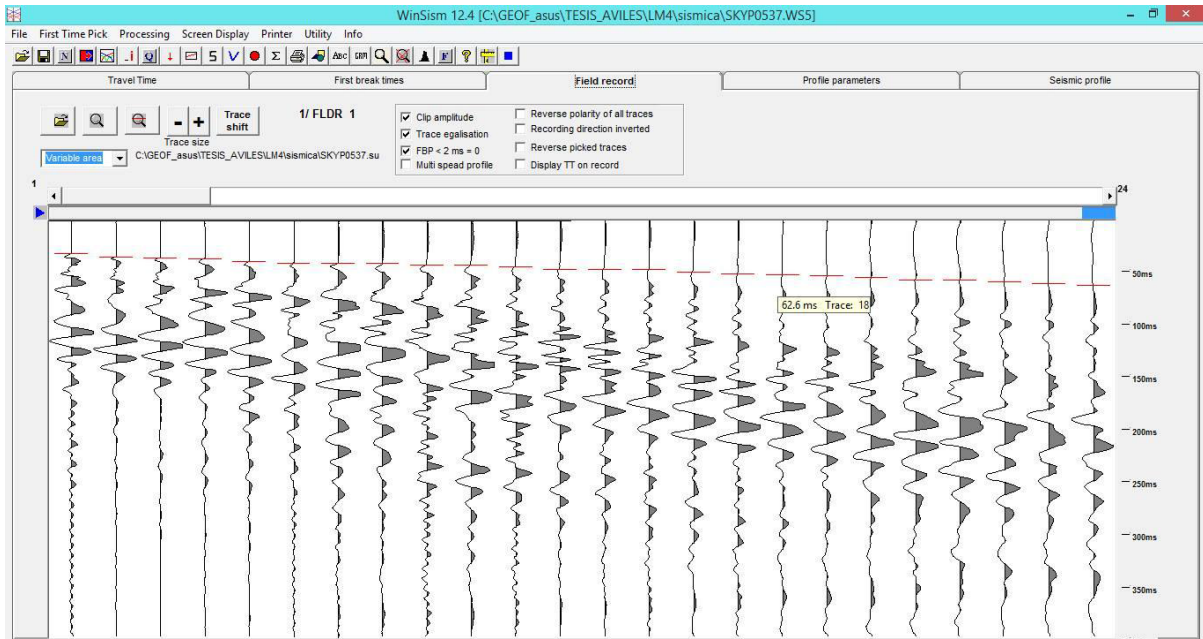


Figura 36 Detección de los primero arribos del registro sísmico para el primer shot, Línea 3

Se obtiene una curva que relaciona el tiempo y la distancia, conocida como “dromocrona”, la cual correlaciona las velocidades de las ondas con respecto a la profundidad alcanzada en cada “Shot” obtenido de la sísmica.

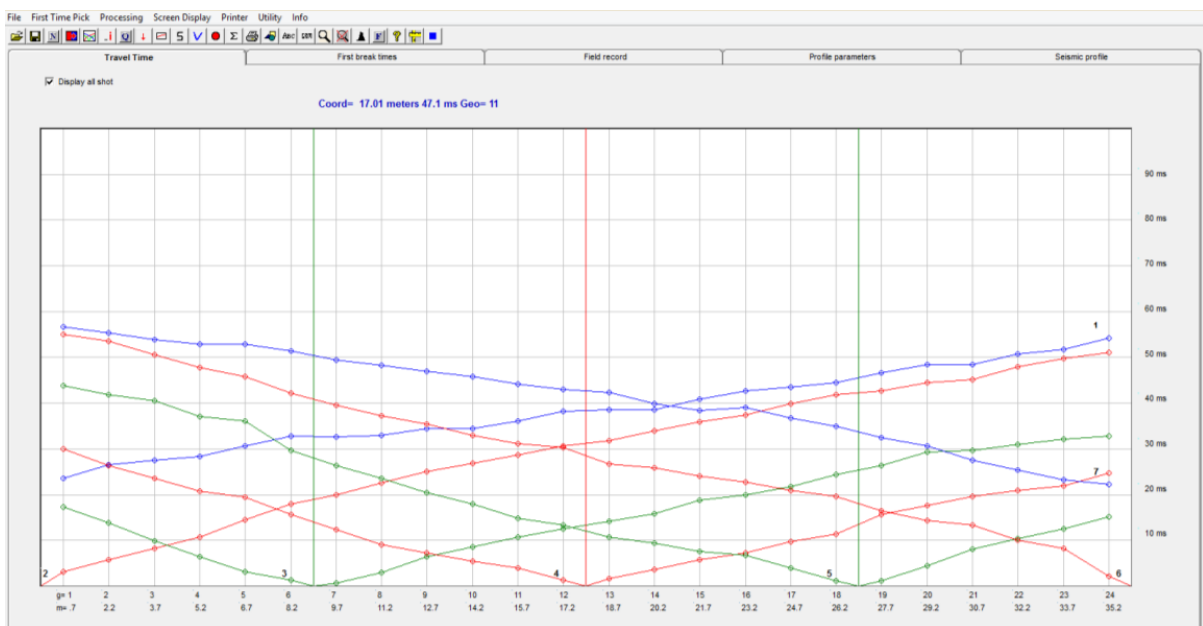


Figura 37 Curvas Dromocronas. Cada línea muestra el comportamiento de las velocidades  $V_p$  receptadas por cada geófono, mientras más inclinadas, mayores velocidades.



Para finalmente, mediante un proceso logarítmico, obtener un perfil sísmico representado por curvas de velocidad  $V_p$ , así como su profundidad y tendencia.

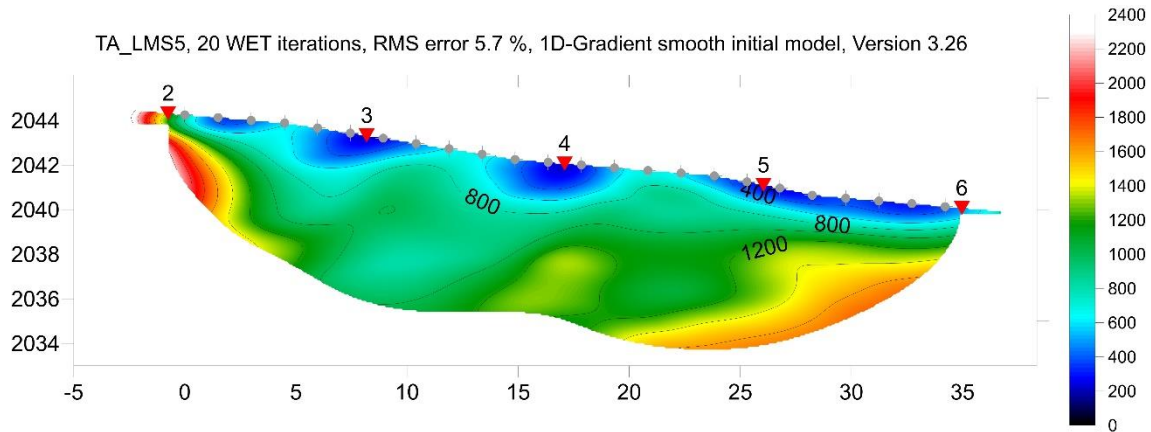


Figura 38 Perfil sísmico, Obtención de  $V_p$

### Determinación de las velocidades $V_s$ , MASW

La obtención de las velocidades  $V_s$ , se puede obtener de cualquier ensayo, MASW, ReMi o ESAC. Para tener mejores resultados se debe realizar el proceso con la combinación de estos tres, esto es debido a que cada ensayo mejora la definición de las lecturas conforme aumenta la profundidad de alcance.

El proceso se lo realiza mediante el software MASW por el cual correlacionamos los tres ensayos. Para determinar los ensayos que se van a utilizar, se debe filtrar los resultados obtenidos en cada ensayo, debido a que en los resultados existen datos que poseen mejor definición que otros, como podemos apreciar a continuación:

Resultados obtenidos por el MASW, de entre estos se escogió la primera figura, debido a que posee un arreglo más ordenado, se puede hacer uso de otra gráfica, pero su proceso puede aumentar el error del proceso.

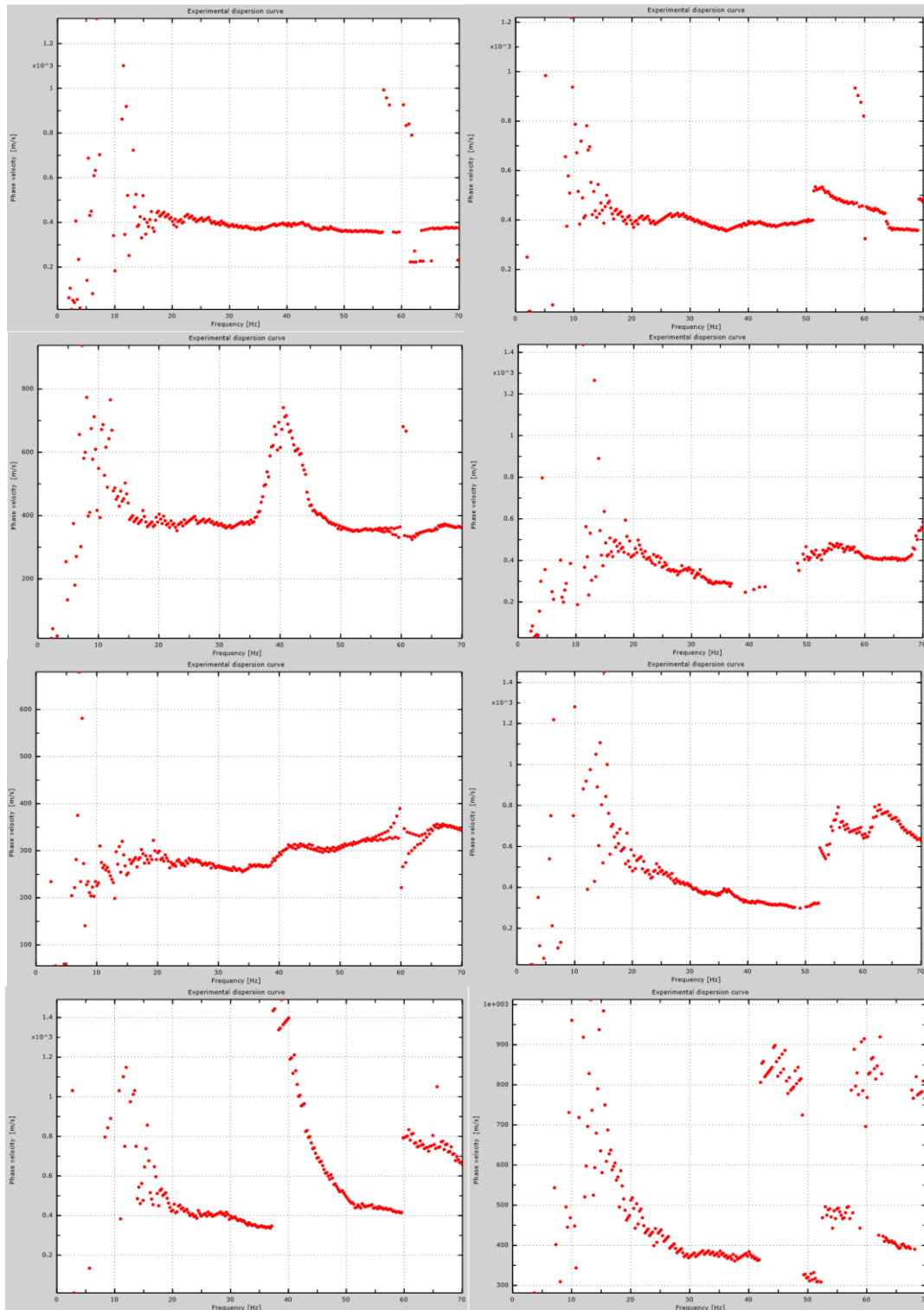


Figura 39 Resultados MASW, (Línea 4)

Jorge Andrés Arízaga Altamirano  
 María Gabriela Ulloa Palacios

Resultados obtenidos por ReMi: Una vez cargada la MASW escogida anteriormente, se correlaciona con la ReMi que muestra mejor definición, para este caso se utilizó la tercera gráfica, la cual muestra mejor definición que las demás.

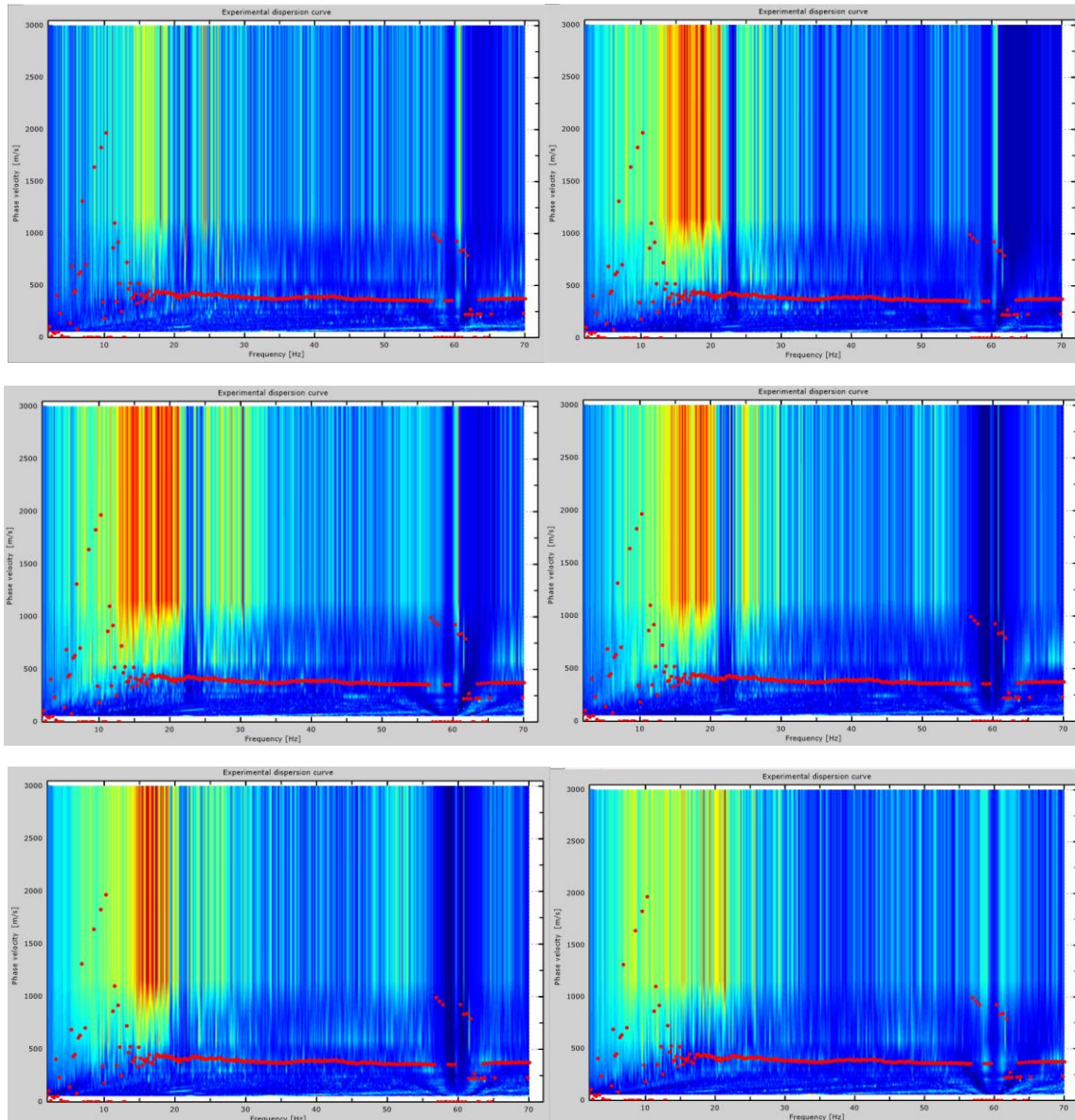


Figura 40 Resultados ReMi (Línea 4)

Resultados obtenidos por Esac: Una vez cargada la MASW y ReMi, procedemos a escoger la mejor toma de Esac, la cual nos ayuda a definir las características a mayor profundidad, es por esto que sus valores se encuentran en las frecuencias más bajas, para este perfil se escogió la segunda gráfica, la cual muestra mejor definición.

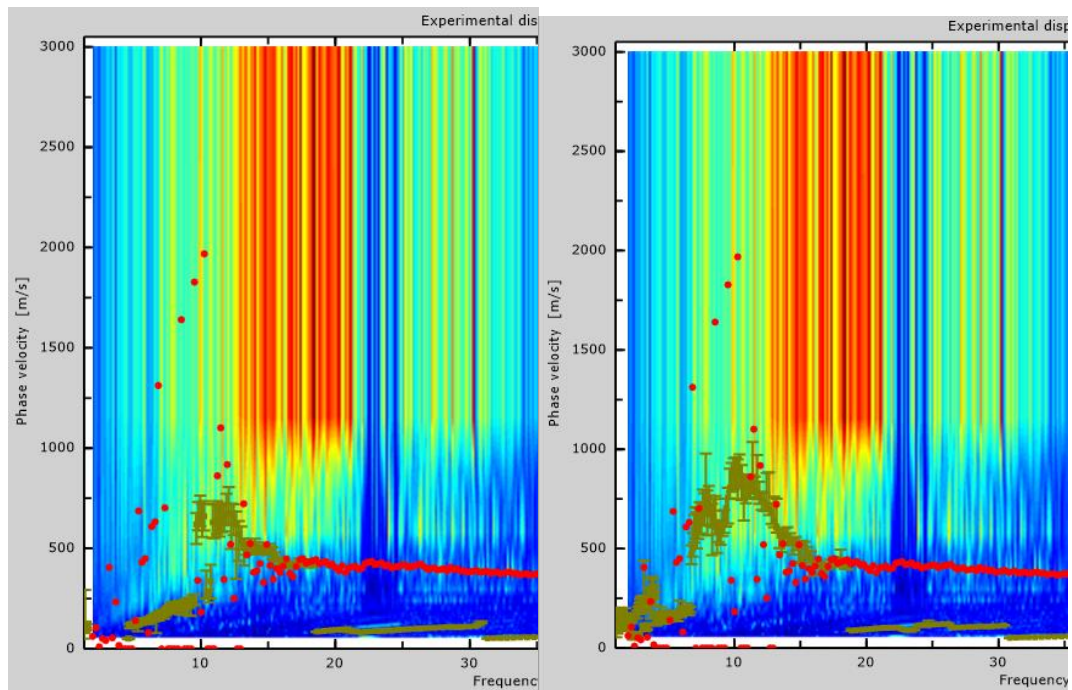


Figura 41 Resultados Esac (Línea 4)

Una vez escogidos adecuadamente los valores de MASW, ReMi y Esac, el programa nos muestra una curva de dispersión, la cual debe ser ajustada en función del error que se genera, así como de los resultados de la sísmica, en donde calibramos los distintos estratos que posee en terreno y las características geotécnicas para definir la profundidad de los estratos, así como las velocidades  $V_s$  que se encuentran en estos. Esta se asemeja a las velocidades que posee cada estrato, así como permite observar la definición obtenida a profundidad mediante la frecuencia alcanzada.

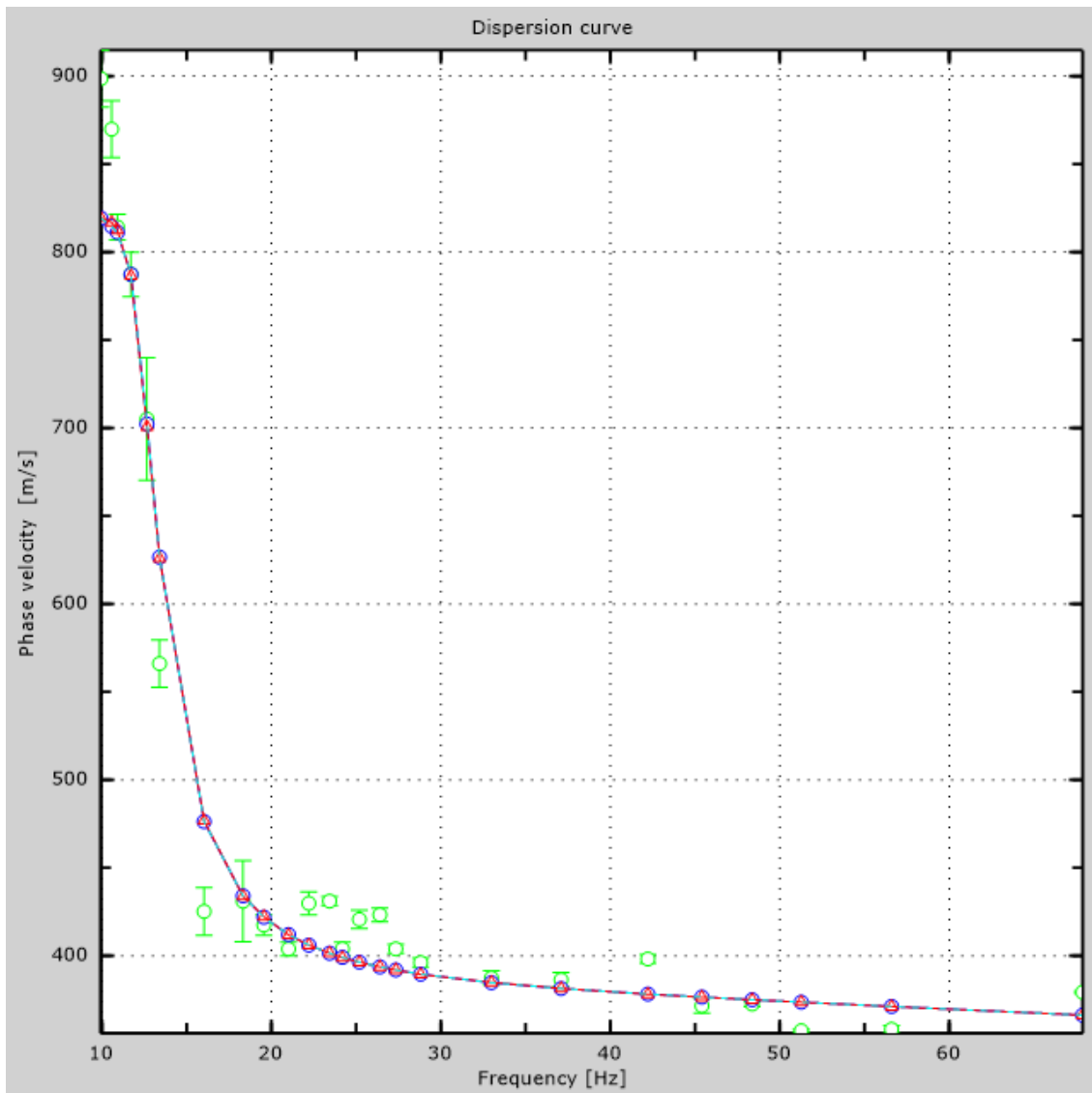


Figura 42 Velocidades numéricas: puntos experimentales (verde), modos de Rayleigh (cian), curva aparente (azul), curva numérica (roja)

Mediante un proceso logarítmico, se obtienen los resultados de las velocidades  $V_s$ , las cuales nos muestran la variación de la velocidad en función de la profundidad de cada estrato.

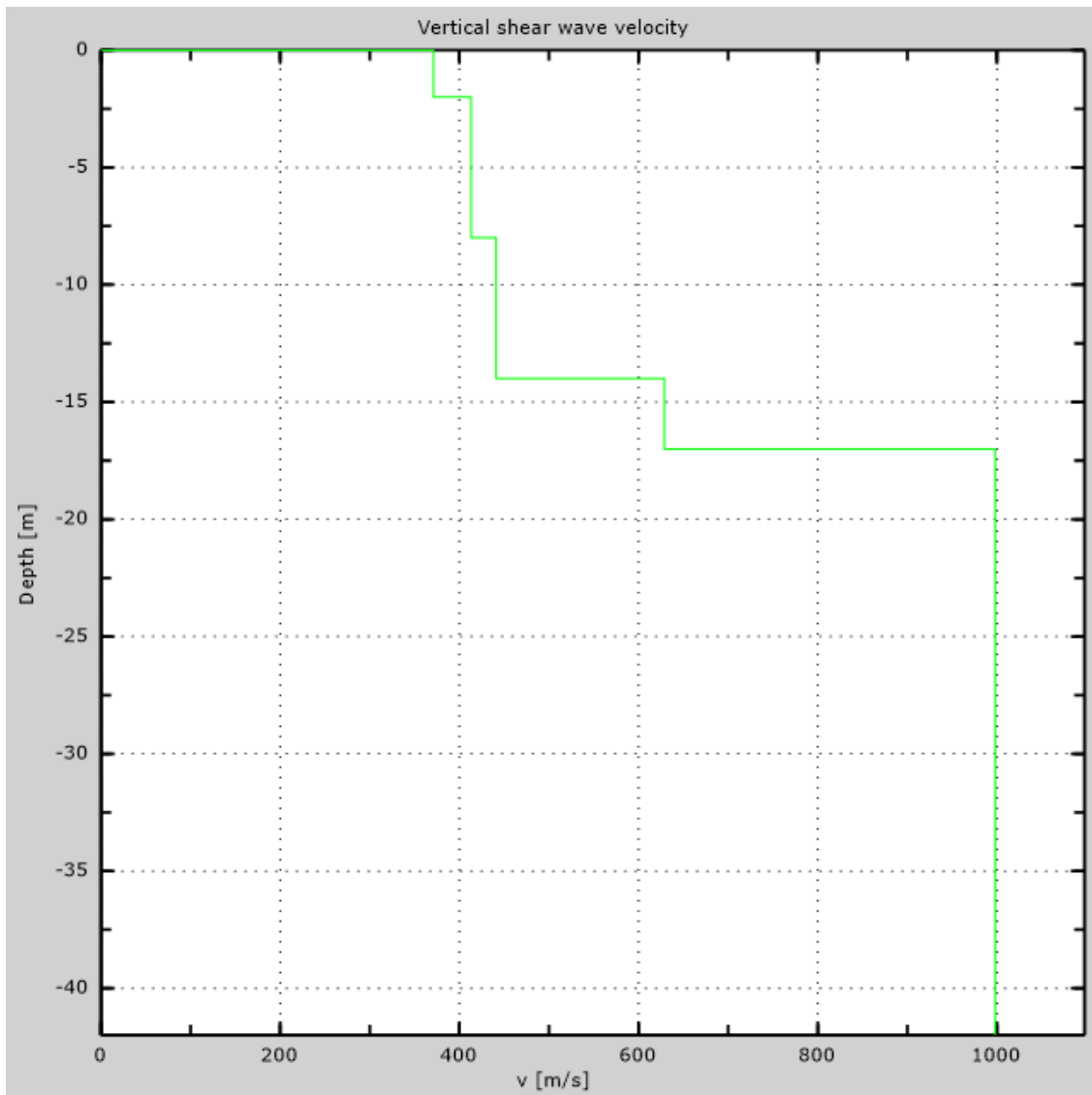


Figura 43 Profundidad vs Velocidad

Una vez obtenido este resultado, se presenta un reporte, el cual muestra la velocidad característica del suelo hasta los 30 metros ( $V_{s30}$ ). El capítulo de Diseño sísmo resistente de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-15) tabla 2, nos establece parámetros para clasificar el suelo mediante  $V_{s30}$  mediante la siguiente tabla.

Tabla 9 Clasificación de los perfiles del suelo mediante  $V_{s30}$  (NEC-11)





Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	<b>F1</b> —Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	<b>F2</b> —Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	<b>F3</b> —Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	<b>F4</b> —Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	<b>F5</b> —Suelos con contrastes de impedancia $\alpha$ ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
	<b>F6</b> —Rellenos colocados sin control ingenieril.	

## CAPITULO 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la siguiente figura se muestra la ubicación de las mediciones realizadas para obtener un mejor entendimiento en los análisis.

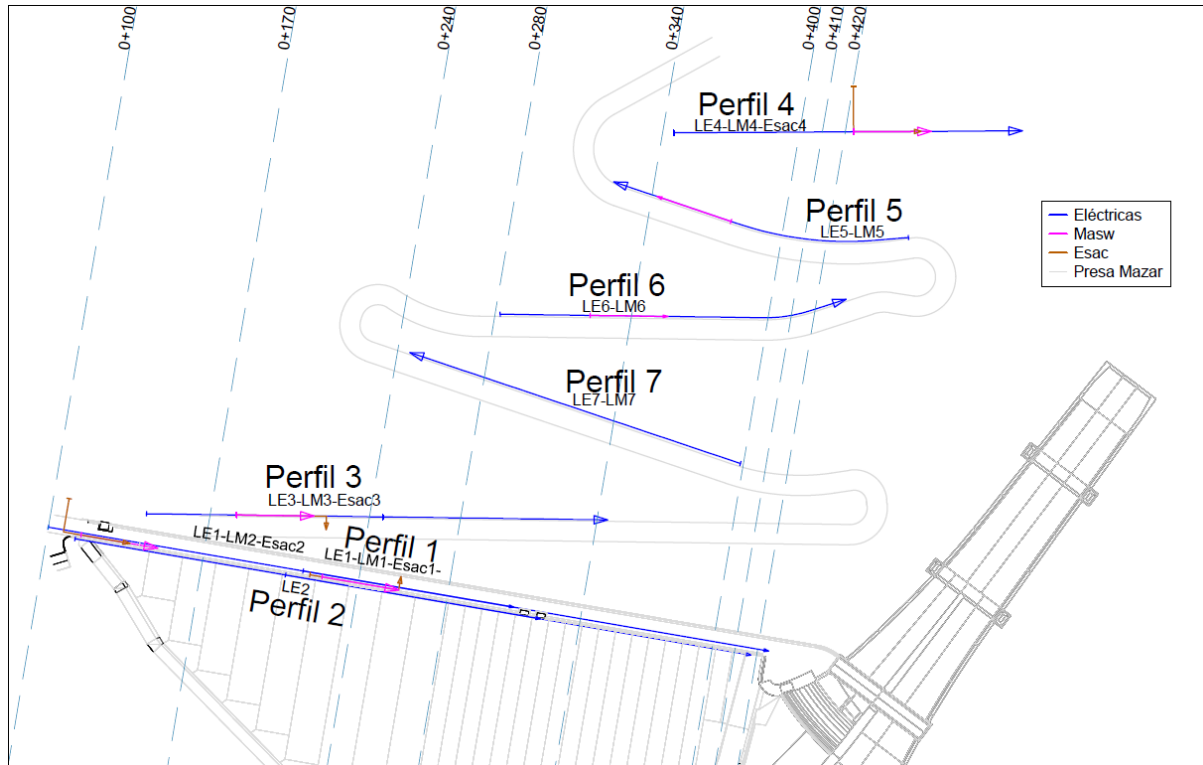


Figura 44 Ubicación de los perfiles

A continuación, se presenta el análisis de los resultados, así como la correlación entre los resultados obtenidos de las tomas Masw, Sísmica y Tomografía eléctrica.

### Perfil 1

#### Ubicación

Este perfil se encuentra ubicado encima del muro parapeto, en el cual se encuentra una vía pavimentada que conecta ambos extremos de la presa.

#### Características:

La toma de datos se los realizó mediante la implementación de arcilla para garantizar una mejor conexión

#### Tramos

Este perfil está conformado por 2 líneas tomográficas de 210 metros cada una, en donde se realizó un traslape entre los perfiles dando una longitud total de 325 metros. Este perfil se lo ubicó de Este a Oeste.

## Interpretación

### MASW

En estos resultados podemos apreciar que en el perfil de velocidades sísmicas de la MASW varia de entre los 500 a 750 m/s hasta una profundidad de aproximadamente 5 metros, lo que nos indica la posibilidad de la presencia del muro. Así también se puede visualizar un cambio que se mantiene cercano a los 50 metros de profundidad cercano a la abscisa 0+220 en la toma LM 1.5 y hasta una profundidad de aproximadamente 15 metros, cercano a la abscisa 0+150 en la toma LM 2.1, en donde existe un aumento en las velocidades, lo que indica la presencia de roca sana ya que las velocidades son cercanas a las 2000 m/s y tiene relación a los perfiles facilitados por CELEC.

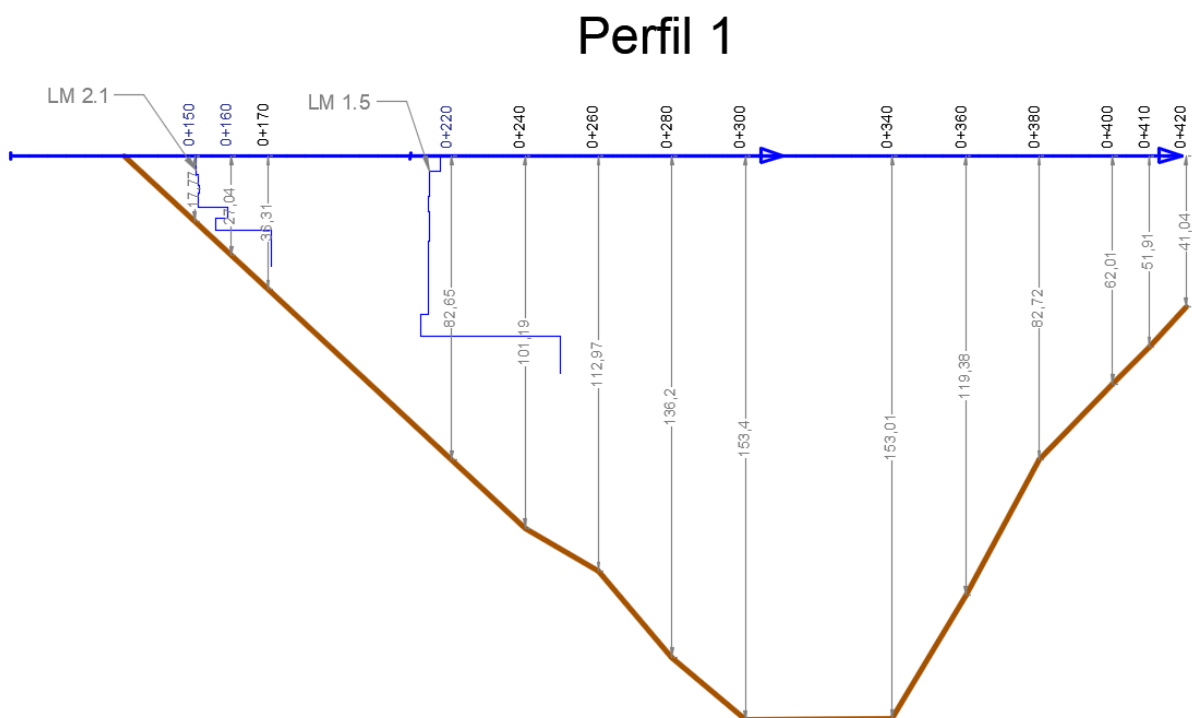


Figura 45 Perfil Masw del perfil 1. Se observan los perfiles Masw al costado izquierdo, los cuales se acientan sobre la superficie del parapeto. Así como las distancias en cada abscisa hasta el perfil de roca. Los perfiles masw llegan hasta velocidades de 2000m/s, lo cual indica roca sana. LM 2.1 concuerda con el perfil, LM 1.5 indica que la roca esta en 50m. y el perfil llega a los 82.65m.



LM1.5

En este perfil se obtuvo un  $V_s 30 = 743$ , mediante la clasificación de suelos de la NEC-11, corresponde a un suelo tipo C que consiste en Perfiles de suelos muy densos o roca blanda.

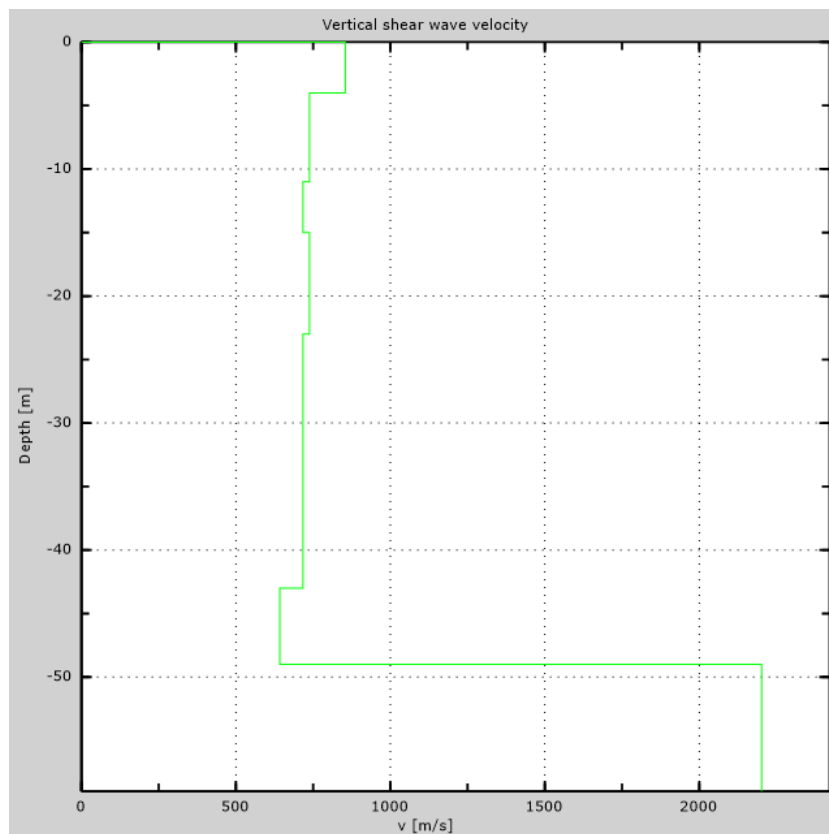


Figura 46 Perfil Vs del perfil 1. Los primeros 5 metros con velocidades entre los 800 m/s, puede ser el parapeto. Más adelante velocidades entre los 750 m/s, puede ser el material tipo 3B del espaldón aguas arriba. A los 50m. velocidades entre los 2000 m/s, indica la presencia de roca sana.

## LM2.1

En este perfil se obtuvo un  $V_s 30 = 774$ , mediante la clasificación de suelos de la NEC-11, corresponde a un suelo tipo B que consiste en Roca de rigidez media.

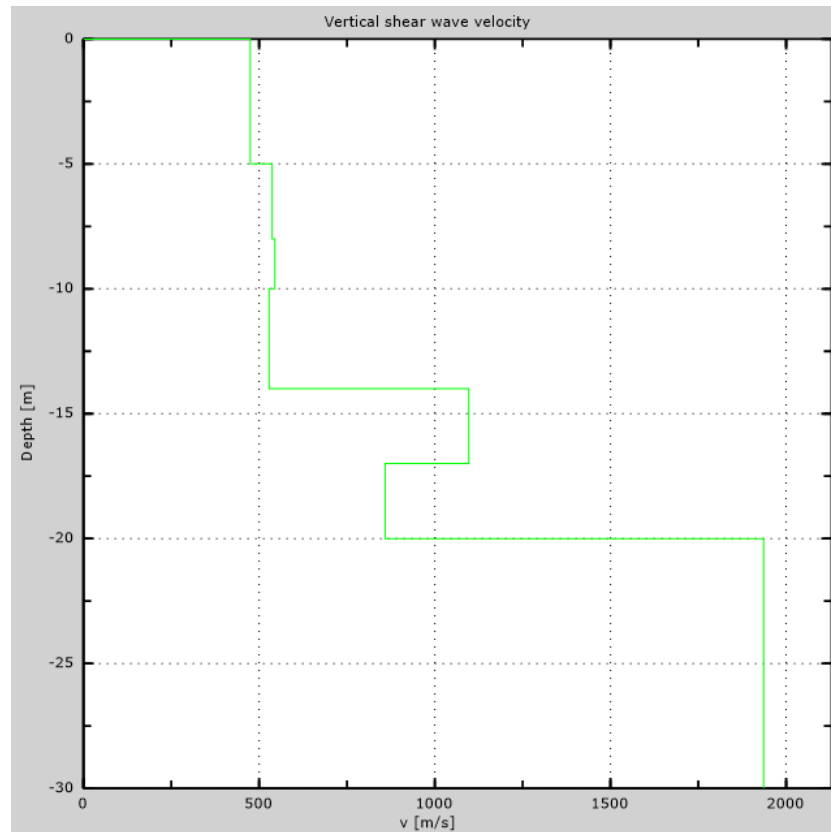


Figura 47 Perfil Masw del perfil 1. Los primeros 15 metros con velocidades entre los 500 m/s, indica material con menores características. Más adelante velocidades entre los 1200 m/s hasta los 17.5 m., existe una disminución de velocidad hasta los 770 m. hasta los 20m. Esto se puede interpretar como un descenso de densidad del material, posiblemente se da en el contacto de la presa con la roca sana, en el estribo. A los 20m. velocidades entre los 2000 m/s, indica la presencia de roca sana.

### **Eléctrica**

En esta línea podemos visualizar un estrato común cerca de la superficie con un espesor aproximado de 5.8 metros, en el cual se visualizan resistividades de entre los 100 a 250 ohm.m, lo que puede interpretarse como la sección del muro parapeto ubicado a lo largo de la presa.

Se puede visualizar en el estribo derecho cercano a la abscisa 0+320 de la presa, la presencia de un material con resistividades muy bajas de entre 5 a 15 ohm.m las cuales pueden representar la posibilidad de un suelo saturado.

Finalmente, se puede visualizar unas altas resistencias que van desde los 150 ohm.m en adelante, lo cual podría representar la cercanía hasta una sección de roca sana con mejores propiedades, correlacionando con el método Masw se puede determinar que el estrato de roca sana en la abscisa 0+150 a una profundidad de 20 metros aproximadamente, lo cual se puede observar que se relaciona con los perfiles de construcción de la presa facilitados por la empresa CELEC.

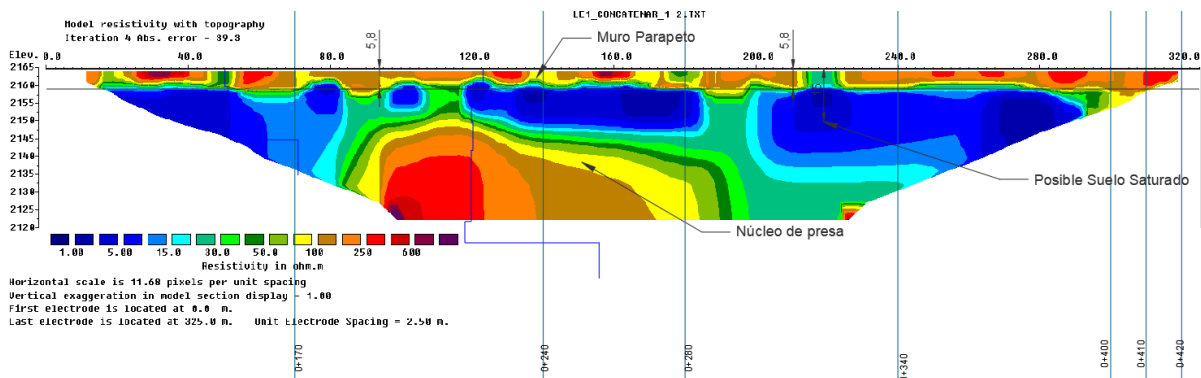


Figura 48 Perfil eléctrico del perfil 1.

## Perfil 2

### Ubicación

Este perfil se encuentra ubicado en la pasarela, encima del recubrimiento de hormigón aguas arriba de la presa.

### Características

La toma de datos se realizó mediante la implementación de arcilla para garantizar una mejor conexión

### Tramos

Este perfil está conformado por 2 líneas tomográficas de 210 metros cada una, en donde se realizó un traslape entre los perfiles dando una longitud total de 305 metros. Este perfil se lo ubicó de Este a Oeste.

### Interpretación

#### Eléctrica

En esta línea podemos observar en los estratos superficiales resistividades Altas, mayores a 600 ohm.m, los cuales pueden deberse a posibles asentamientos en la presa, esto impide una correcta transmisión de corriente, lo que genera altas resistividades e interferencia en la conexión.

Debajo del estrato anterior cercano a la abscisa 0+280, podemos encontrar resistividades entre los 30 a 50 ohm.m lo que indica la posibilidad de que esta zona se encuentre saturada.

En la zona con resistividades entre los 5 a 15 ohm.m se podría interpretar como la zona del núcleo de la presa.

Esta y las anteriores zonas antes descritas no se las puede apreciar con facilidad debido a la interferencia en la conexión, lo cual se debe a lo anteriormente explicado.

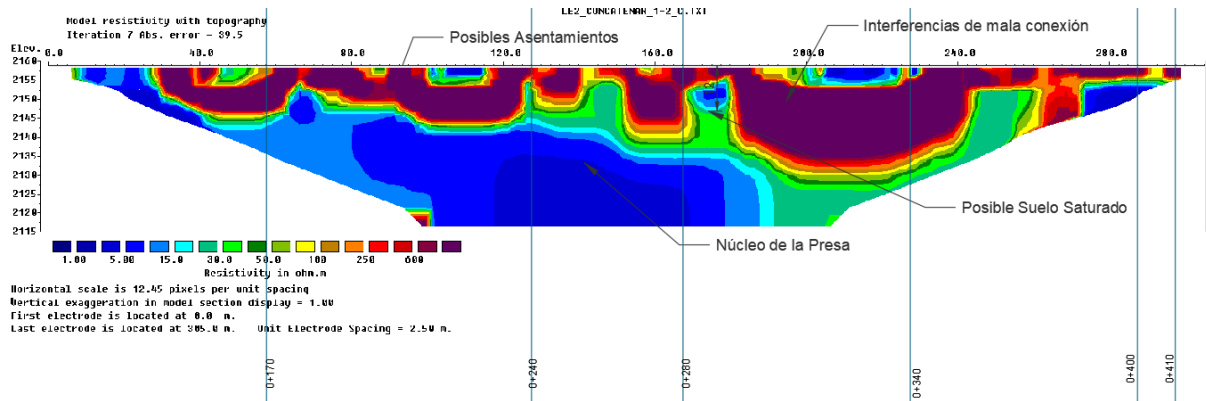


Figura 49 Perfil eléctrico del perfil 2.

### Perfil 3

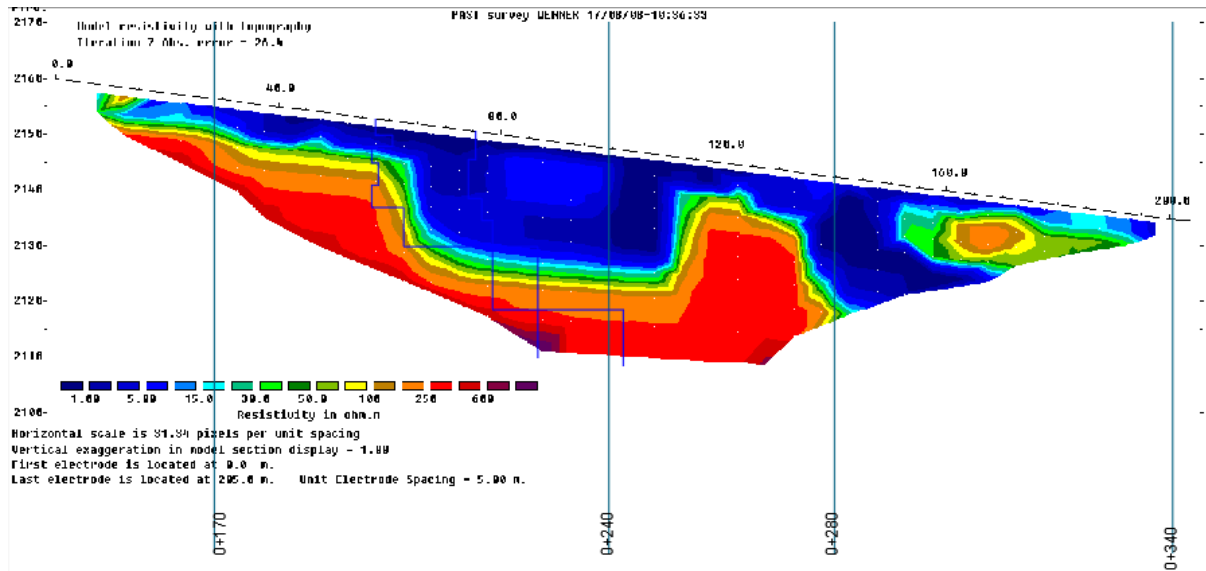


Figura 50 Perfil eléctrico del perfil 3.

Este perfil posee resultados no son consistentes, por lo que no desarrollaremos este perfil.



## **Perfil 7**

### **Ubicación**

Este perfil se encuentra ubicado en la vía de ingreso a la corona de la presa desde aguas debajo de la misma.

### **Características**

La toma de datos se los realizó al costado externo de la vía, debido a que el costado interno se encuentra el cableado eléctrico y la vía es de asfalto, la cual es un aislante de la corriente e impide la toma de datos.

### **Tramos**

Este perfil está conformado por 1 línea tomográfica de 155 metros. Este perfil se lo ubicó de Este a Oeste.

### **Interpretación**

#### ***Eléctrica***

Este perfil se lo realizó encima del enrocado con resistividades alrededor de los 250 ohm.m, esto debido a que se trata de rocas de diámetros mayores a 1 metro, lo cual genera vacíos considerables entre ellas, pudiendo existir afectación en la medición. El enrocado se encuentra en un promedio de 4 metros de espesor.

Así también se pudo determinar una posible zona de suelo saturado cercano a la abscisa 0+280, en donde se puede observar resistividades de entre 100 ohm.m, de manera similar se determinó otra zona de posible infiltración cercana a la abscisa 0+350, en donde se observan resistividades de entre los 75 ohm.m.



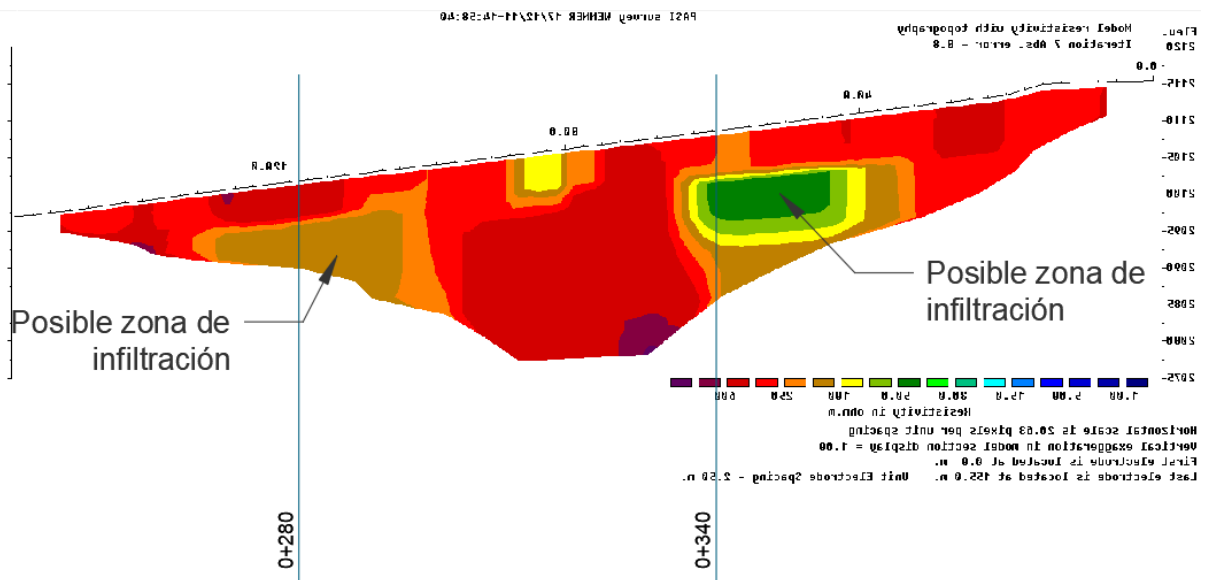


Figura 51 Perfil eléctrico del perfil 7.

Este perfil es de carácter importante, debido a que, de este, aguas abajo, los perfiles poseen similar composición de material, lo cual se puede interpretar como el material 3C de este espaldón, debido a que es más grueso que el espaldón aguas arriba.

## Perfil 6

### Ubicación

Este perfil se encuentra ubicado en la vía de ingreso a la corona de la presa desde aguas debajo de la misma.

### Características

La toma de datos se realizó al costado externo de la vía, debido a que el costado interno se encuentra el cableado eléctrico y la vía es de asfalto, la cual es un aislante de la corriente e impide la toma de datos.

### Tramos

Este perfil está conformado por 1 línea tomográfica de 155 metros. Este perfil se lo ubicó de Oeste a Este.

### Interpretación

#### MASW

En estos resultados podemos apreciar que en el perfil de velocidades sísmicas de la MASW varía de entre los 400 a 450 m/s hasta una profundidad de aproximadamente 5 metros, lo que nos indica la posibilidad de un suelo de baja densidad y correlaciona el material de enrocado perteneciente a esta zona, así también varía de entre los 550 m/s hasta una profundidad de aproximadamente 12 metros, lo que nos

indica la posibilidad de un suelo tipo 3C como se muestran en los perfiles facilitados por CELEC. En relación a las resistividades de la abscisa 0+310 a 0+320 podemos corroborar la posibilidad de un suelo saturado debido a la disminución de velocidades hasta los 550 m/s, así como la continuidad del material antes mencionado en la totalidad del perfil obtenido.

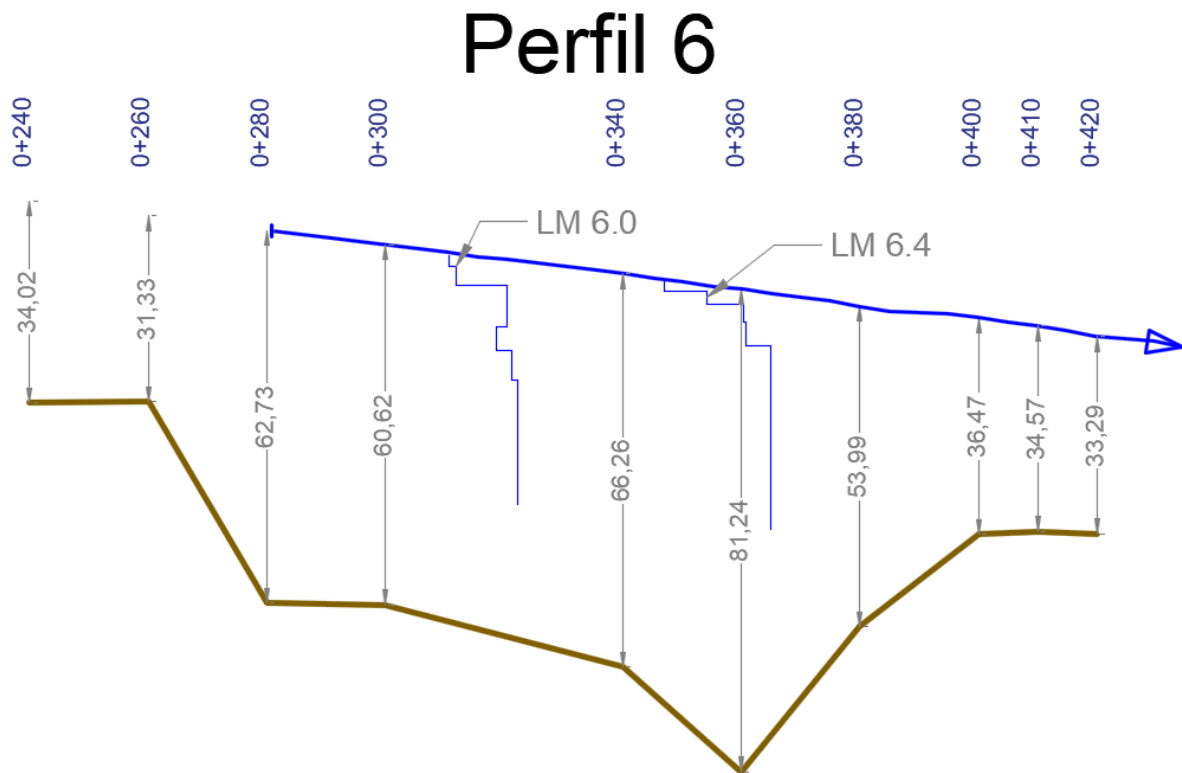


Figura 52 Perfil Masw del perfil 6. En este perfil se aprecia que los perfiles Masw inician con velocidades entre los 400 m/s aproximadamente los 5m hasta los 550 m/s, lo cual significa que en este perfil no se llegó a identificar suelo tipo roca, pero si con un suelo posiblemente tipo 3C.

**LM6.0**

En este perfil se obtuvo un  $V_s 30 = 537$ , mediante la clasificación de suelos de la NEC-11, corresponde a un suelo tipo C que consiste en Perfiles de suelos muy densos o roca blanda.

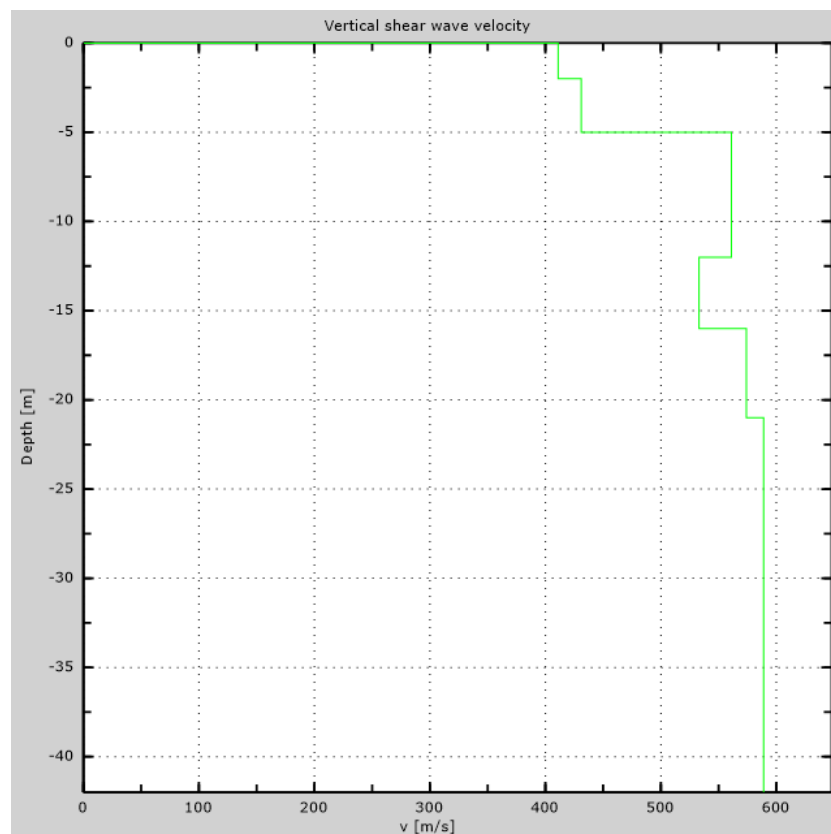


Figura 53 Perfil  $V_s$  del perfil 6. En este se puede observar que empieza con velocidades entre los 420 m/s los 5 primeros metros, lo cual puede ser el material enrocado, luego sube hasta velocidades promedio 550 m/s, lo cual se puede interpretar como material 3C del espaldón. Así mismo se observa un notable descenso entre los 13 – 16 metros con velocidad alrededor de 530 m/s, lo cual muestra una zona con material de menor densidad.



### LM6.4

En este perfil se obtuvo un  $V_s 30 = 537$ , mediante la clasificación de suelos de la NEC-11, corresponde a un suelo tipo C que consiste en Perfiles de suelos muy densos o roca blanda.

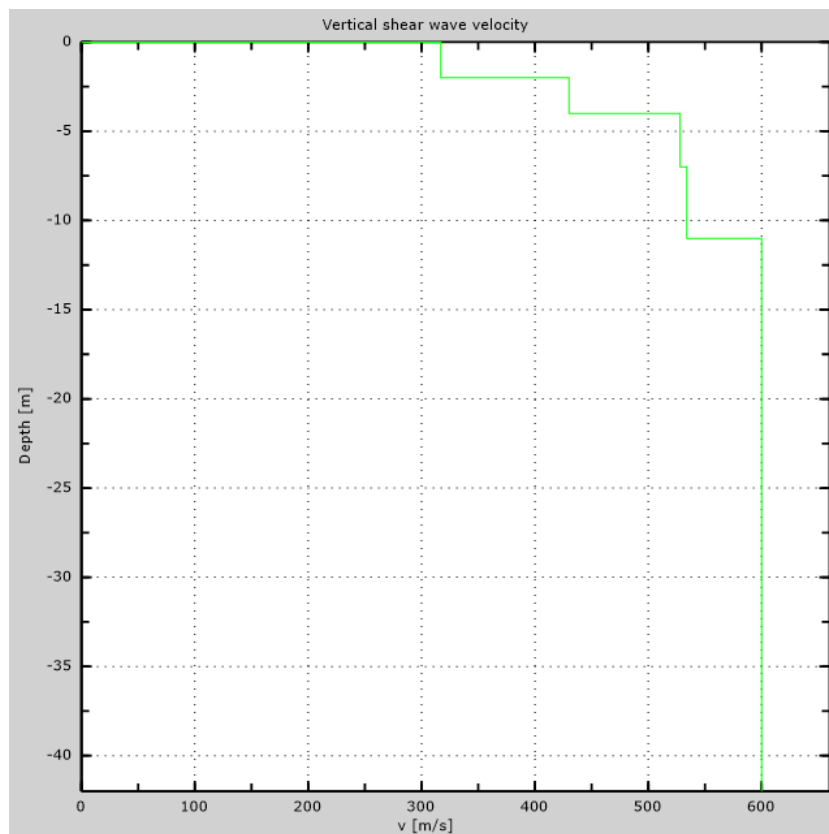


Figura 54 Perfil  $V_s$  del perfil 6. En este se observa un aumento progresivo de la velocidad, partiendo en aproximadamente 320 m/s hasta los 4 metros, con velocidad aproximada de 530 m/s hasta los 11 metros donde aumenta hasta una velocidad de 600 m/s, lo cual muestra la posibilidad del material 3C.

### **Eléctrica**

Este perfil se lo realizó sobre el enrocado con resistividades alrededor de los 250 ohm.m, esto debido a que se trata de rocas de diámetros mayores a 1 metro, lo cual

Jorge Andrés Arízaga Altamirano  
María Gabriela Ulloa Palacios

genera vacíos considerables entre ellas, pudiendo existir afectación en la medición aumentando la resistencia en zonas superficiales con 600 ohm.m como se visualiza en la figura. El enrocado se encuentra en un promedio de 4 metros de espesor.

Por último, al igual que el anterior perfil, se pudo determinar una posible zona de suelo saturado cercano a la abscisa 0+340, en donde se puede observar resistividades de entre 75 ohm.m, de manera similar se determinó otra zona de posible infiltración cercana a la abscisa 0+380, en donde se observan resistividades de entre los 100 ohm.m.

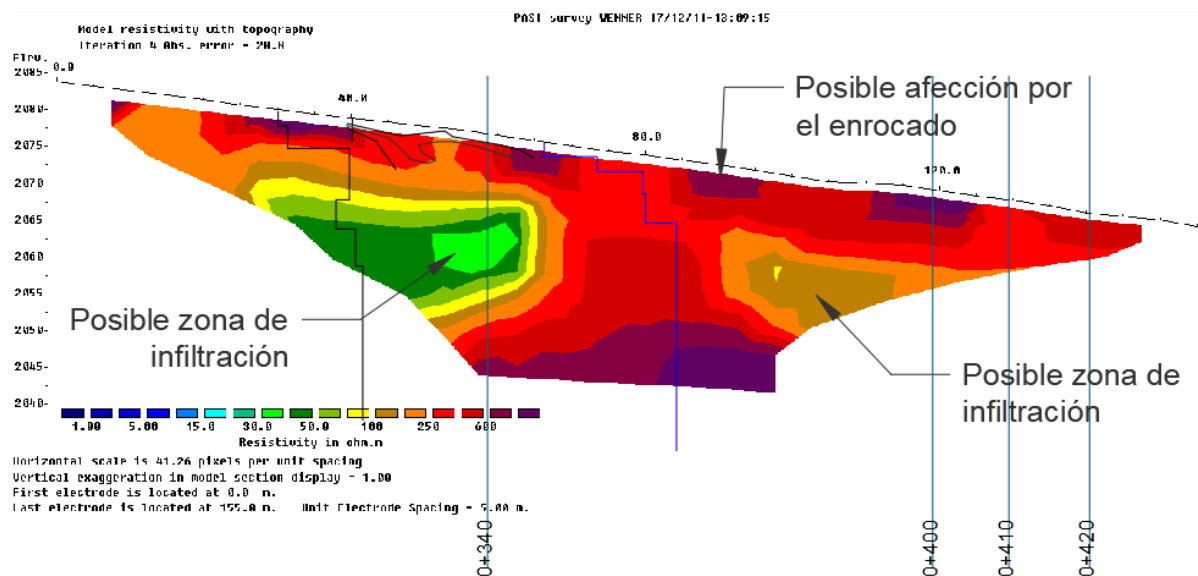


Figura 55 Perfil eléctrico del perfil 6.

Debido a que posee características similares que el perfil 6, este perfil pudo presentar los errores por una mala conexión, así también se puede observar que la zona en la que la densidad del material disminuye hasta velocidades cercanas a los 530 m/s coincide con la zona de posible infiltración de la zona derecha de la imagen.

### SISMICA

Finalmente, en este perfil se muestran las velocidades sísmicas, las cuales nos muestran una estratigrafía en la parte superficial similar al de la tomografía eléctrica, por lo que nos ayuda a correlacionar la posible afectación por el enrocado en esta zona, debido a las bajas densidades.

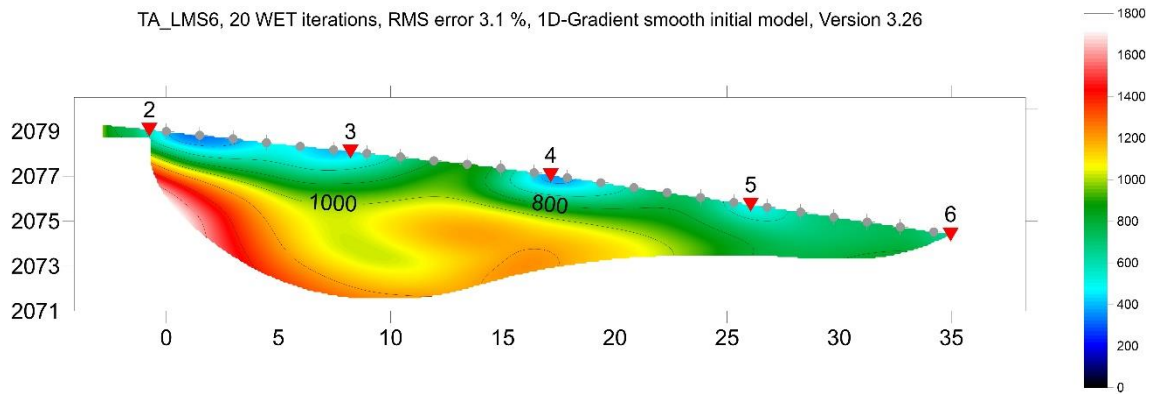


Figura 56 Perfil sísmico del perfil 6.

## Perfil 5

### Ubicación

Este perfil se encuentra ubicado en la vía de ingreso a la corona de la presa desde aguas debajo de la misma.

### Características

La toma de datos se realizó al costado externo de la vía, debido a que el costado interno se encuentra el cableado eléctrico y la vía es de asfalto, la cual es un aislante de la corriente e impide la toma de datos.

### Tramos

Este perfil está conformado por 1 línea tomográfica de 135 metros. Este perfil se lo ubicó de Este a Oeste.

### Interpretación

#### MASW

En estos resultados podemos apreciar que en el perfil de velocidades sísmicas de la MASW varía de entre los 450 a 500 m/s hasta una profundidad de aproximadamente 20 a 25 metros, lo que nos indica la posibilidad de un suelo de baja densidad. En relación a las resistividades de la abscisa 0+360 a 0+380 podemos corroborar la posibilidad de un suelo saturado y la roca sana a una profundidad superior a los 25 metros por las velocidades sísmicas que llegan a 750 a 1100 m/s, lo que indica un suelo con mejores características geológicas. Lo cual se acerca a los perfiles constructivos facilitados por CELEC.

# Perfil 5

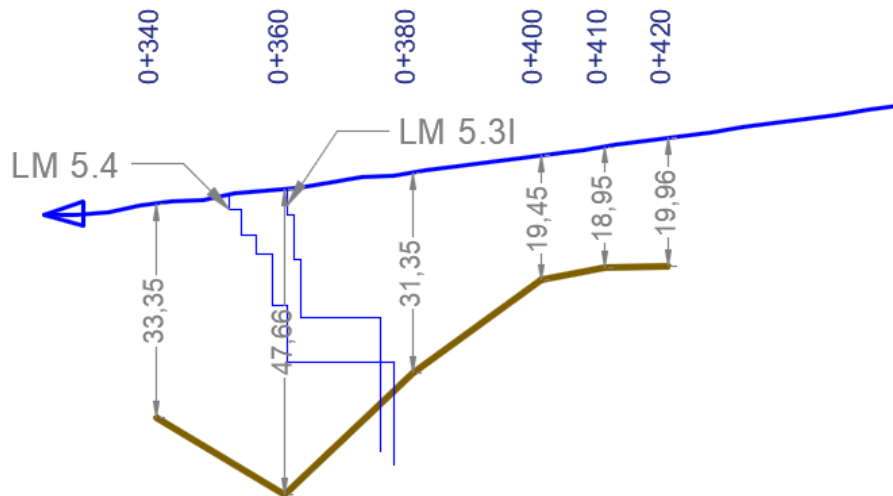


Figura 57 Perfil Masw del perfil 5. En este perfil se observa en la variación de velocidades en los 5 primeros metros entre 400 – 500 m/s el cual puede ser interpretado como el material tipo 3C, cerca de los 20 metros, se observa el aumento de velocidades, las cuales llegan hasta los 750 m/s en el perfil LM 3.5I, el cual puede ser por el relleno del material tipo 3B, contrario con el perfil LM 5.4 llega hasta una profundidad de 25 metros, el cual llega a velocidades de 1500 m/s, lo cual puede interpretarse como suelo tipo roca, en este caso, según el perfil de construcción, falta cerca de 14 metros para encontrarse con este tipo de suelo.

**LM5.3I**

En este perfil se obtuvo un  $V_s 30 = 550$ , mediante la clasificación de suelos de la NEC-11, corresponde a un suelo tipo C que consiste en Perfiles de suelos muy densos o roca blanda.

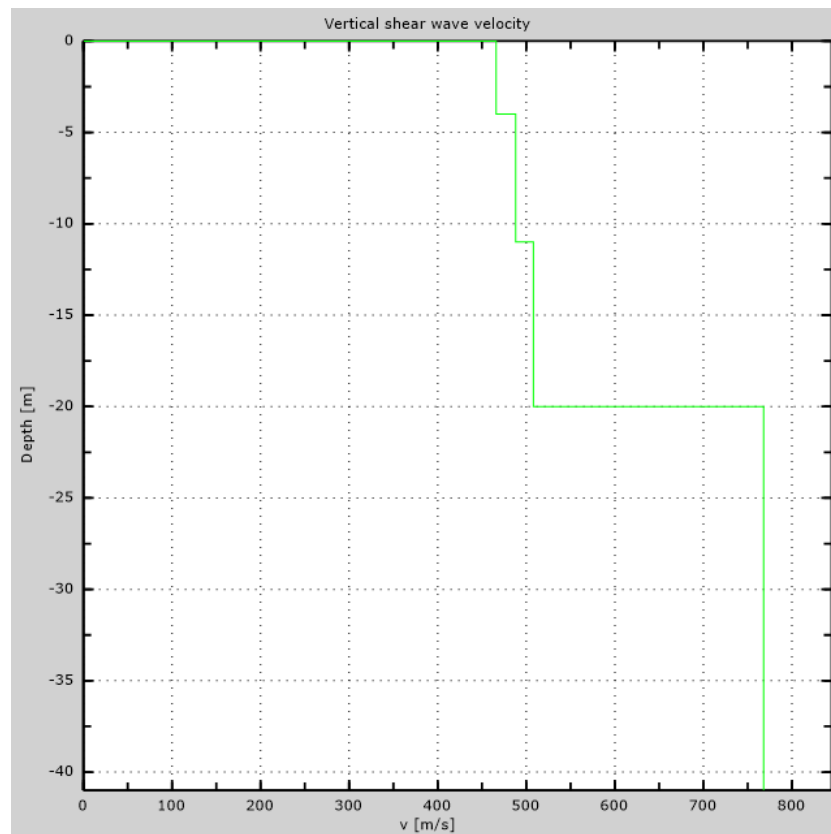


Figura 58 Perfil Vs del perfil 5. Se observa una tendencia de 500 m/s hasta los 20 m. lo cual puede significar el material de construcción tipo 3C. Existe un aumento de velocidad cercano a los 760 m/s aproximadamente, donde podría interpretarse como la posibilidad de haber determinado el material tipo 3B. Al tener dos perfiles muy cercanos con un cambio de velocidades, podemos interpretar que a estas profundidades pudo haber lecturas distorsionadas debido a que no se realizó Esac en este perfil, es por ello que a partir de los 20 m los resultados no se puede tener mayor certeza.





### LM5.4

En este perfil se obtuvo un  $V_s 30 = 581$ , mediante la clasificación de suelos de la NEC-11, corresponde a un suelo tipo C que consiste en Perfiles de suelos muy densos o roca blanda.

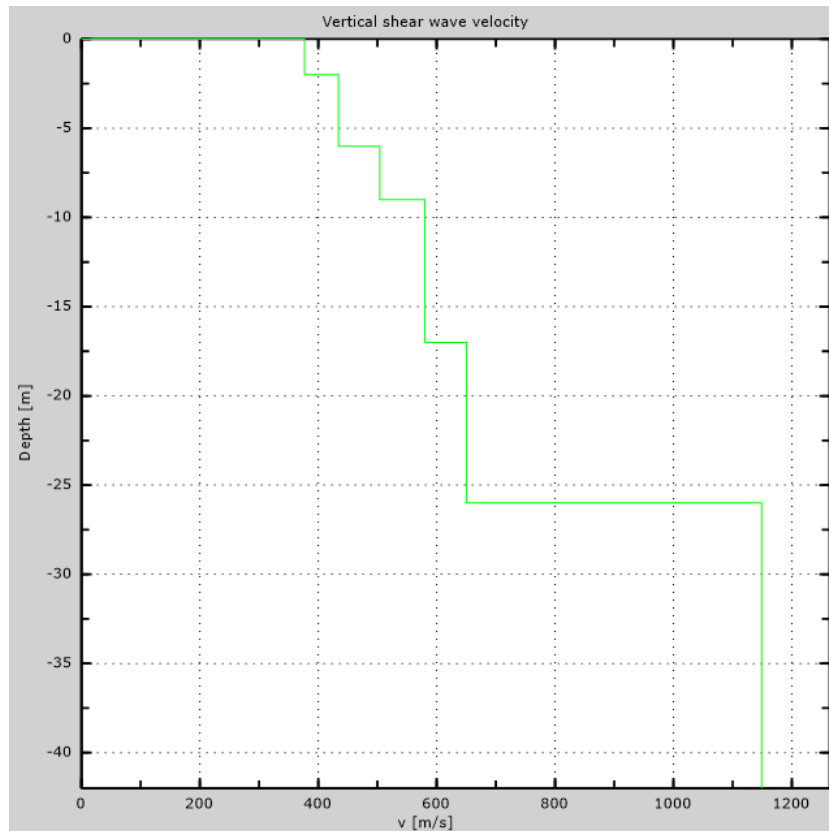


Figura 59 Perfil  $V_s$  del perfil 5. En este perfil, existe un aumento progresivo desde los 390 m/s aproximado hasta los 620 m/s aproximado y con una profundidad de 26 m, lo cual puede interpretarse como el material tipo 3C, a esta profundidad las velocidades aumentan hasta los 1150 m/s, lo cual puede interpretarse como un suelo tipo roca. Al tener dos perfiles muy cercanos con un cambio de velocidades, podemos interpretar que a estas profundidades pudo haber lecturas distorsionadas debido a que no se realizó Esac en este perfil, es por ello que a partir de los 25 m los resultados no se puede tener mayor certeza.

**Eléctrica**

En este perfil se presenta una similitud en las lecturas con respecto al anterior perfil, lo que nos corrobora la continuidad del material tipo enrocado, el cual presenta resistividades alrededor de los 250 ohm.m, pudiendo éste afectar las mediciones por el porcentaje de vacíos generado debido al tamaño del material.

Por último, al igual que el anterior perfil, se pudo determinar una posible zona de suelo saturado cercano a la abscisa 0+365, en donde se puede observar resistividades de entre 75 ohm.m, de manera similar se determinó otra zona de infiltración cercana a la abscisa 0+390 a 0+430, en donde se observan resistividades de entre los 100 ohm.m.

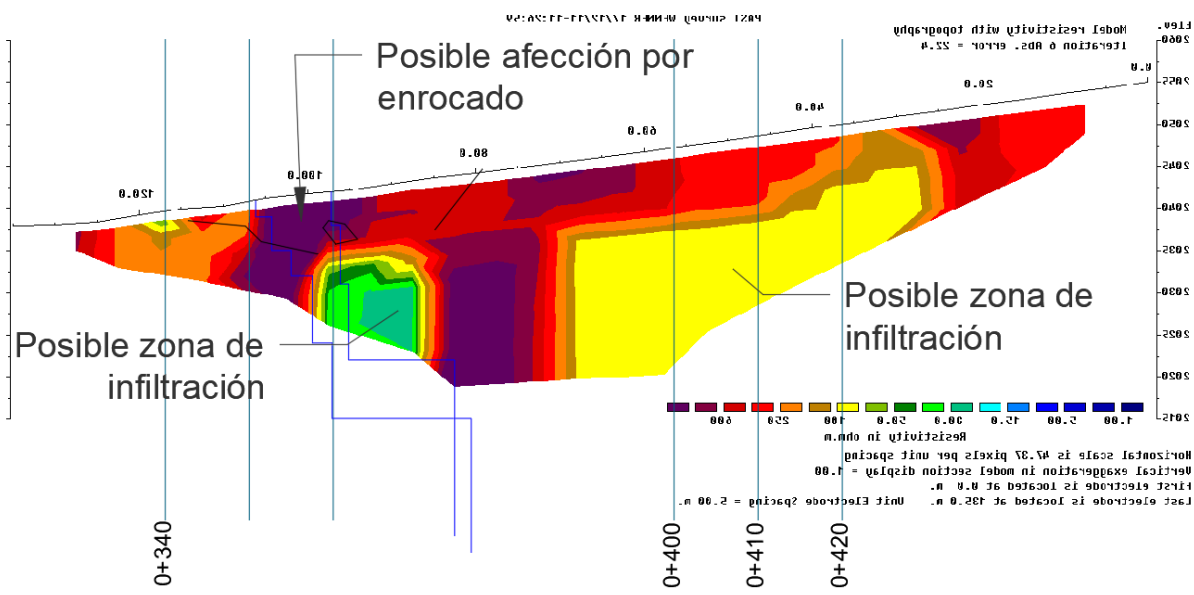


Figura 60 Perfil eléctrico del perfil 5.

Este perfil posee similares características a los perfiles 5 y 6. Al igual que las zonas de posible infiltración.

**SISMICAS**

Finalmente, en este perfil se muestran las velocidades sísmicas, las cuales nos indican una disminución de las velocidades del suelo cercanas al shot 4, el cual coincide con la abscisa 0+360 a 0+380 en donde se corrobora la posibilidad de un suelo saturado. Así también observamos unas velocidades uniformes cercanas a las 800 m/s a lo largo del perfil, el cual indica un suelo con similares características en todo el largo, pero de baja densidad, el cual puede pertenecer al relleno de la presa con material 3B

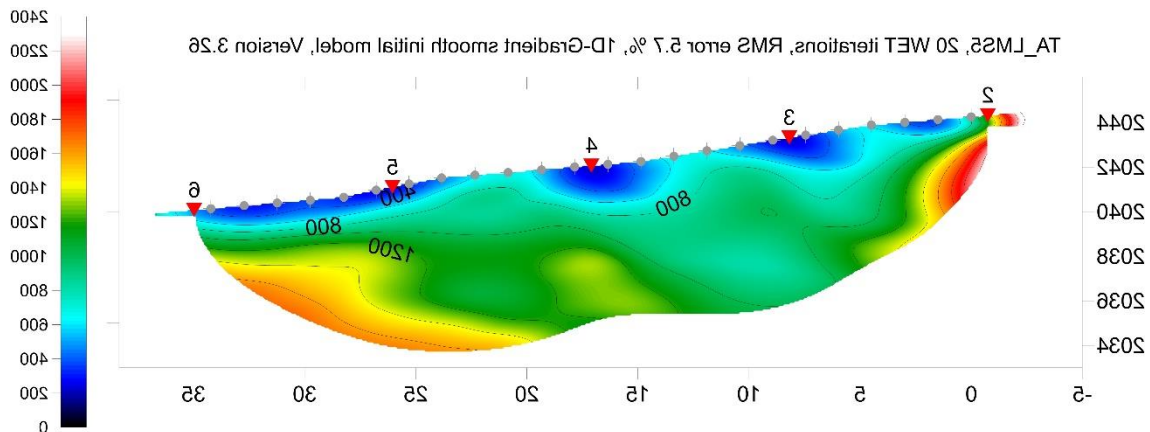


Figura 61 Perfil sísmico del perfil 5.

## Perfil 4

### Ubicación

Este perfil se encuentra ubicado en la parte baja cerca del vertedero de control ubicado aguas abajo de la presa.

### Características

La toma de datos se realizó en un material no perteneciente a la utilizada en la presa y corresponde al material in situ perteneciente a la geología de la zona.

### Tramos

Este perfil está conformado por 1 línea tomográfica de 155 metros. Este perfil se lo ubicó de Oeste a Este.

### Interpretación

#### MASW

En estos resultados podemos apreciar que en el perfil de velocidades sísmicas de la MASW varía de entre los 400 a 700 m/s hasta una profundidad de aproximadamente 15 a 20 metros, lo que nos indica la posibilidad de un suelo de baja densidad, el aumento progresivo de la velocidad nos indica el cambio entre una zona aluvial (350 m/s) y una zona de material conformado por esquistos meteorizados (450m/s-700m/s). En relación a las resistividades de la abscisa 0+440 a 0+450 podemos corroborar la posibilidad de un suelo meteorizado y posible material conformado por roca sana a una profundidad superior a los 20 metros por las velocidades sísmicas ( $V_s$ ) que llegan a 1000 m/s, lo que indica un suelo con mejores características geológicas. Lo cual coincide con los perfiles constructivos facilitados por CELEC.

## Perfil 4

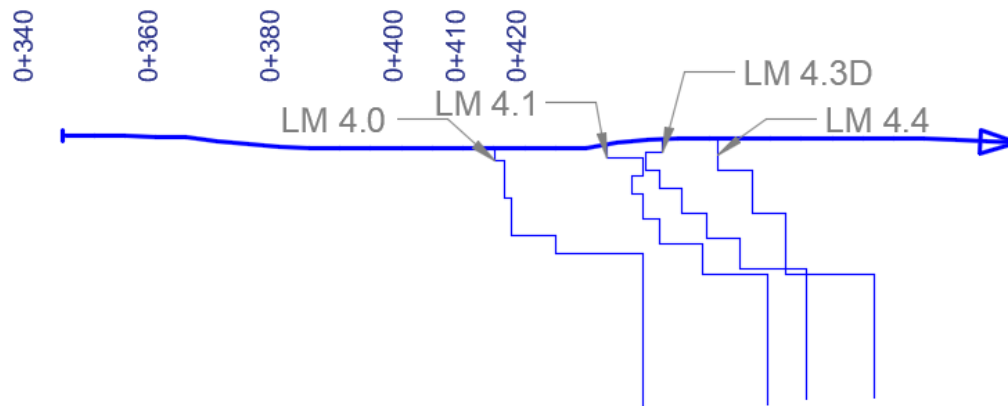


Figura 62 Perfil Masw del perfil 4. Este perfil muestra velocidades de entre los 400 – 600 m/s hasta los 15 – 20 metros lo cual se debe al material geológico de sitio, así como un aumento en esta profundidad cercano a los 1000 m/s, lo cual podría significar suelo de mejores características.



### LM4.0

En este perfil se obtuvo un  $V_s 30 = 584$ , mediante la clasificación de suelos de la NEC-11, corresponde a un suelo tipo C que consiste en Perfiles de suelos muy densos o roca blanda.

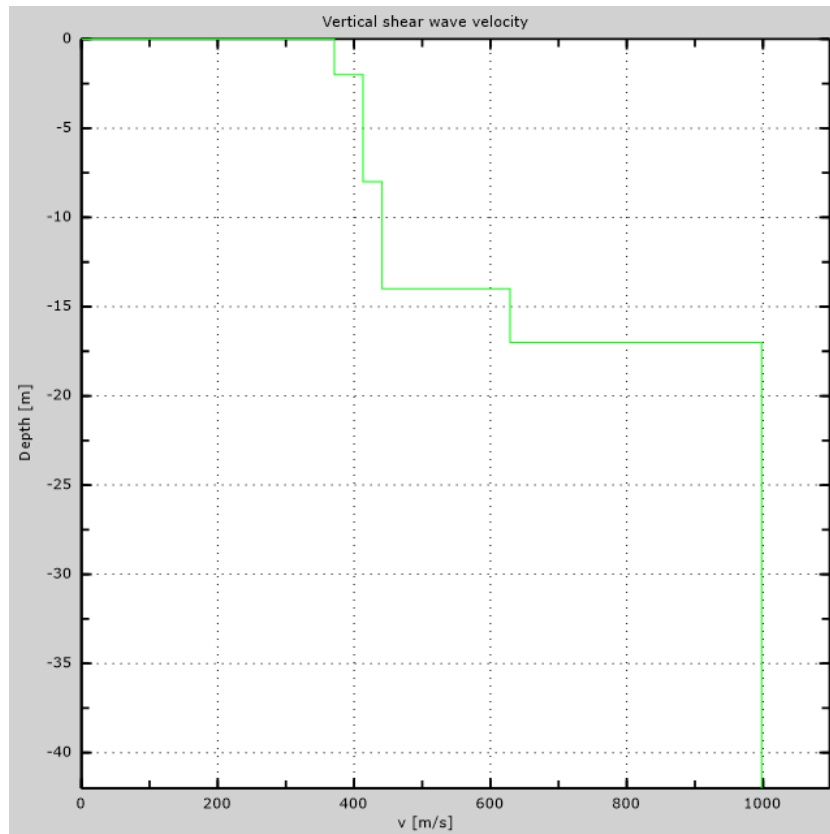


Figura 63 Perfil Vs del perfil 4. Los primeros 15 metros con velocidades entre los 400 m/s, puede ser material geológico del sitio. Más adelante velocidades entre los 1000 m/s, puede ser material conformado por esquistos.

**LM4.2**

En este perfil se obtuvo un  $V_s 30 = 577$ , mediante la clasificación de suelos de la NEC-11, corresponde a un suelo tipo C que consiste en Perfiles de suelos muy densos o roca blanda.

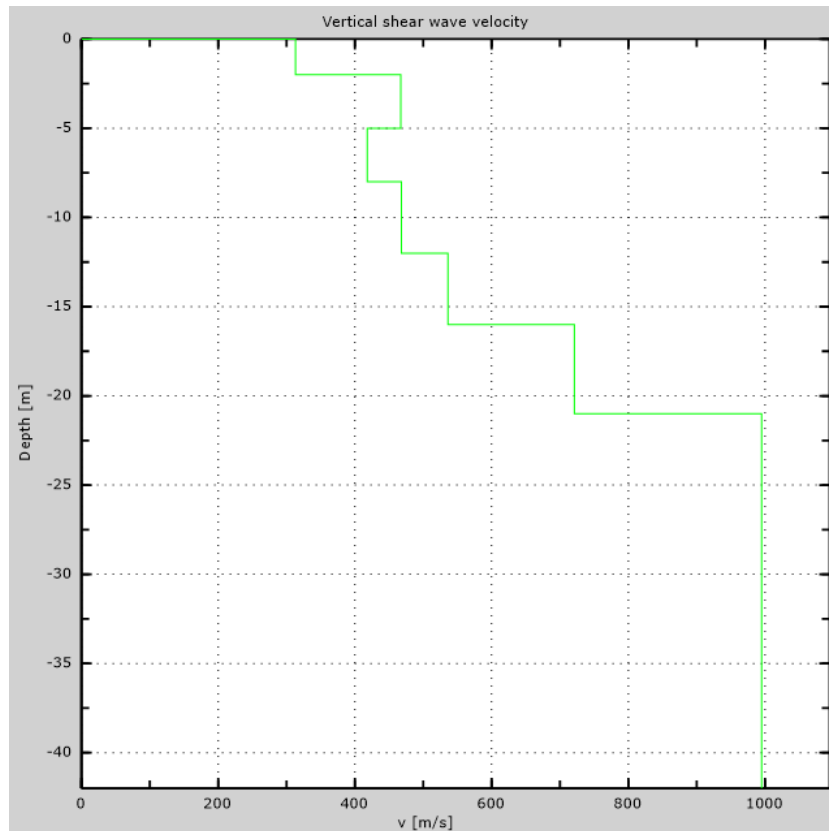


Figura 64 Perfil Vs del perfil 4. Los primeros 20 metros con velocidades entre los 400 - 600 m/s, puede ser material geológico del sitio posiblemente meteorizados por su disminución y aumento de velocidad. Más adelante velocidades entre los 1000 m/s, puede ser material conformado por esquistos.



### LM4.3D

En este perfil se obtuvo un  $V_s 30 = 551$ , mediante la clasificación de suelos de la NEC-11, corresponde a un suelo tipo C que consiste en Perfiles de suelos muy densos o roca blanda.

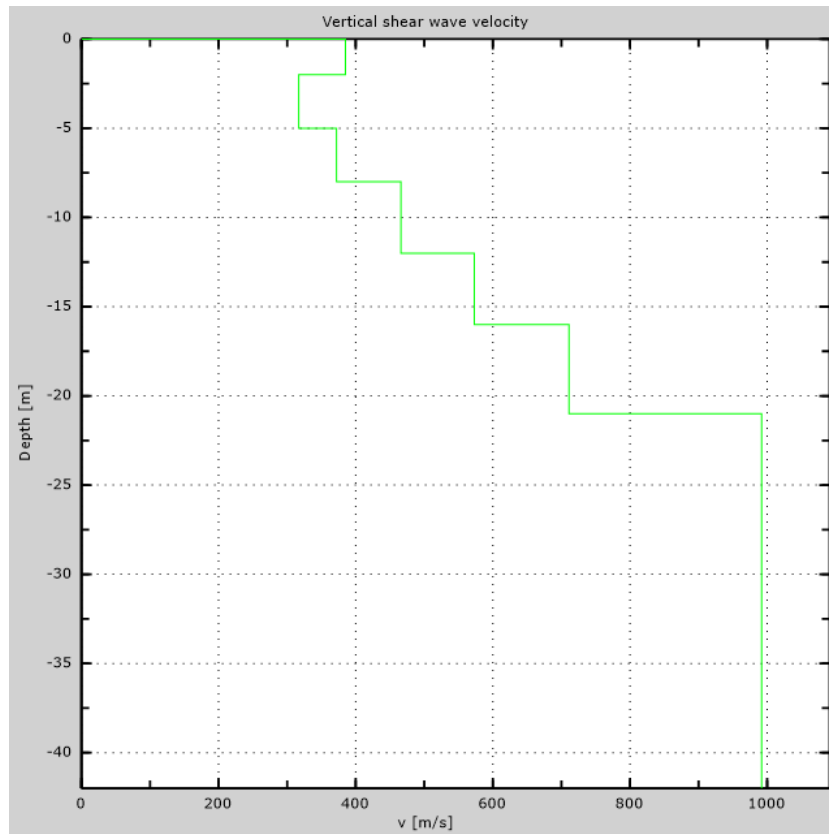


Figura 65 Perfil Vs del perfil 4. Los primeros 20 metros con velocidades entre los 400 - 600 m/s, puede ser material geológico del sitio meteorizado. Más adelante velocidades entre los 1000 m/s, puede ser material conformado por esquistos.



#### LM4.4

En este perfil se obtuvo un  $V_s 30 = 554$ , mediante la clasificación de suelos de la NEC-11, corresponde a un suelo tipo C que consiste en Perfiles de suelos muy densos o roca blanda.

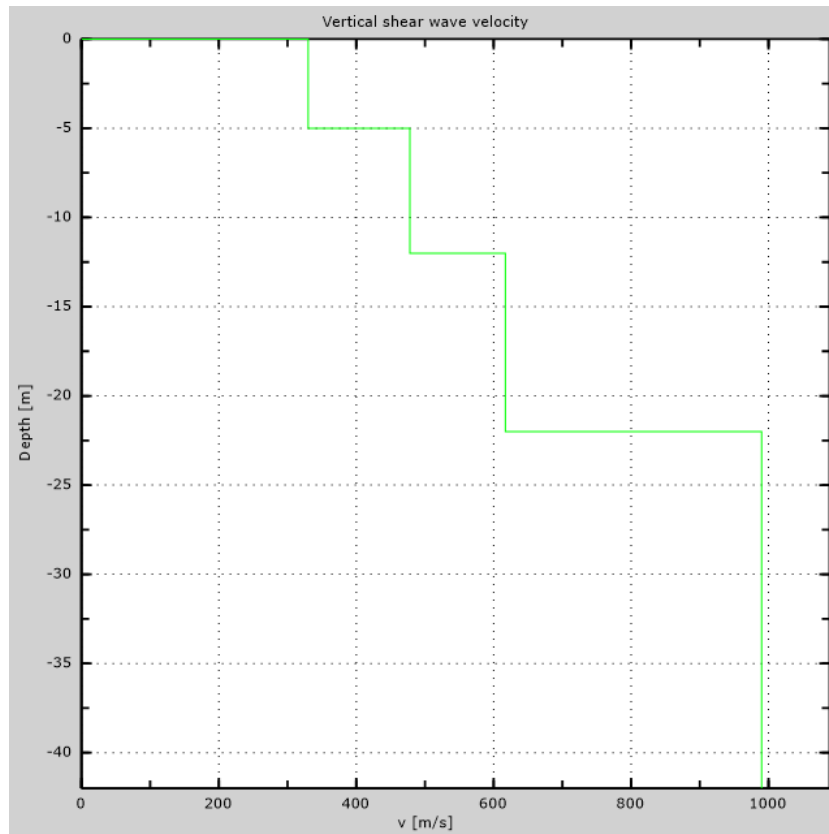


Figura 66 Perfil Vs del perfil 4. Los primeros 20 metros con velocidades entre los 400 - 600 m/s, puede ser material geológico del sitio meteorizado. Más adelante velocidades entre los 1000 m/s, puede ser material conformado por esquistos.

#### **Eléctrica**

Superficialmente se puede distinguir material de resistividades de entre los 250 ohm.m, lo cual puede ser material aluvial poroso, el cual es propenso a infiltraciones, formando un estrato de aproximadamente 6 metros de espesor desde la abscisa 0+390 hasta la 0+440.

Cercana a la abscisa 0+420 podemos observar un valor de alta resistividad superior a los 250 ohm.m, a una profundidad de 3m y un diámetro cercano a los 70 cm, el

Jorge Andrés Arízaga Altamirano  
María Gabriela Ulloa Palacios



cual puede representar una sección con alto contenido de vacíos o espacio hueco, la cual es probable que se conecte al vertedero utilizado para monitoreo de la presa.

Por debajo del estrato antes mencionado podemos observar una zona con resistividades entre los 5 ohm.m el cual, por la geología presente en la zona, se trata de material conformado por esquistos, los cuales poseen un bajo porcentaje de vacíos, aspecto que mejora la conductividad.

En los extremos del perfil podemos apreciar resistividades entre los 250 ohm.m lo cual se trata de material Meta volcánico, el cual se encuentra meteorizado por lo que genera resistividades mayores a los 600 ohm.m

Entre los estratos del material aluvial y el material de esquistos, podemos apreciar resistividades entre los 50 ohm.m lo cual puede representar un flujo de agua, el cual es infiltrado desde la superficie hasta el material conformado por esquistos, debido a que estos no permiten infiltraciones con facilidad.

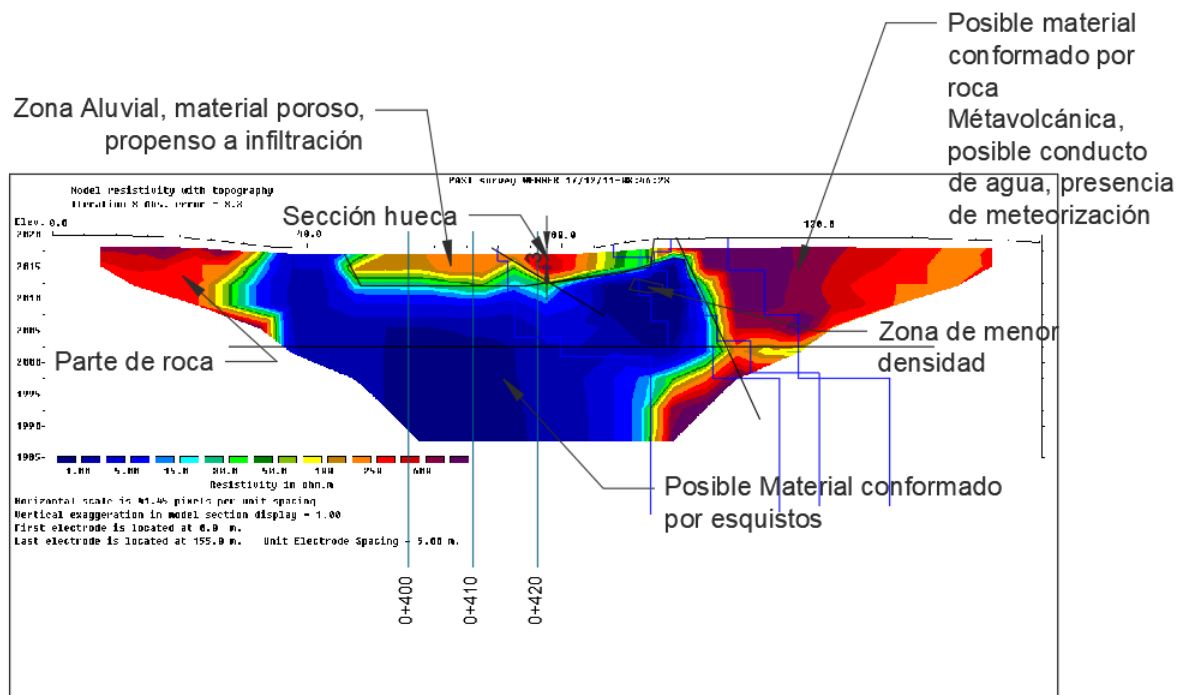


Figura 67 Perfil eléctrico del perfil 4.

La sección hueca interpretada puede deberse a la posición del vertedero de control ubicado en la base de la presa aguas abajo.

### SISMICA

Finalmente, en este perfil se muestran las velocidades sísmicas, las cuales representan una estratigrafía muy clara, en la que se puede relacionar la forma que

toma las curvas de velocidad 1400 cercanas al shot 5, tiene una tendencia similar al del perfil tomográfico de las abscisas 0+450 a 0+460, en las cuales se diferencia el estrato conformado por esquistos y los metavolcánicos meteorizados.

La zona representada en color amarillo y naranja, con velocidades  $V_p$  de 1600 m/s sería roca meteorizada o fracturada, lo que podría corresponder a una zona de infiltración de aguas subterráneas.

Con velocidades superiores a 2400 se encontraría roca sana.

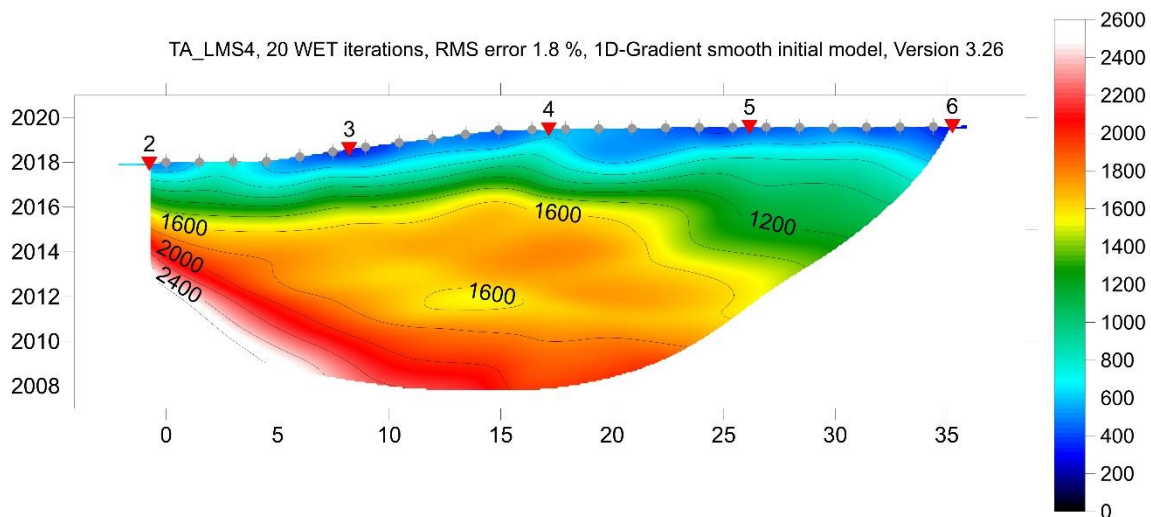


Figura 68 Perfil sísmico del perfil 4.

## Resumen

Los perfiles 1 y 2, presenta un error posiblemente causado por la mala conexión entre electrodos, interferencia de instrumentación, o composición de la estructura.

Los perfiles 5, 6 y 7, presentan características similares del material. Debido a que el perfil 7 posee un error de 8.8% y los otros errores mayores a 20%, podemos concluir que este error se debe a una mala conexión entre los electrodos o al material enrocado, lo cual genera variaciones en la parte superficial.

El perfil 4, presenta un 8.8% de error, lo que significa que tuvo una buena conexión y los datos no presentan variaciones en las lecturas

Los perfiles en los que no se realizaron el método Esac no se alcanza mayor profundidad como en los que si se practicó este método, es por ello que en el perfil 5 que es el que varía a profundidad, no tomaremos en cuenta ese aumento de velocidad, debido a que con la definición del método Esac variaría ese resultado. El perfil 6 que tampoco se hizo Esac, no existe problema debido a que no hay variación de velocidad a profundidad.

### Validación del método, Presa

Si bien es cierto, Cánovas del Castillo expresa en su libro *Tratado básico de Presas* la ventaja de la implementación de una presa de pantalla, en donde el espaldón aguas arriba y abajo es de material filtrante, tal y como es la presa de Mazar, en donde no existe peligro por lavado de finos como en las presas que poseen núcleo.

Como anteriormente se describió, la presa se divide en un espaldón aguas arriba conformado por material enrocado fino y un espaldón aguas abajo conformado por un material enrocado más grueso, los cuales se encuentran separados por un filtro, el cual se encuentra a la derecha del eje de la presa.

La presa en estudio, al ser del tipo de pantalla, es de un material de baja permeabilidad (Hormigón). Los espaldones se encuentran contruidos de material más permeable, lo que facilita la filtración para aminorar o anular las presiones internas, lo cual ayuda a que los espaldones trabajen únicamente como retén de la presa.

Las ubicaciones de los perfiles se encuentran como se muestra en la siguiente figura. Lo que se quiere hacer notar, es el cambio notable en los resultados eléctricos de los perfiles 1 y 2 enfocado al material 3B y las líneas eléctricas de los perfiles 5, 6 y 7 enfocados al material 3C el cual al ser más grueso presenta mayores resistividades en su material predominante.

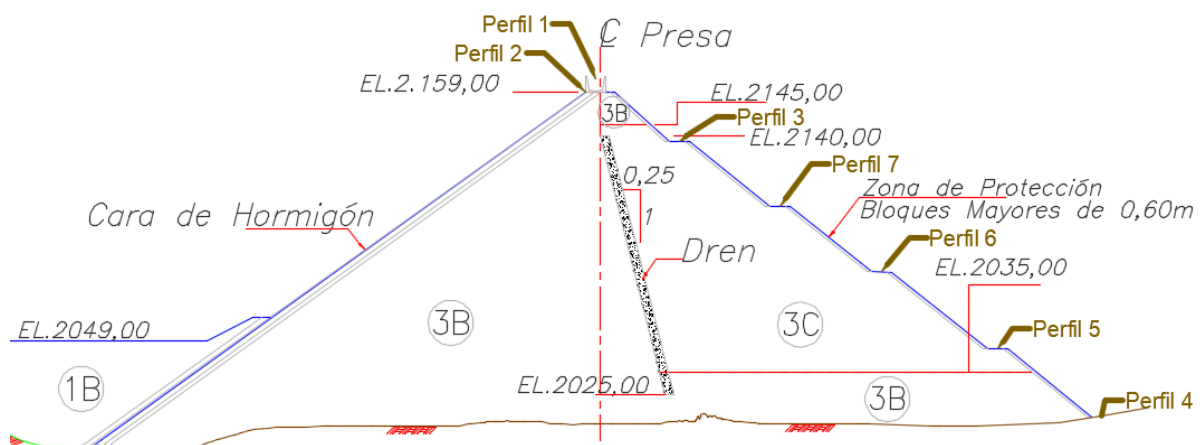


Figura 69 Ubicación de perfiles. Perfiles 1 y 2, en espaldón aguas arriba; Perfiles 3, 5, 6, 7 en espaldón aguas abajo; Perfil 4 en base aguas debajo de la presa.

Es por ello que, mediante los estudios realizados, existe la posibilidad de que se presenten zonas saturadas y se puede interpretar que estos siguen la dirección que se muestra en la siguiente figura.

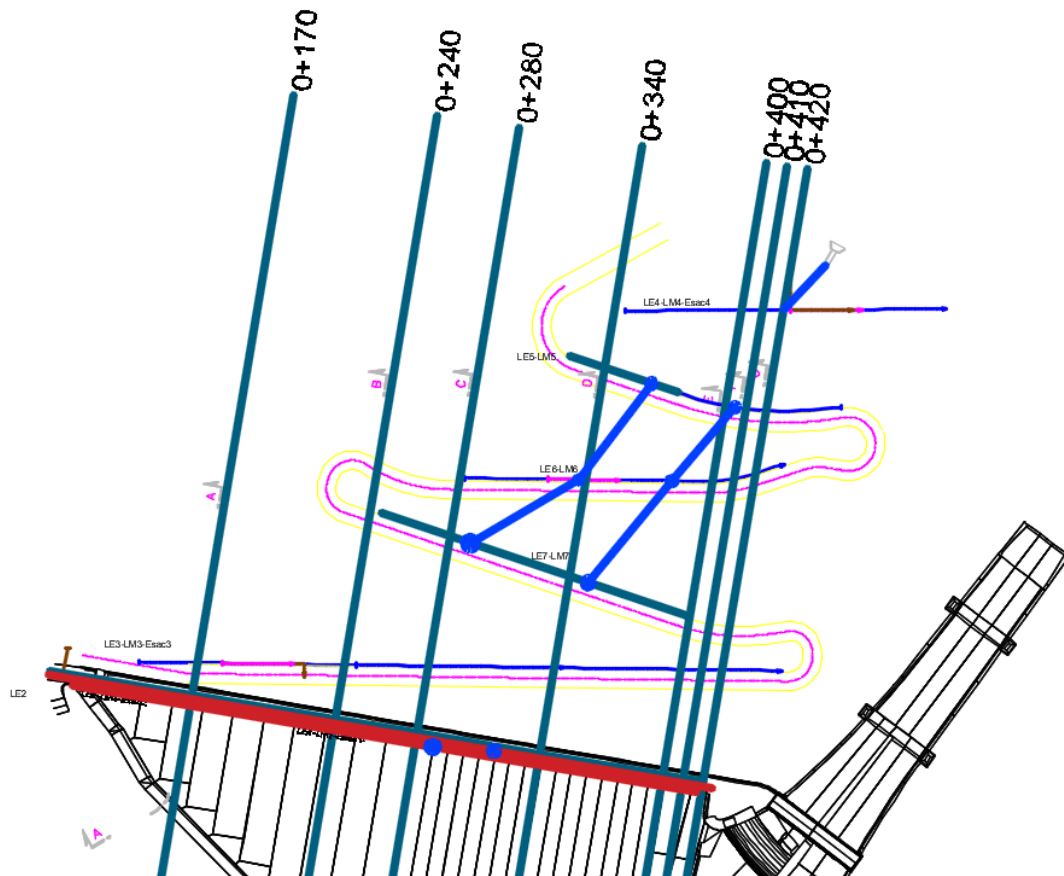


Figura 70 Sentido de flujo en planta. Se unieron las zonas de posibles infiltraciones interpretados en las eléctricas.

De acuerdo a los resultados de la sísmica Masw, los valores de  $V_s$  del material de la presa varían entre espaldón aguas arriba y aguas abajo, siendo cercano a los 730 m/s en el primer caso y de 530 m/s en el segundo, lo que indica que el primer espaldón posee un material con mejores características, o en el caso del material especificado por CELEC, un material menos grueso, el cual presenta menor índice de poros y por ende una mejor compactación, lo cual aumenta las velocidades  $V_s$ . Casi opuesto con el segundo espaldón, el cual posee un material más grueso, lo cual presenta mayor índice de poros, menor compactación y por ende disminución en las velocidades  $V_s$ .



## CONCLUSIONES

- En el presente trabajo de investigación se logró observar los cambios que se producen en la composición del material mediante los ensayos de Resistividad y ensayos MASW realizados en la Presa Hidroeléctrica de Mazar.
- Los resultados de los ensayos de Resistividad realizados, presentan lo siguiente:
  - Las diferentes zonas con posible material saturado, sin embargo, las lecturas tomadas presentan altos errores.
  - Los errores que se presentan tanto en el perfil 1 como en el perfil 2 se deben básicamente a la mala transmisión o conexión obtenida entre la pantalla de la presa y el material interno.
  - Tanto los perfiles 5 y 6, como el perfil 7, tienen una caracterización similar por lo que permiten apreciar que los datos tomados sobre el enrocado son confiables, de igual manera se observa una estratificación coherente con los primeros perfiles, pese a su error.
- Los resultados de los ensayos de MASW realizados, permiten:
  - Comparar con los perfiles de construcción facilitados por la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC), que son fundamentales para la obtención de los perfiles de la roca sana.
  - Contrastar con los resultados de las velocidades  $V_s$ , en las cuales, muestran un comportamiento coherente al que se encuentra construido.
- De acuerdo a estos resultados, se determina que a través de los métodos eléctricos no se obtuvieron resultados óptimos.
- El método MASW sí proporciona resultados positivos, definiendo un buen desempeño sobre la presa en todos los lugares evaluados.
- Se debe evaluar las mediciones del flujo interno, relacionadas con los niveles de embalse y también correlacionar con los perfiles geofísicos de las zonas de posible infiltración.
- Los métodos geofísicos realizados en la presa Mazar, proporcionan resultados que permiten interpretar la posible dirección del flujo y las zonas



de mayor concentración, así como la corroboración de los resultados en función de los perfiles de construcción facilitados por CELEC.

- Con los resultados de los ensayos realizados en la Presa Hidroeléctrica de Mazar, se puede ratificar los perfiles constructivos proporcionados por la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC).
- El ensayo Georadar no fue posible ejecutarlo, debido al difícil acceso a la cara de hormigón ya que se pone en riesgo el equipo.

### **Recomendaciones**

- Mantener un monitoreo constante ya que la Presa de Mazar es una obra de características importantes en el ámbito hidroeléctrico del Ecuador.
- Comprobar que las filtraciones no sean excesivas en función al diseño de la presa.
- Realizar métodos de investigación invasivos, como perforaciones, en las zonas con mayor infiltración para corroborar los resultados obtenidos; así también se puede mejorar el monitoreo constante de la Presa al implantar inclino metros en dichas perforaciones.
- Realizar un monitoreo geofísico para verificar el avance de las zonas filtrantes.
- Parametrizar las características internas de los materiales, tales como: densidad, ángulos de fricción, cohesión, entre otros. Los cuales sirven para realizar un modelo digital del flujo de agua que recorre por la presa en función del nivel de aguas arriba.
- Ubicar el cableado eléctrico pensando en la implementación de ensayos geofísicos, para que de esta manera se optimice la obtención de resultados de diferentes evaluaciones que permita llevar un control del estado interno de la presa.



## BIBLIOGRAFIA

- Arco, E. N. (2003). *Geología del Ecuador*. Guayaquil: Guayaquil.
- Armas Novoa, R. (2002). *CRITERIOS PARA DISEÑAR PRESAS DE TIERRA: PRIORIDAD Y SECUENCIA*. LA HABANA: TALLER NACIONAL SOBRE FALLOS DE PRESAS DE TIERRA. .
- Armas Novoa, R., & Horta Mestas, E. (1987). *PRESAS DE TIERRA*. (P. R. Fonte, Ed.) La Habana, Cuba: ISPJAE.
- Bustillos, J. C. (2015). *Geofísica aplicada a Geotecnia\_Presas*. Obtenido de [http://www.academia.edu/18591278/Geofisica\\_aplicada\\_a\\_Geotecnia\\_Presas](http://www.academia.edu/18591278/Geofisica_aplicada_a_Geotecnia_Presas)
- Cánovas del Castillo, E. V. (1998). *TRATADO BASICO DE PRESAS* (7° edición ed.). Madrid: Garceta.
- Cárdenas Valencia, J. D., & Galvis Garcia, E. (2011). *Manual para la interpretación del perfil de resistividad obtenido al realizar el estudio de la resistividad del suelo a partir de las configuraciones del método de Wenner*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Chelotti, L., Acosta, N., & Foster, M. (2009). *La Biblia de la Geofísica*. Chubut, Argentina: Universidad Nacional de La Patagonia San Juan Bosco.
- Cintas, S. R. (2013). *Estudio y optimización de técnicas basadas en ruido ambiente para la caracterización del terreno: Aplicación en el SE de la Península Ibérica*. Alicante.
- Figuerola, C. (s.f.). *Tratado de Geofísica Aplicada*.
- Figuerola, J. C. (1974). *Tratado de Geofísica Aplicada, 2da Edición*. Madrid: Librería Ciencia - Industria, Madrid.
- Giner, J., & Molina, S. (2001). *Sismicidad y riesgo sísmico en la C.A.V. España*: Editorial Club Universitario.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- GUARACHI, F. A. (2013). *APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS BASADOS EN ONDAS SUPERFICIALES PARA LA CARACTERIZACIÓN SÍSMICA DE SUELOS. APLICACIÓN A LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL NORTE Y PONIENTE DE SANTIAGO*. Santiago, Chile: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE.
- GUARACHI, F. A. (2013). *APLICACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS BASADOS EN ONDAS SUPERFICIALES PARA LA CARACTERIZACIÓN SÍSMICA DE*
- Jorge Andrés Arízaga Altamirano  
María Gabriela Ulloa Palacios



*SUELOS. APLICACIÓN A LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL NORTE Y PONIENTE DE SANTIAGO.* Santiago de Chile.

Hidalgo, A. A., Loke, M. H., Fanton, G. O., & Rubí, E. C. (4 de Abril de 2006). *TÉCNICAS PRÁCTICAS PARA INVESTIGACION DE RESISTIVIDAD EN DOS Y TRES DIMENSIONES (TOMOGRFÍA ELECTRICA 2D y 3D).* Obtenido de Geotomo software: <https://www.geotomosoftware.com/Articulo.pdf>

Martínez Pagán, P., Aracil Ávila, E., & Faz Cano, Á. (1992). *Técnicas geoelectricas para la deteccion y monitorización de filtraciones en embalses.* *inGEOpres*, 28-30. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Enrique\\_Aracil/publication/277233349\\_Tecnicas\\_geoelectricas\\_para\\_la\\_deteccion\\_y\\_monitorizacion\\_de\\_filtraciones\\_en\\_embalses/links/575931d008ae9a9c954b392c/Tecnicas-geoelectricas-para-la-deteccion-y-monitorizacion-de-fil](https://www.researchgate.net/profile/Enrique_Aracil/publication/277233349_Tecnicas_geoelectricas_para_la_deteccion_y_monitorizacion_de_filtraciones_en_embalses/links/575931d008ae9a9c954b392c/Tecnicas-geoelectricas-para-la-deteccion-y-monitorizacion-de-fil)

Medina Galarza, C. A. (Enero de 2012). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.* Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/5145>

NEC-2015, N. E. (2014). *Peligro Sismico, Diseño sismo resistente.* Ecuador: Direccion de Comunicacion Social, MIDUVI.

Murillo, L. A. (2016). *Métodos de prospección Geofísica aplicados a la investigación geotécnica para el estudio del recrecimiento de una presa de relaves en el distrito de Oyolo.* Perú-Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2808>

Norma ecuatoriana de la construcción 2015. (NEC-15)

Park, C., D. Miller, R., & Xia, J. (Mayo de 1997). *Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW) "A summary report of technical aspects, experimental results, and perspective".* *ResearchGate*, 24. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/251803178\\_Multichannel\\_analysis\\_of\\_surface\\_waves\\_MASW](https://www.researchgate.net/publication/251803178_Multichannel_analysis_of_surface_waves_MASW)

Reynolds, J. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics* Wiley.

Rivera Zeta, M. A., Piedra Rubio, R., & Paripanca Garcia, Y. (2016). *Ensayos Geofísicos de Refracción Sísmica y de Medición de Ondas de Corte (MASW y MAM) para usos de cimentación en obras de edificaciones.* *Revista CIVILIZATE* N° 8, 55.

Roma, V. (2013). *MASW-REMI-ESAC-HVSR for the Geotechnical Seismic Characterization of the Ground.* *Roma e Associati Srl (www.masw.it)*, 10.

Jorge Andrés Arízaga Altamirano  
María Gabriela Ulloa Palacios





Uvidia, J. A. (2015). *COMPORTAMIENTO DE LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS SUELOS ANTE VARIACIONES DE HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACIÓN*. Cuenca.

V, R., C, T., & H, K. (2011 de Octubre de 2011). *Seismic Geotechnical Site Characterization by MASW-REMI Method: Importance of Higher Modes of Rayleigh Waves*. Budapest, Hungary.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## ANEXOS

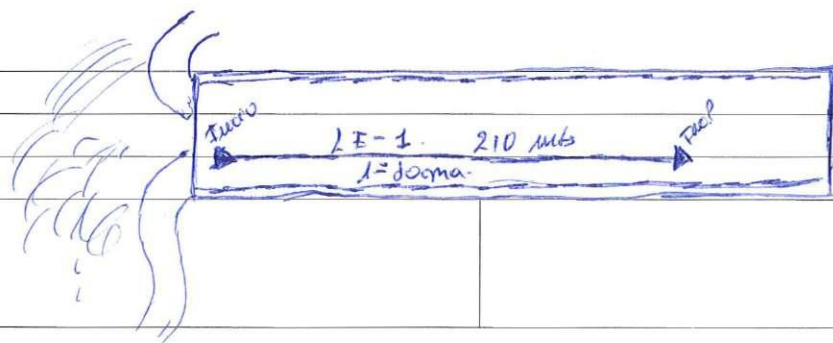
Levantamiento de la información en campo

LE-1. 1<sup>o</sup> Joma UTA (LE-1.1)

OPERADOR	AL		
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Filtraciones Muro Parapeto CUA.		
UBICACIÓN	Represa. Hozar.		
FECHA	31-08-2016		
HORA DE INICIO	15:15 PM.		
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/>	Eléctrica <input checked="" type="checkbox"/>	Masw <input type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	17M(0764089) 9712886 UTM	Punto 459	GARHU GPS.map.62 sc.
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	17M(0764290) 9712850 UTM.	Punto 460	
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA ( EJEM. E - O o N - S)	O - E.	LE-1 - 210 mts	
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	5 mts		
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	43 Electrodo	1 <sup>o</sup> Joma	
LONGITUD DE LÍNEA	210 mts		
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	-		
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	-		
NOMBRE DE ARCHIVO	M2-LE1		
HORA DE TERMINACIÓN	17:07 H.		
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio			

OBSERVACIONES

Equipo #2  
Georradar #2



Linea 210 mts 43 Electrodo 250 Equipa.  
287 lecturas. Wuuus.

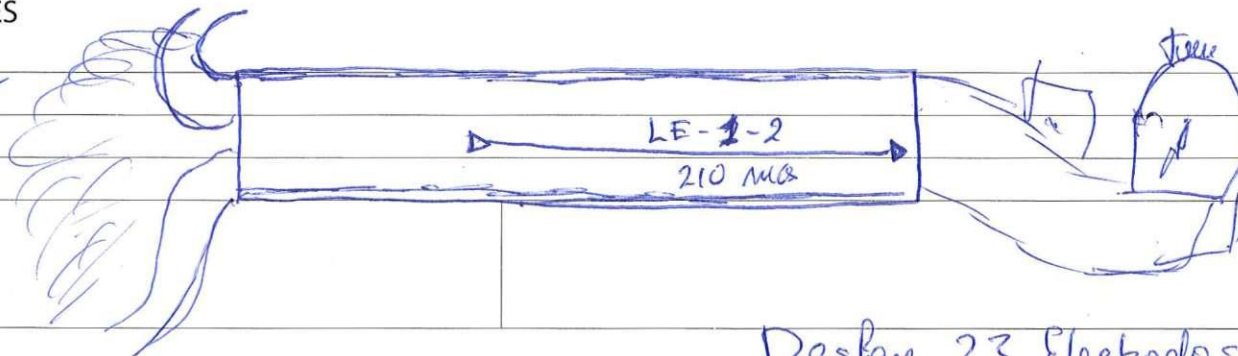
ESQUEMA

LE-1-2 U/A (LE-1.2)

OPERADOR	AL			
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Filtraciones Muro Parapeto			
UBICACIÓN	Represa Hazar-			
FECHA	31-08-2016			
HORA DE INICIO	17:50 PM			
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/>	Eléctrica <input checked="" type="checkbox"/>	Masw <input type="checkbox"/>	SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	17M (0764198)	9712869	UTM	Punto 461 Garmin GPS map 62sc
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	17M (0764405)	9712833	UTM	
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E-O o N-S)	O-E			LE-1-2. 210 mts
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	5 mts			2 <sup>o</sup> Joma
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	43 Electrodo			
LONGITUD DE LÍNEA	210 mts			
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	-			
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	-			
NOMBRE DE ARCHIVO	M2-1E-2-1			
HORA DE TERMINACIÓN	19:30 PM			
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio				

OBSERVACIONES

Equipo #2  
Cableado #2



Linea 210 mts 43 Electrodo  
287 lecturas 250 Cierres  
Wmms

ESQUEMA

Desfoc. 23 Electrodo

Tejida Electrodo #24 de la 1E-1.

LE-2 - PASARELA. (LE-2.1)

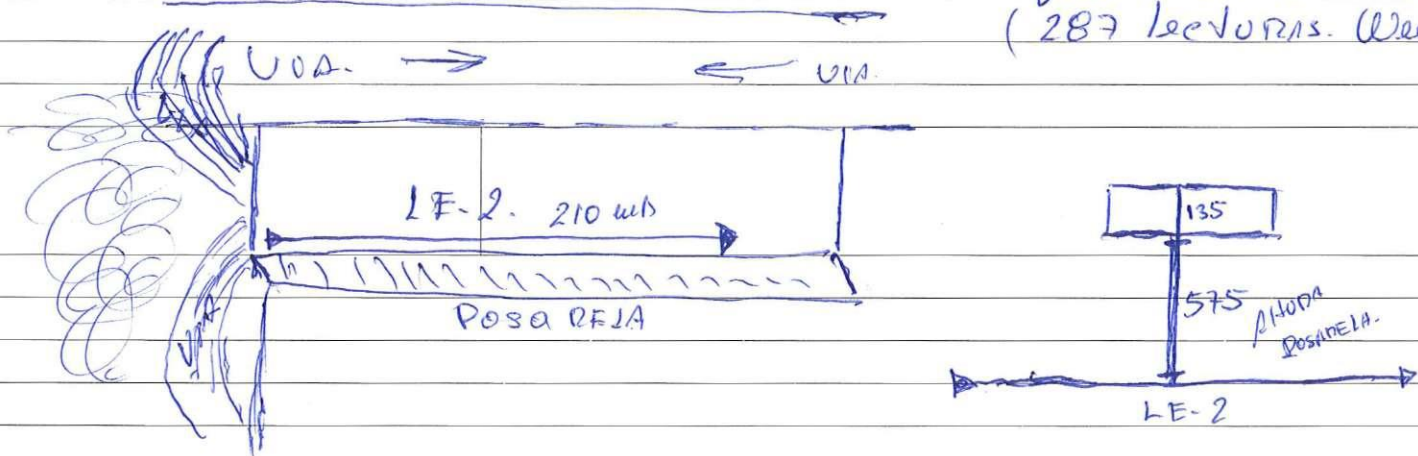
OPERADOR	AL		
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Filtraciones. Muro Parapeto - PASARELA.		
UBICACIÓN	Represa. HAZAR.		
FECHA	8-09-2016		
HORA DE INICIO	12:30 PM		
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/>	Eléctrica <input checked="" type="checkbox"/>	Masw <input type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	17M (0764097)	9712761	UTM
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	17M (0764293)	9712702	UTM
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA ( EJEM. E - O o N - S)	O - E -		LE-2 - 210 mts
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	5 mts		
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	43 Electroodos		1 <sup>o</sup> toma
LONGITUD DE LÍNEA	210 mts		
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	-		
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	-		
NOMBRE DE ARCHIVO	M7-LE-2.		
HORA DE TERMINACIÓN	14:15 PM		
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio			

OBSERVACIONES

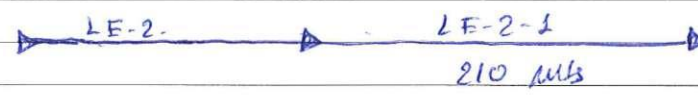
Equipo # 2  
Geofonos # 2

Linea 210 mts 43 Electroodos 250 Energía  
( 287 ledoras. (Watts) )

ESQUEMA



LE-2-1 POSARELA.

OPERADOR	A2	(LE-2.2)
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Filtraciones Muro Parapeto - POSARELA.	
UBICACIÓN	Represa - MAZAR.	
FECHA	1-09-2016	
HORA DE INICIO	14:55 PM	
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/>	Eléctrica <input checked="" type="checkbox"/> Masw <input type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	17M (0764192)	9712871 UTM
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	17M (0764399)	9712831 UTM
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA ( EJEM. E - O o N - S)		LE-2-1 - 210mts
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	5 mts	
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	43 Electrodo	
LONGITUD DE LÍNEA	210 mts	2° Joma
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	-	
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	-	
NOMBRE DE ARCHIVO	M-2-2E2-1	
HORA DE TERMINACIÓN	16:40 PM	
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio		
OBSERVACIONES	<p>Equipo #2 Cableado #2</p>  <p>Este línea inicia Electrodo #20 LE-2 Despues. 19 Electrodo.</p>	
ESQUEMA	<p>Línea 210 mts. 43 Electrodo. 287 metros 250 Energía Watts.</p>	

LF-3-1- VIA SALIDA- Parte inferior

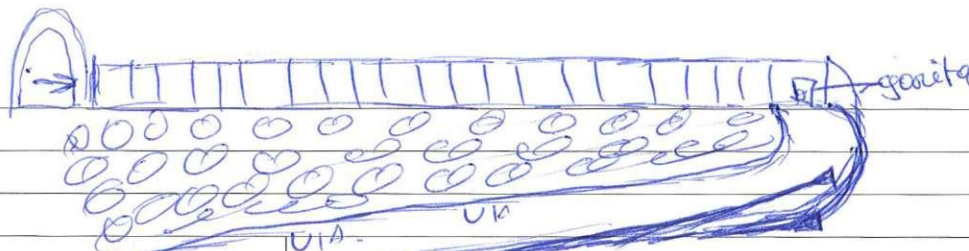
Presa. (LE-3)

OPERADOR	AL.
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Muro Presa Mazar.
UBICACIÓN	DAMUSA- MAZAR-
FECHA	8-08-2017
HORA DE INICIO	10:25 AM
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/> Eléctrica <input checked="" type="checkbox"/> Masw <input type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	278
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	LF-3-1 MAZAR.
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA ( EJEM. E - O o N - S)	Oeste Este
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	5 mts 210 mts.
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	42 ElectrodoS
LONGITUD DE LÍNEA	280 mts
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	-
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	-
NOMBRE DE ARCHIVO	EM-LE-3-1
HORA DE TERMINACIÓN	12:19 PM
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio	Jesús Andrés Arizaga ojo ElectrodoS del 1 al 7 se ubican Sobre Hormigon.

OBSERVACIONES

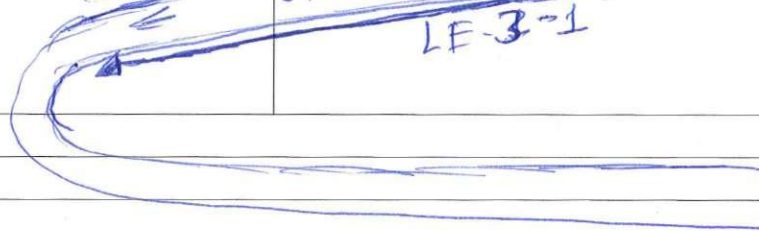
Equipo # 2

Geofonador # 1



ElectrodoS del 8 - al 42 se ubican  
en Muro inferior. borde ver.  
FOTOS.

ESQUEMA




Linea 210 mts. 273 lecturas 250 ElectrodoS

(WEEKS)



LE-3-2 - Mazariu (No)

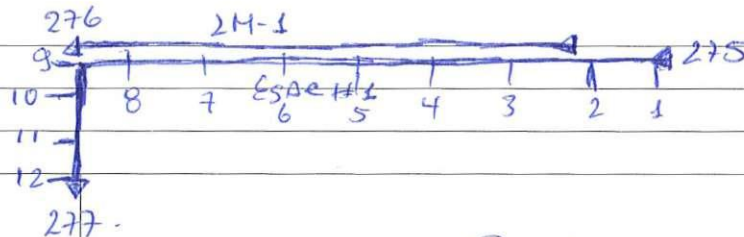
OPERADOR	A1-		
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Muro		
UBICACIÓN	Presa Mazariu		
FECHA	8-08-2017		
HORA DE INICIO			
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/>	Eléctrica <input checked="" type="checkbox"/>	Masw <input type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	—		
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	279	LE-3-2 Mazariu	
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E-O o N-S)	Oeste - Este.		
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	5 mts	210 mts	
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	42 Electrodo		
LONGITUD DE LÍNEA	280 mts	Desis Andres Arizaga	
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	-		
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	-		
NOMBRE DE ARCHIVO	FH-LE3-2		
HORA DE TERMINACIÓN			
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio	 <p>Ojo Electrodo del 1 al 42 se ubican Borde Inferior de la CIA.</p>		
OBSERVACIONES	<p>Equipo #2 Cargador #1</p> <p>Esta línea es la continuación de la LE-3-1. despce. 21 Electrodo Inicio de línea Electrodo # 22 - LE-3-2</p> <p>(Despce. 21 Electrodo)</p>		
ESQUEMA	<p>Inicio geofono → LE-3-1 → LE-3-2 → Final curva.</p> <p>ver fotos.</p>		

Esae. #1. Muro Perapeto

OPERADOR	Al.
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Muro perapeto
UBICACIÓN	Represa Mazur
FECHA	8-08-2017
HORA DE INICIO	11:55 AM
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/> Eléctrica <input type="checkbox"/> Masw <input type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/> Esae. #1
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	275-276
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	277
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E-O o N-S)	
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	geofonos del 1 al 9 - 5mts geofonos (10-11-12) - 2mts
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	12 geofonos
LONGITUD DE LÍNEA	46 mts
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	-
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	-
NOMBRE DE ARCHIVO	EM-ES-1
HORA DE TERMINACIÓN	12:25 PM
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio	Ver sobre la vía de Hormigón

OBSERVACIONES

Equipo #1



(Angulo geofono #9.)

ESQUEMA

Esta línea sigue la misma dirección de la 2M-1

Angulo geofono #24

geofonos del 1 al 9 - se ubican a 5 mts geofonos 10-11-12. creaza la vía a 2 mts

LM-1. Muro Parapeto

OPERADOR	AL		
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Muro Parapeto +		
UBICACIÓN	Represa Mazar		
FECHA	8-08-2017		
HORA DE INICIO	11:15 AM		
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/>	Eléctrica <input type="checkbox"/>	Masw <input checked="" type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	1-261 268 2-261 269 3-261 270 4-261 271		
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	5-261 272 6-261 273 7-261 274		
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E-O o N-S)	Oeste - Este. LM-1. sobre Muro parapeto Represa Mazar		
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	1,50 mts		
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	24 geofonos	36 mts	
LONGITUD DE LÍNEA	36 mts	Jesús Juárez (Juárez)	
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	10 mts		
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	0,75 ce.	ojo el 1-261 se repite 2 veces	
NOMBRE DE ARCHIVO	FH-LM-1		
HORA DE TERMINACIÓN	11:40 AM		
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio			
OBSERVACIONES	<p>Este linea se obica sobre muro en la via Margen Izquiedo de la via</p> <p>Ver fotografias</p>		
ESQUEMA	<p>Jo mas Dani = 6</p> <p>Linea sobre la via de Hormigon</p>		

ESAE-2.

OPERADOR	DL			
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Muro Parapeto			
UBICACIÓN	Represa- Hozar			
FECHA	8-08-2017			
HORA DE INICIO	15:10 PM			
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/>	Eléctrica <input type="checkbox"/>	Masw <input type="checkbox"/>	SEV <input type="checkbox"/> ESAE-#2
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	288-289			
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	290			45 mts
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E-O o N-S)				
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	geofonos 1-a 5 a 3 mts geofonos 6 al 12. a 5 mts			
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	12 geofonos			
LONGITUD DE LÍNEA	75 mts			
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	-			
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	-			
NOMBRE DE ARCHIVO	FH-ES-2			
HORA DE TERMINACIÓN	15:44 PM			
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio				

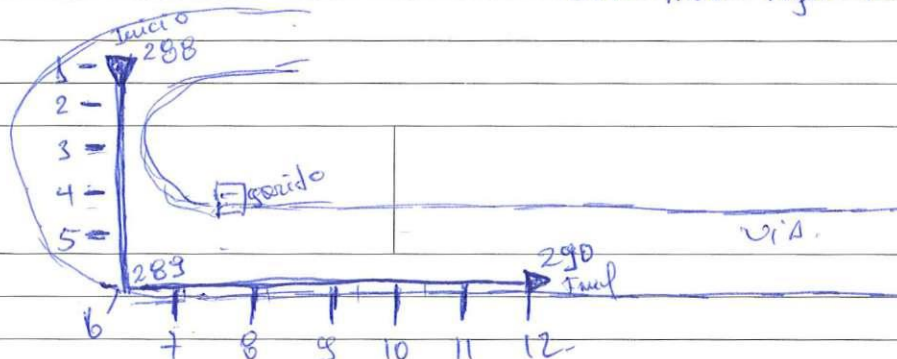
OBSERVACIONES

Equipo #1

Esta línea sigue la misma dirección 2H-2 ~~cerca geofono #1~~

~~Angulo geofono #1 2H-2~~

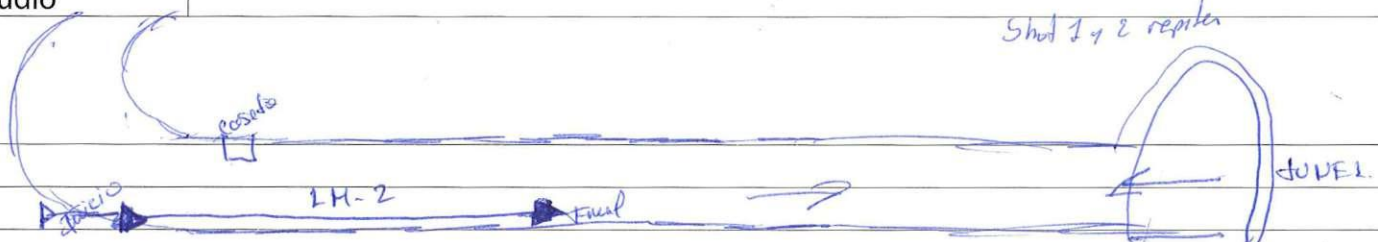
ESQUEMA



Esta línea da el Angulo 8 mts atrás del geofono #1 2H-2  
Final geofono #16 2H-2.

Angulo geofono #6

LH-2.

OPERADOR	AL.		
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Muro Parapeto		
UBICACIÓN	Represa. Mozariz.		
FECHA	8-08-2017		
HORA DE INICIO	14:15 PM		
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/>	Eléctrica <input type="checkbox"/>	Masw <input checked="" type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	1-2lot 281 2-2lot 282 3-2lot 283 4-2lot 284		
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	5-2lot 285 6-2lot 286 7-2lot 287		LH-2 - sobre Muro Parapeto
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E - O o N - S)	Oeste: Este.		
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	1.50 mts		36 mts
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	24 geofonos		
LONGITUD DE LÍNEA	36 mts		
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	10 mts	Jenis. Andres Parzaga	
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	0,75 ec.		
NOMBRE DE ARCHIVO	ET-A-LH-2		
HORA DE TERMINACIÓN	14:41 PM	Jomas Reu = 6	
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio			
OBSERVACIONES			
ESQUEMA	<p>Linea 36 mts esta ma se ubica Morgen izquierdo Muro con direccion hacia el JUVEL.</p> <p>Linea sobre un Hormigon</p>		

Espe. #3. Muro Drapedo

OPERADOR	AL.
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Muro Drapedo
UBICACIÓN	Presa Mazur
FECHA	8-08-2017.
HORA DE INICIO	17:00PM
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/> Eléctrica <input type="checkbox"/> Masw <input type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/> Espe. #3
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	299 - 300
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	301 <span style="float: right;">46 mts</span>
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E - O o N - S)	
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	geofonos del 1-al 9 a 5 mts - geofonos del 10-al 12 a 2 mts
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	12 geofonos
LONGITUD DE LÍNEA	46 mts
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	-
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	- <span style="float: right;">Jesús Andrés Arizaga</span>
NOMBRE DE ARCHIVO	FM-ES-3
HORA DE TERMINACIÓN	17:25. <span style="float: right;">10 + 10 = 20</span>
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio	

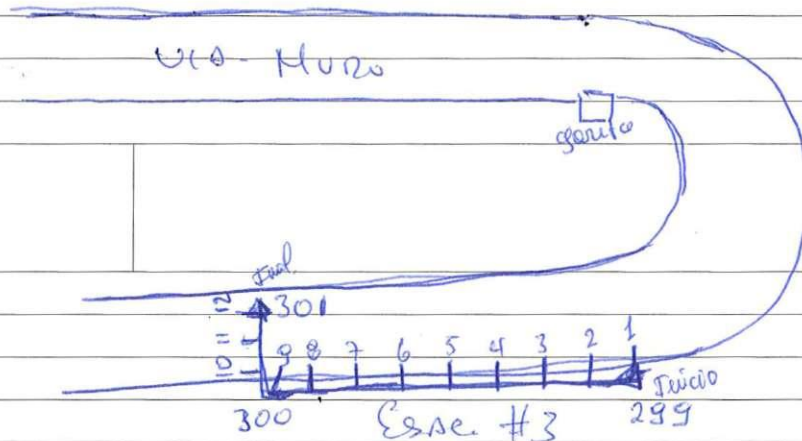
OBSERVACIONES

Equipo #1

Esto linea inicia geofono #1 2M-3

Angulo geofono #9

ESQUEMA

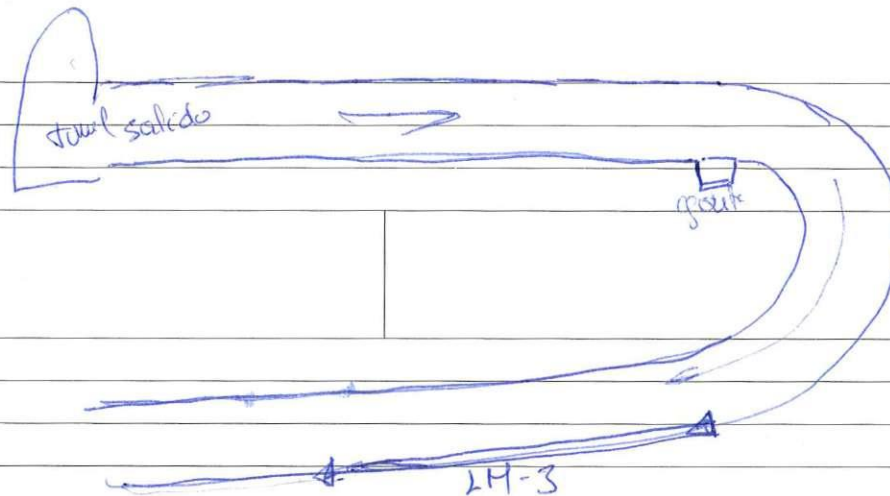


LM-3

OPERADOR	AL		
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Muro Porapeto		
UBICACIÓN	Represa Hazar.		
FECHA	8-08-2017		
HORA DE INICIO	16:12 PM		
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/>	Eléctrica <input type="checkbox"/>	Masw <input checked="" type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	1-2lot 292 2-2lot 293 3-2lot 294 4-2lot 295		
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	5-2lot 296 6-2lot 297 7-2lot 298		LM-3 Hazar
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E - O o N - S)	Oeste - Este.		
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	1.50 mts	36 mts	
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	24 geofonos		
LONGITUD DE LÍNEA	36 mts		
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	10 mts	Jesús Andrés Arizaga	
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	0,75 cc.	ojd se repite el 3-2lot 2 veces	
NOMBRE DE ARCHIVO	EM-2M-3		
HORA DE TERMINACIÓN	16:45 PM		
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio			

OBSERVACIONES

Equipo #1



En línea inicia Electrodo #9 LE-3

línea 36 mts. 7-2lots con geof. Parbo

ESQUEMA

40 mas Peri = 6

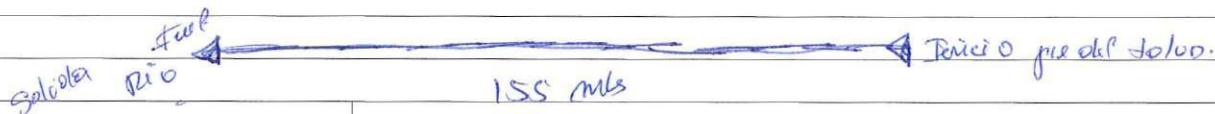
(LE-4)

LE-1-A. Piedra Huevo Perapeto

OPERADOR	A).		
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Huevo Perapeto		
UBICACIÓN	Represa Hajar-Guorunales		
FECHA	11-12-2017		
HORA DE INICIO	9:45 AM		
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/>	Eléctrica <input checked="" type="checkbox"/>	Masw <input type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	726		
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	727		LE-1-A.
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E-O o N-S)	Oeste-Este.		
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	5 mts	155 mts	
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	32 Electrodo		
LONGITUD DE LÍNEA	155 mts	Jesús. Andrés Arizaga.	
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	-		
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	-		
NOMBRE DE ARCHIVO	EM-LE1-A.		
HORA DE TERMINACIÓN	10:40 AM		
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio			

OBSERVACIONES

Equipo #2  
Geofonos #1



ESQUEMA

Linea 155 mts 32 Electrodo 155 lecturas

250 Energía Geomorf. Weners.

Esta línea

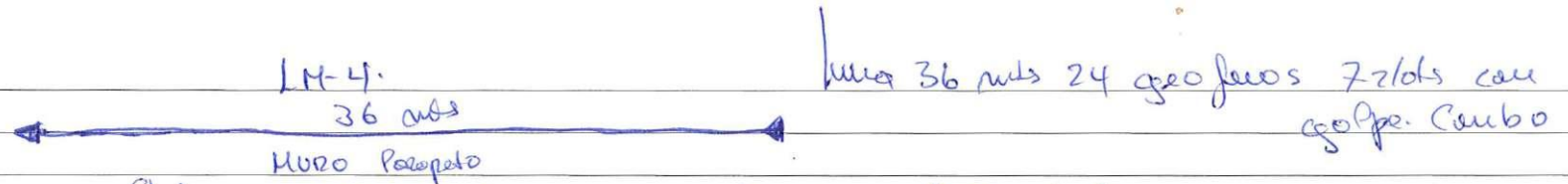


LM-4. Muro Parapeto

OPERADOR	AL.		
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Muro Parapeto		
UBICACIÓN	Represa. Mazin. - Guarumales		
FECHA	11-12-2017.		
HORA DE INICIO	10:50 AM		
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/>	Eléctrica <input type="checkbox"/>	Masw <input checked="" type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	1-2lot 728 2-2lot 729 3-2lot 730 4-2lot 731		
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	5-2lot 732 6-2lot 733 7-2lot 734		LM-4. Muro Parapeto
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E-O o N-S)	Oeste-Este.		
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	1.50 mts	36 mts	
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	24 geofonos		
LONGITUD DE LÍNEA	36 mts	Represa Mazin.	
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	10 mts	OR.	
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	0.75 cc.	Tests Avances Antígua	
NOMBRE DE ARCHIVO	EM-LM-4		
HORA DE TERMINACIÓN	11:15 AM		
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio	termas Peñi = 6		

OBSERVACIONES

Equipo #2

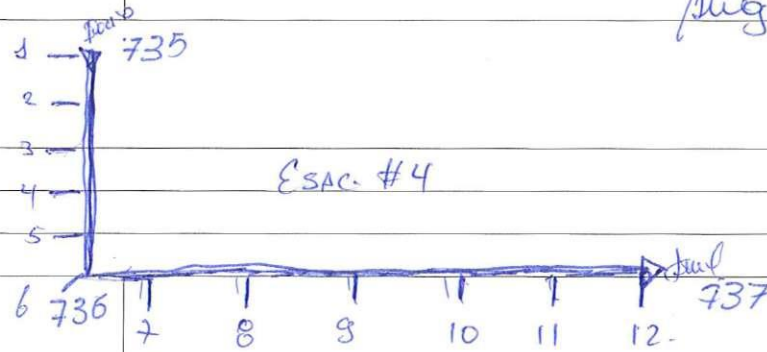


Esta línea se obtiene en la misma dirección LE-1-A.

ESQUEMA

ojo Esta línea se inicio. Electrodo #17. LE-1A- final. Electrodo #24 (ojo)

ESAC. #4. Muro Parapeto

OPERADOR	AL		
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Muro Parapeto		
UBICACIÓN	<del>Represa Hacia</del> - Represa Hacia - Guadalupe		
FECHA	11-12-2017		
HORA DE INICIO	11:25 AM		
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/>	Eléctrica <input type="checkbox"/>	Masw <input type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/> ESAC. #4
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	735 - 736		
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	737		
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E - O o N - S)	Muro Parapeto		
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	5 mts		
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	12 geofonos		
LONGITUD DE LÍNEA	60 mts		
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	-		
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	-		
NOMBRE DE ARCHIVO	B.EH-ES-4		
HORA DE TERMINACIÓN	11:55 AM		
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio	Angulo geofono #6		
OBSERVACIONES	<p>Equipo #2 - ojo geofonos del 1 al 6 Se ubicaron a 4 mts</p>  <p>ESAC. #4</p>		
ESQUEMA	<p>Angulo geofono #1. LM-4.</p> <p>Angulo geofono #6 - ojo</p>		

(LE-5)

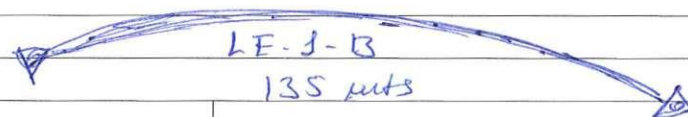
LF-1-B - Muro Pozapato

OPERADOR	A)			
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Muro Pozapato			
UBICACIÓN	Hazar - Guarumales			
FECHA	11-12-2017			
HORA DE INICIO	12:25 PM			
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/>	Eléctrica <input checked="" type="checkbox"/>	Masw <input type="checkbox"/>	SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	738			
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	739			LF-1-B - Muro Pozapato
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E-O o N-S)	Este-Oeste			Hazar.
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	5 mts			
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	28 Electrodo		135 mts	
LONGITUD DE LÍNEA	135 mts			
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	-			
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	-			
NOMBRE DE ARCHIVO	EH-1E-1B			Josie Andrea Arzago
HORA DE TERMINACIÓN	13:10 PM			
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio				

OBSERVACIONES

Equipo #2  
Electrodo #1

Muro semi curva - borde inferior de la via.



ESQUEMA

Muro 135 mts 28 Electrodo 200 Energía conect.

117. Reforzas Muros.

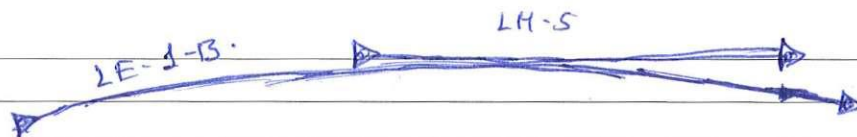
(Muro sobre Muro Piedra)

LH-5- Murzo Poropeto

OPERADOR	AL		
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Murzo Poropeto		
UBICACIÓN	Represa. Mazur- Guarumales		
FECHA	11-12-2017		
HORA DE INICIO	13:20 PM		
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/>	Eléctrica <input type="checkbox"/>	Masw <input checked="" type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	1-201 740 2-201 741 3-201 742 4-201 743		
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	5-201 744 6-201 745 7-201 746		LH-5 Murzo Poropeto
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA ( EJEM. E - O o N - S)	Este - Oeste.		
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	1,50 mts	36 mts	
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	24 geofonos		
LONGITUD DE LÍNEA	36 mts		
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	10 mts	Jesús Andrés Arzaga	
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	0,75 mts		
NOMBRE DE ARCHIVO	EM-LH-5		
HORA DE TERMINACIÓN	13:40 PM		
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio	Joaquín Perri. G.		

OBSERVACIONES

Equipo #2

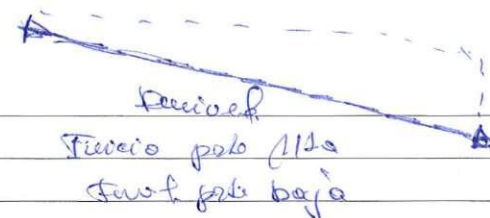


línea 36 mts. 24 geofonos  
7 201s con golpe combo

ESQUEMA

ojo Esta línea se ubica junto a la LE-1-B.

Inicio Electrodo #17. Final 24.



( ojo línea con desnivel. )

(LE-6) LE-1-C. Muro Poyapeto

OPERADOR	DL
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Muro Poyapeto
UBICACIÓN	Represa Hazán - Guarumales
FECHA	11-12-2017
HORA DE INICIO	14:10 PM
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/> Eléctrica <input checked="" type="checkbox"/> Masw <input type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	747
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	748
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E - O o N - S)	Oeste. Este
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	5 mts
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	32 ElectrodoS
LONGITUD DE LÍNEA	155 mts
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	-
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	-
NOMBRE DE ARCHIVO	EM-LE1-C.
HORA DE TERMINACIÓN	15:00 PM
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio	

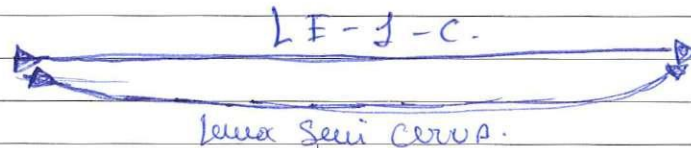
LE-1-C - Muro Poyapeto

155 mts

Jessy Quirós Arizaga

OBSERVACIONES

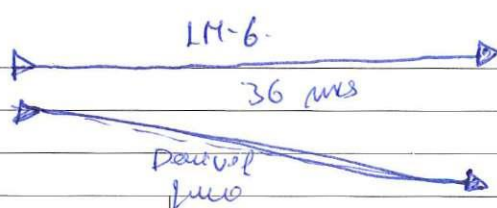
Equipo #2  
Geofono #1



Línea 155 mts 32 ElectrodoS 155 lecturas  
200 Energía Corrient. Wiers.

ESQUEMA  
155 mts

LH-6. Muro Parapeto

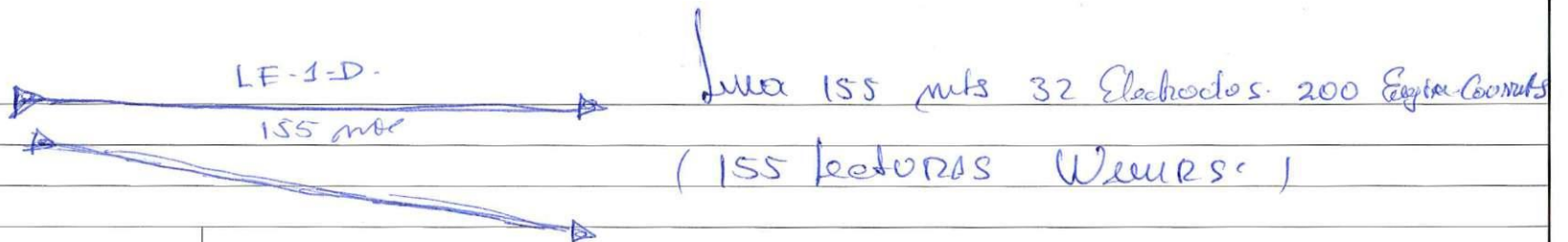
OPERADOR	A2
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Muro Parapeto
UBICACIÓN	Represa HAZAR. BUARUMALES
FECHA	11-12-2017-
HORA DE INICIO	15:05 PM
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/> Eléctrica <input type="checkbox"/> Masw <input checked="" type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	1-2lot 749 2-2lot 750 3-2lot 751 4-2lot 752
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	5-2lot 753 6-2lot 754 7-2lot 755
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E-O o N-S)	Oeste - Este
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	1.50 mts <span style="float: right;">36 mts</span>
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	24 geofonos
LONGITUD DE LÍNEA	36 mts
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	10 mts
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	0.75 ce.
NOMBRE DE ARCHIVO	EM-LH-6
HORA DE TERMINACIÓN	15:28 PM
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio	(Ojo Señales con Ruido)
OBSERVACIONES	<p>Equipo #2</p>  <p style="text-align: right;">Línea 36 mts. 24 geofonos 7 2lots con golpe caudo</p>
ESQUEMA	<p>Esto línea inicia Electrodo # 9 LE-1-C final Electrodo 16</p> <p>geofono #1 - Electrodo 8 final geofono #24 Electrodo # 16</p> <p>Esto línea sigue la misma dirección de la LE-1-C top</p>

(LE-7) LE-1-D - Muro Parapeto

OPERADOR	AL
NOMBRE DEL PROYECTO	Estudio Muro Parapeto
UBICACIÓN	Represa Masar - GUARDUAYAS
FECHA	11-12-2017
HORA DE INICIO	15:50 PM.
LÍNEA GEOFÍSICA	Sísmica <input type="checkbox"/> Eléctrica <input type="checkbox"/> Masw <input type="checkbox"/> SEV <input type="checkbox"/>
COORDENADA DE INICIO DE LÍNEA	756
COORDENADA DE FIN DE LÍNEA	757
DIRECCIÓN DE LA LÍNEA (EJEM. E - O o N - S)	LE-1-D 155 mts
ESPACIAMIENTO ENTRE GEÓFONOS/ELECTRODOS	5 mts
NÚMERO TOTAL DE GEÓFONOS/ELECTRODOS	32 Electrodo s
LONGITUD DE LÍNEA	155 mts
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT EXTERNO	-
DISTANCIA DEL GEÓFONO 1 A SHOT 2 INICIAL	-
NOMBRE DE ARCHIVO	EM-LE-1-D
HORA DE TERMINACIÓN	16:48 PM.
FOTOS: Instalación, equipo, zona de estudio	

OBSERVACIONES

Equipo #2  
Geofonos #1



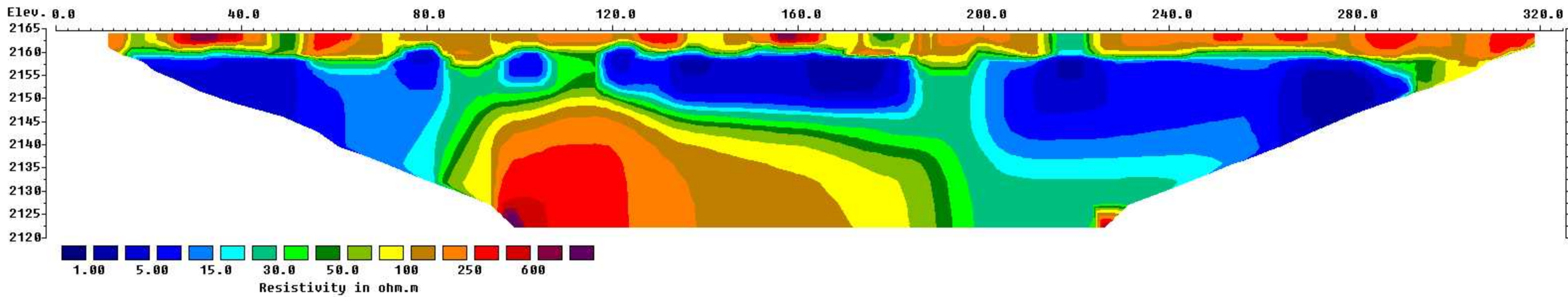
ESQUEMA

## Resultados de Tomografía Eléctrica



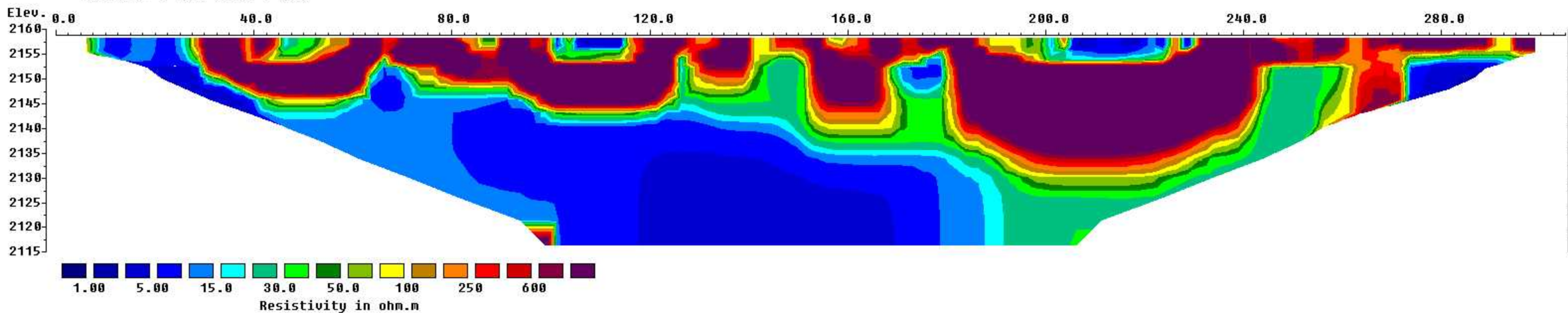
Model resistivity with topography

Iteration 4 Abs. error = 39.3



Model resistivity with topography

Iteration 7 Abs. error = 39.5



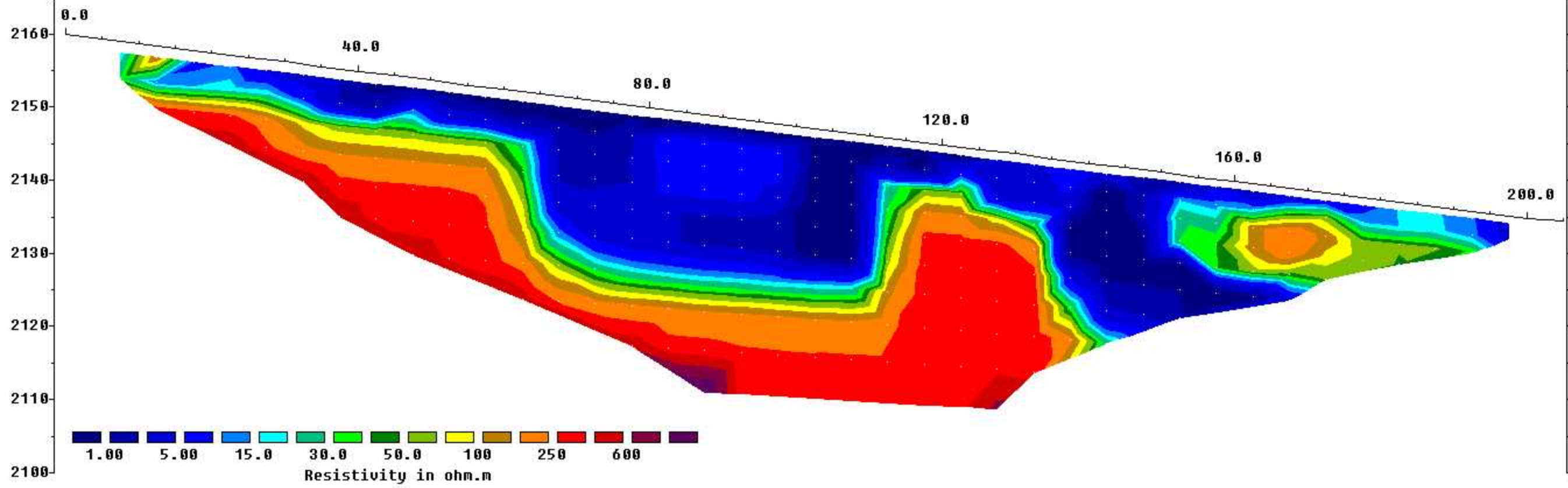
Horizontal scale is 12.45 pixels per unit spacing

Vertical exaggeration in model section display = 1.00

First electrode is located at 0.0 m.

Last electrode is located at 305.0 m. Unit Electrode Spacing = 2.50 m.

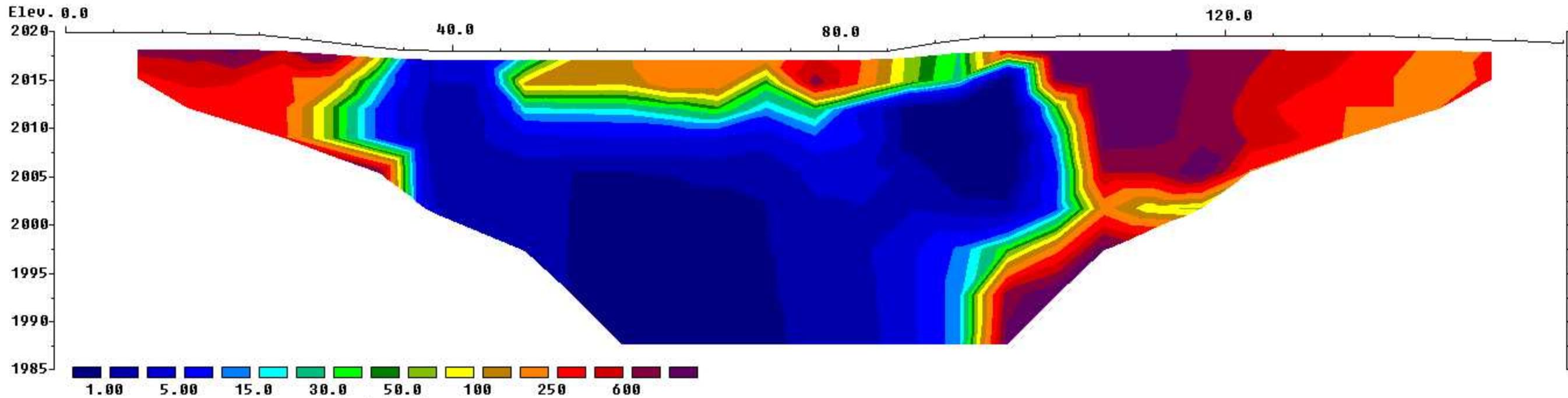
Model resistivity with topography  
Iteration 7 Abs. error = 26.4



Horizontal scale is 31.34 pixels per unit spacing  
Vertical exaggeration in model section display = 1.00  
First electrode is located at 0.0 m.  
Last electrode is located at 205.0 m. Unit Electrode Spacing = 5.00 m.

Model resistivity with topography

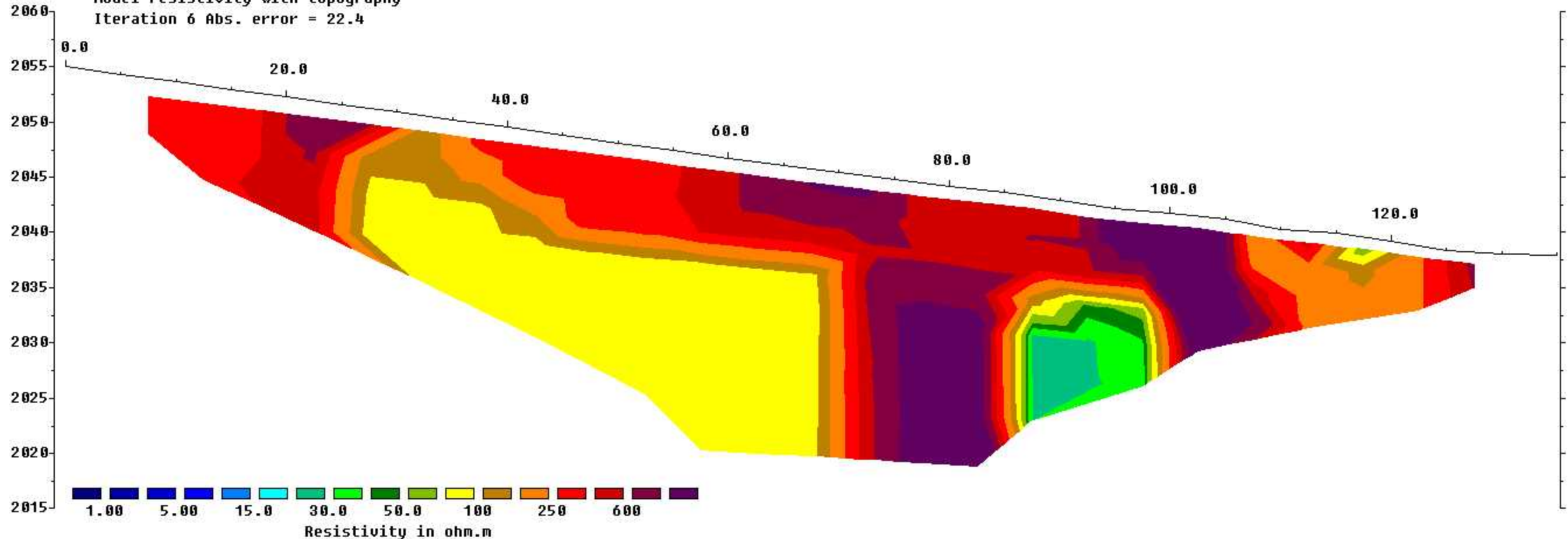
Iteration 8 Abs. error = 8.3



Resistivity in ohm.m

Horizontal scale is 41.45 pixels per unit spacing  
Vertical exaggeration in model section display = 1.00  
First electrode is located at 0.0 m.  
Last electrode is located at 155.0 m. Unit Electrode Spacing = 5.00 m.

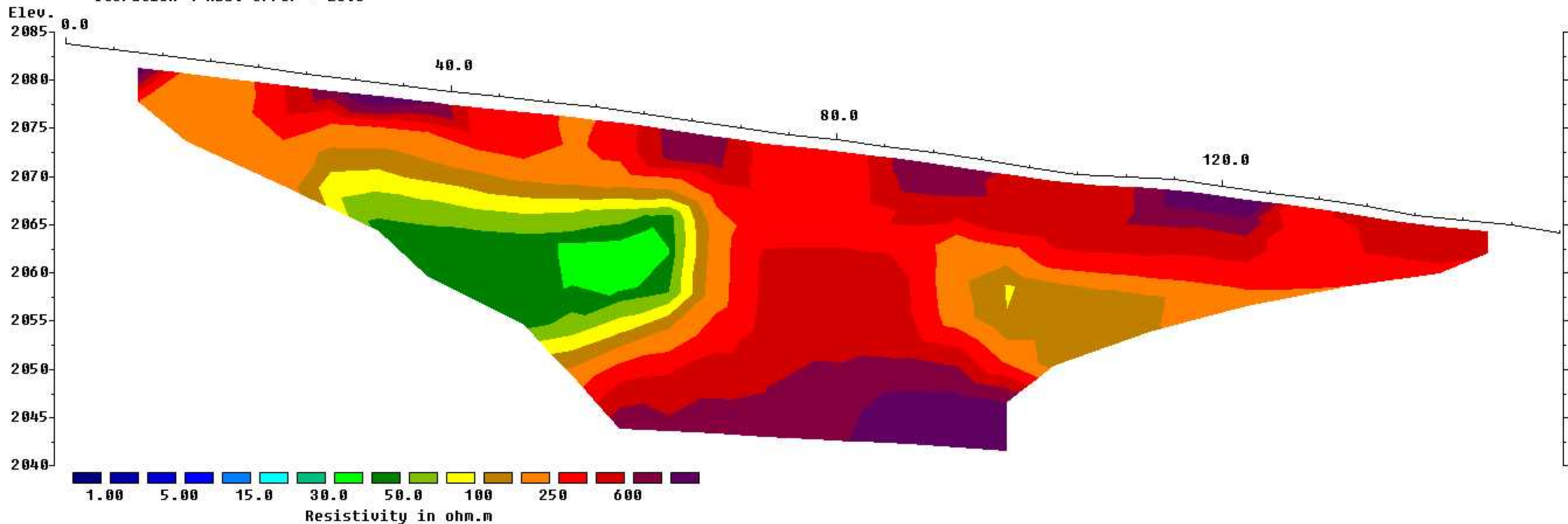
Elev. Model resistivity with topography  
 Iteration 6 Abs. error = 22.4



Horizontal scale is 47.37 pixels per unit spacing  
 Vertical exaggeration in model section display = 1.00  
 First electrode is located at 0.0 m.  
 Last electrode is located at 135.0 m. Unit Electrode Spacing = 5.00 m.

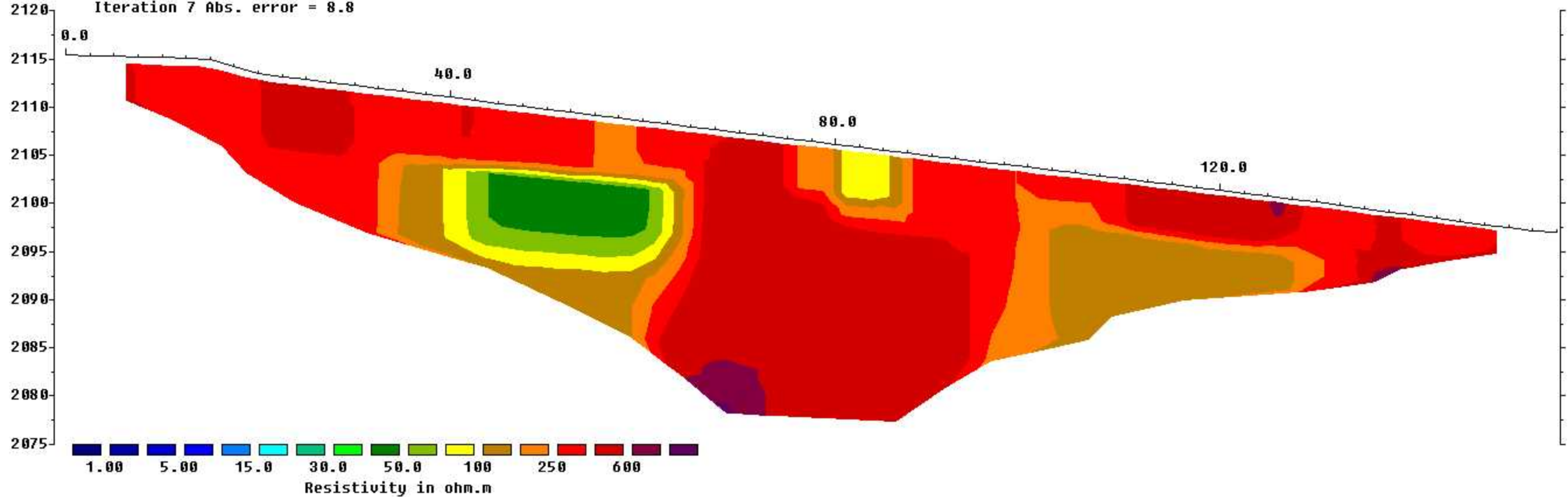
Model resistivity with topography

Iteration 4 Abs. error = 28.8



Horizontal scale is 41.26 pixels per unit spacing  
 Vertical exaggeration in model section display = 1.00  
 First electrode is located at 0.0 m.  
 Last electrode is located at 155.0 m. Unit Electrode Spacing = 5.00 m.

Elev. Model resistivity with topography  
 Iteration 7 Abs. error = 8.8



Horizontal scale is 20.63 pixels per unit spacing  
 Vertical exaggeration in model section display = 1.00  
 First electrode is located at 0.0 m.  
 Last electrode is located at 155.0 m. Unit Electrode Spacing = 2.50 m.

# MASW Reporte de análisis



# MASW Analysis Report

Author: Jorge Andrés Arízaga, Maria Gabriela Ulloa Palacios  
Site: Mazar, muro parapeto  
Date: 17 / 04 / 2018

Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Experimental data

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-1\MASW\UHGL4105.dat  
Number of sensors ..... 24  
Sensors distance: ..... 0m  
Number of time samples ..... 16464  
Acquisition timestep ..... 0.125ms  
Number of sensors used for the analysis ..... 24  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 2057.88ms  
Sensors are reverted (the last one in the file is the first one for the analysis)

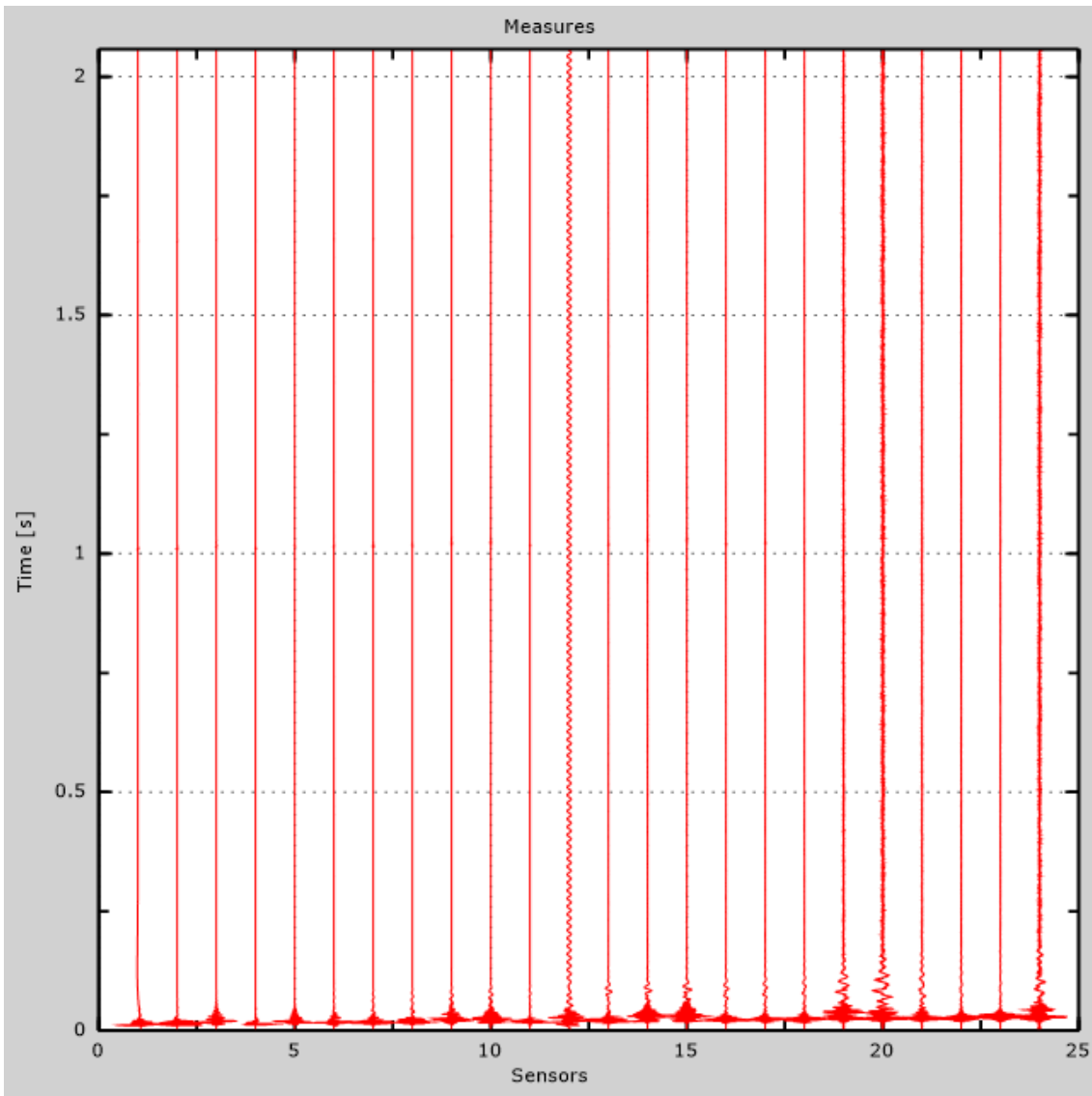


Figure 1: Experimental traces

## 2 - Analysis results

Final frequency ..... 70Hz  
Initial frequency ..... 2Hz

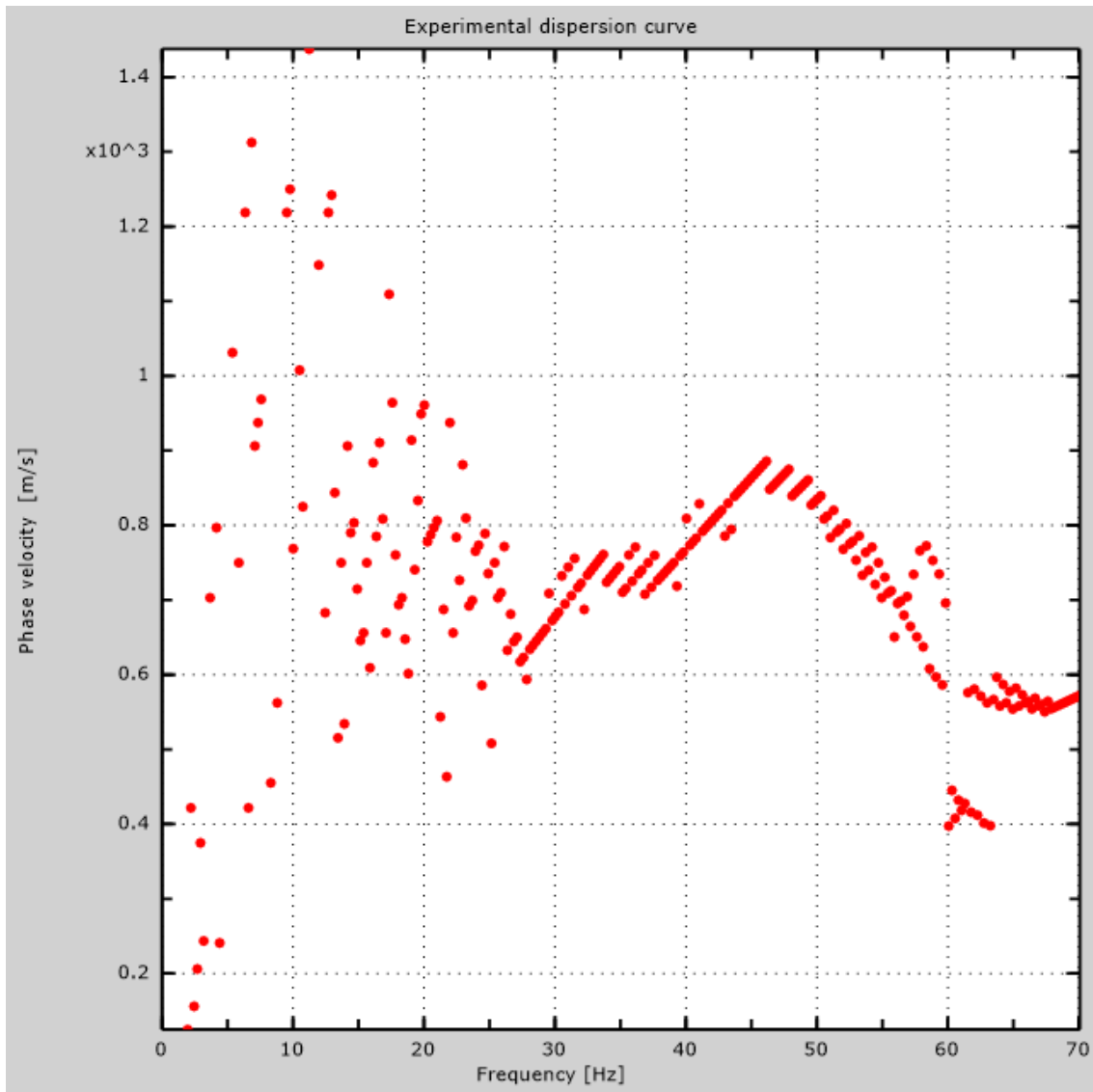


Figure 2: Experimental dispersion curve

### 3 - Analysis results (P)

Traces file name

G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-1\REMI\UHGL4857.dat

Number of sensors ..... 24

Number of time samples ..... 3.26787e-312

Acquisition timestep ..... 2ms

Number of sensors used for the analysis..... 24

The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms

The interval considered for the analysis ends at ..... 65534ms

Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)

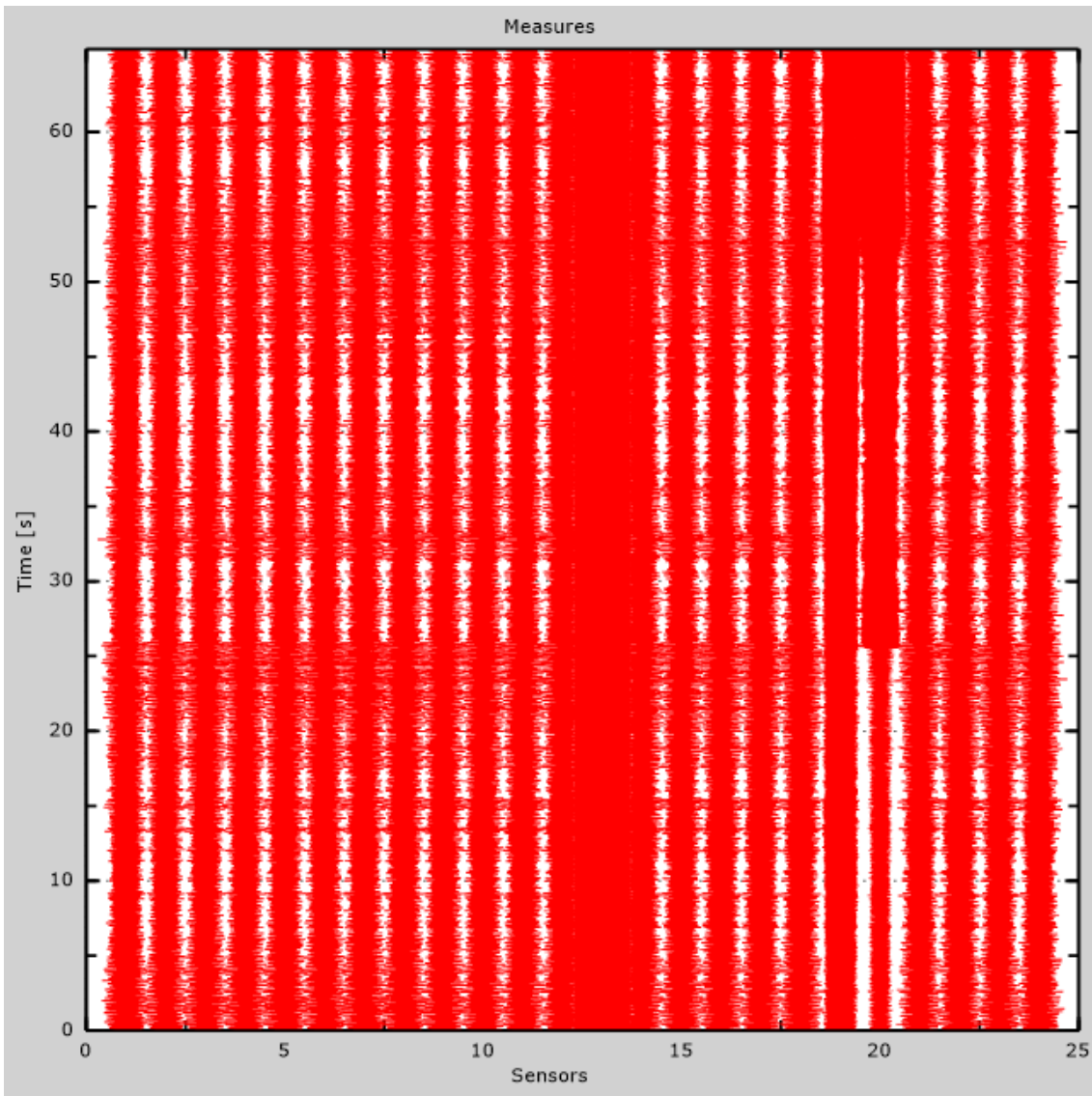


Figure 3: Experimental traces

## 4 - ESAC analysis

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-1\ESAC\UHGM3316.dat  
Number of sensors ..... 12  
Number of time samples ..... 327680  
Acquisition timestep ..... 2ms  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 655358ms  
Window duration ..... 10s  
Overlap ..... 0s  
Smoothing ..... 0.1  
Cleaning threshold ..... 0sd  
Number of iterations ..... 2

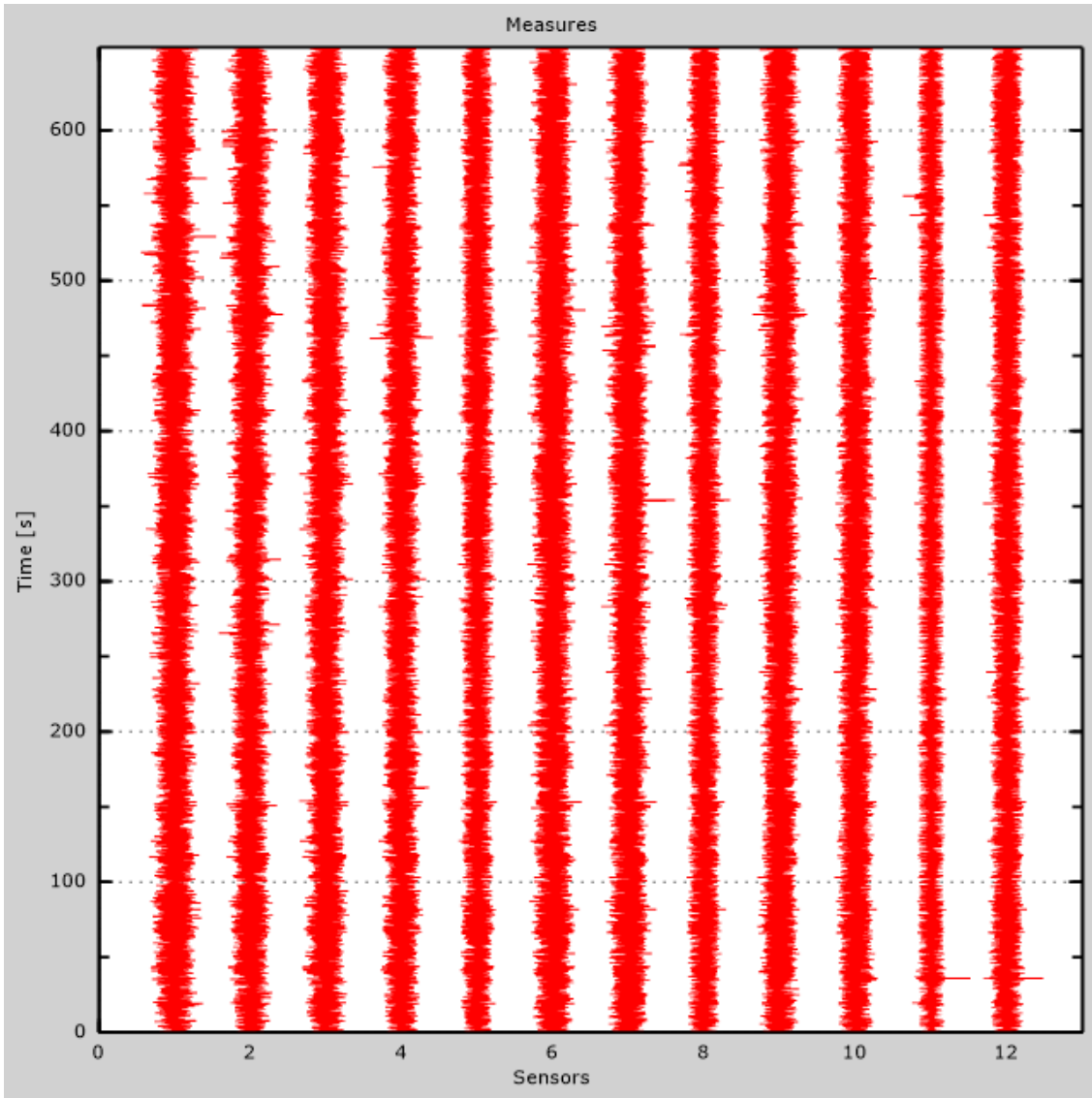


Figure 4: Experimental traces



Table 1: Geophones positions

X [m]	Y [m]
0	0
0	-5
0	-10
0	-15
0	-20
0	-25
0	-30
0	-35
0	-40
-2	-40
-4	-40

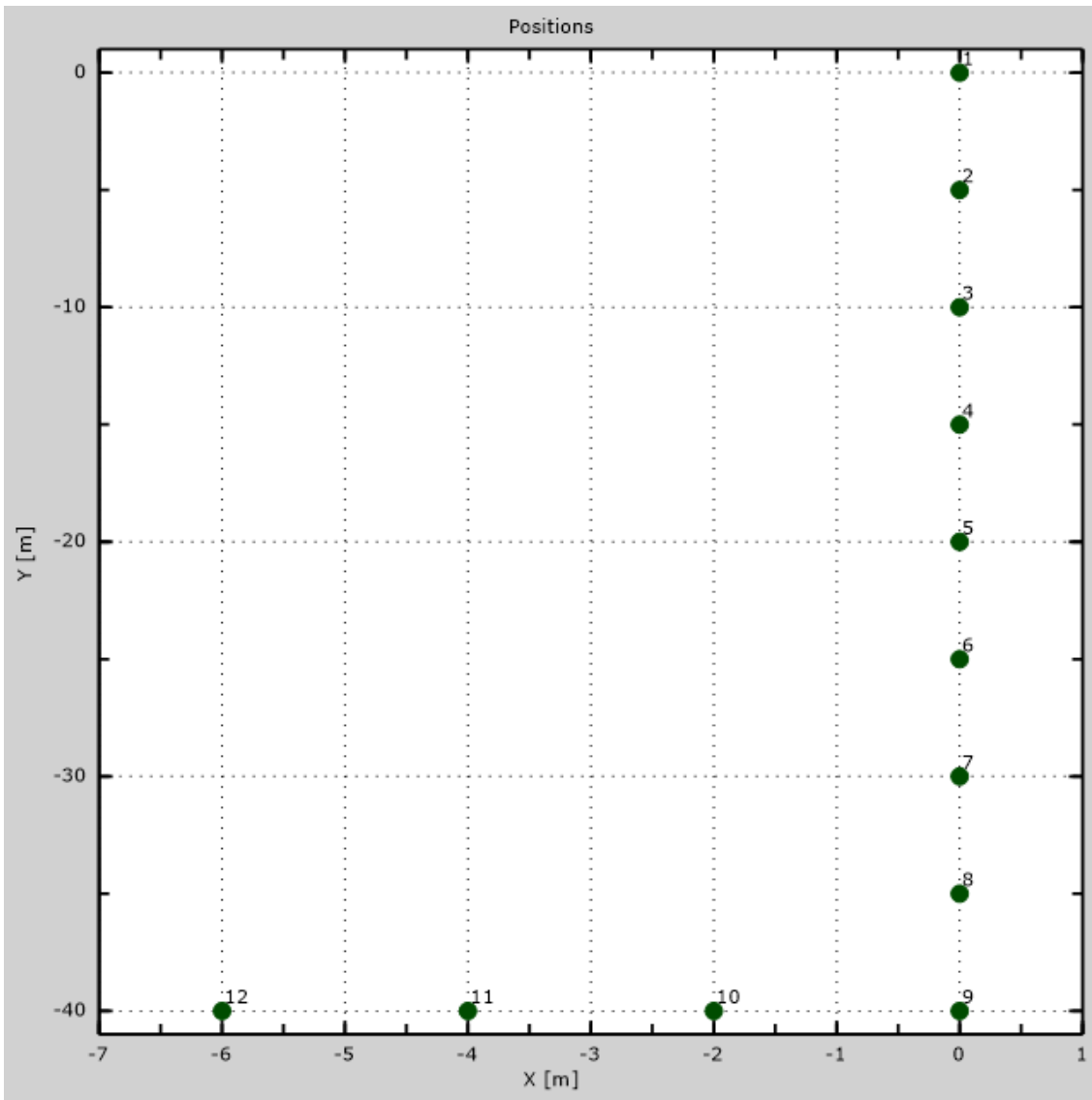


Figure 5: Geophones positions

## 5 - Dispersion curve

Table 2:Dispersion curve

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
4.38148	1984.47	1877.68	2091.26
5.26501	1574.54	1467.75	1681.33
6.32292	1254.17	1157.72	1350.63
6.81118	982.034	885.58	1078.49
8.0551	689.227	634.11	744.343
8.53174	609.996	558.325	661.668
10.8004	686.436	564.358	808.514
15.2977	710.852	607.085	814.618
19.2444	704.748	558.254	851.241
23.9959	728.113	626.491	829.734
25.0267	692.54	558.254	826.826
26.6776	679.886	659.217	700.554
29.751	669.551	657.494	681.608
32.7038	738.447	721.223	755.671
35.9279	724.668	717.778	731.557
40.327	771.173	760.838	781.507
43.1895	831.456	822.844	840.068
45.3589	869.349	855.57	883.128
48.4021	848.68	838.346	859.015

50.5716	814.232	805.62	822.844
53.7547	771.89	747.475	796.306

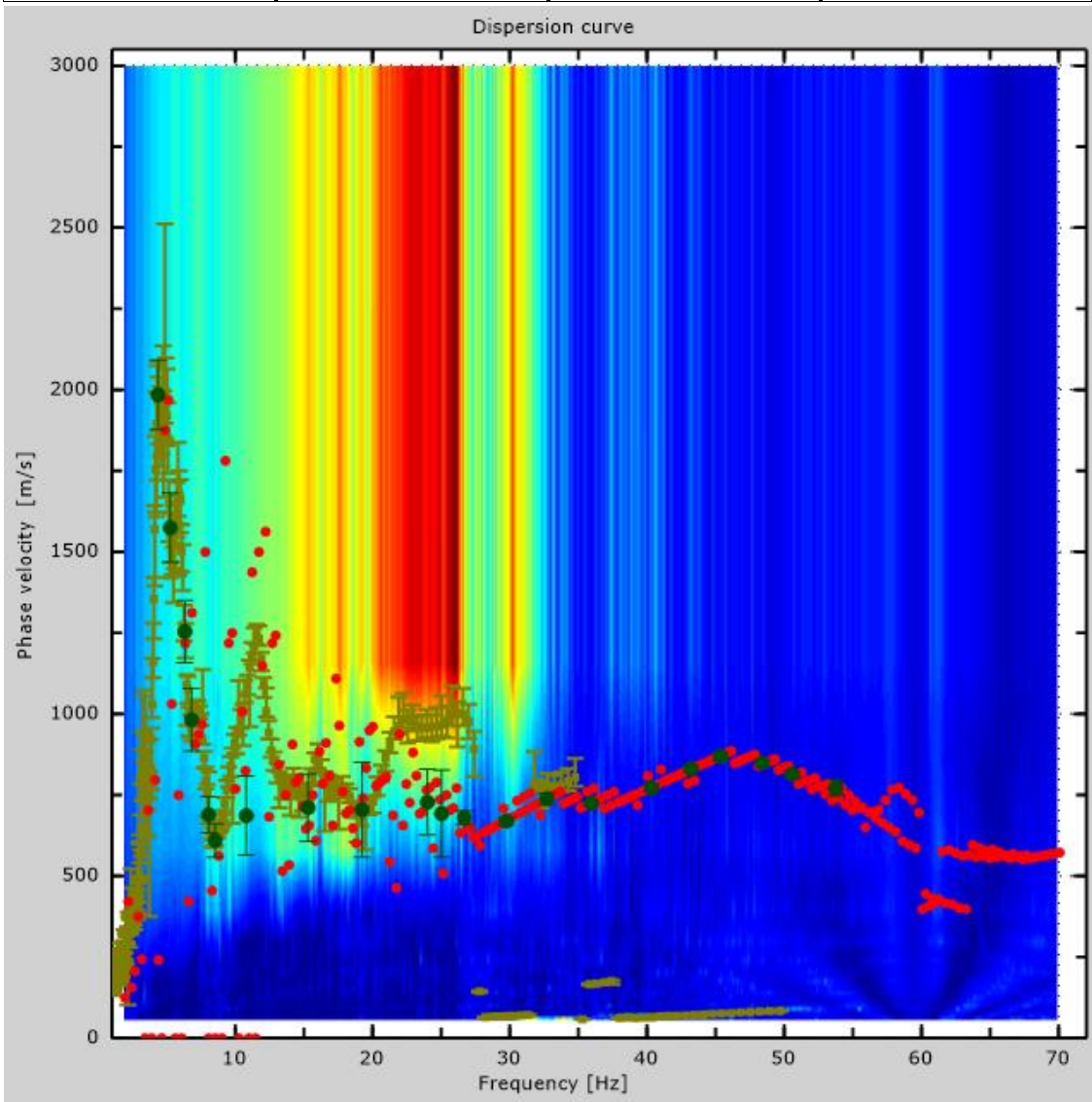


Figure 6: Dispersion curve

## 6 - Field profile

Number of layers (half-space excluded).....	9
Receivers spacing.....	1.5m
Number of receivers.....	24
Number of modes.....	1

### Layer 1

h [m].....	4
z [m].....	-4
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2280
Poisson .....	0.3
Vs [m/s].....	854
Vp [m/s] .....	1598
Vs min [m/s] .....	429
Vs max [m/s].....	1281
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	854

### Layer 2

h [m].....	2
z [m].....	-6
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2199
Poisson .....	0.3
Vs [m/s].....	738
Vp [m/s] .....	1381
Vs min [m/s] .....	429
Vs max [m/s].....	1107
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	738

### Layer 3

h [m].....	5
z [m].....	-11
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2199
Poisson .....	0.31
Vs [m/s].....	738
Vp [m/s] .....	1406

Vs min [m/s] .....	452
Vs max [m/s].....	1107
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	738

### Layer 4

h [m].....	2
z [m] .....	-13
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2183
Poisson .....	0.38
Vs [m/s].....	717
Vp [m/s] .....	1630
Vs min [m/s] .....	378
Vs max [m/s].....	1076
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	717

### Layer 5

h [m].....	2
z [m] .....	-15
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2183
Poisson .....	0.38
Vs [m/s].....	717
Vp [m/s] .....	1630
Vs min [m/s] .....	392
Vs max [m/s].....	1076
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	717

### Layer 6

h [m].....	8
z [m] .....	-23
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2199
Poisson .....	0.38
Vs [m/s].....	738
Vp [m/s] .....	1677
Vs min [m/s] .....	395
Vs max [m/s].....	1107
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	

Vs fin.[m/s] ..... 738

### Layer 7

h [m] ..... 20

z [m] ..... -43

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2183

Poisson ..... 0.42

Vs [m/s] ..... 717

Vp [m/s] ..... 1931

Vs min [m/s] ..... 381

Vs max [m/s] ..... 1076

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 717

### Layer 8

h [m] ..... 6

z [m] ..... -49

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2123

Poisson ..... 0.42

Vs [m/s] ..... 642

Vp [m/s] ..... 1729

Vs min [m/s] ..... 339

Vs max [m/s] ..... 963

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 642

### Layer 9

h [m] ..... 0

z [m] ..... -∞

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2890

Poisson ..... 0.2

Vs [m/s] ..... 2202

Vp [m/s] ..... 3596

Vs min [m/s] ..... 1102

Vs max [m/s] ..... 3303

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 2202

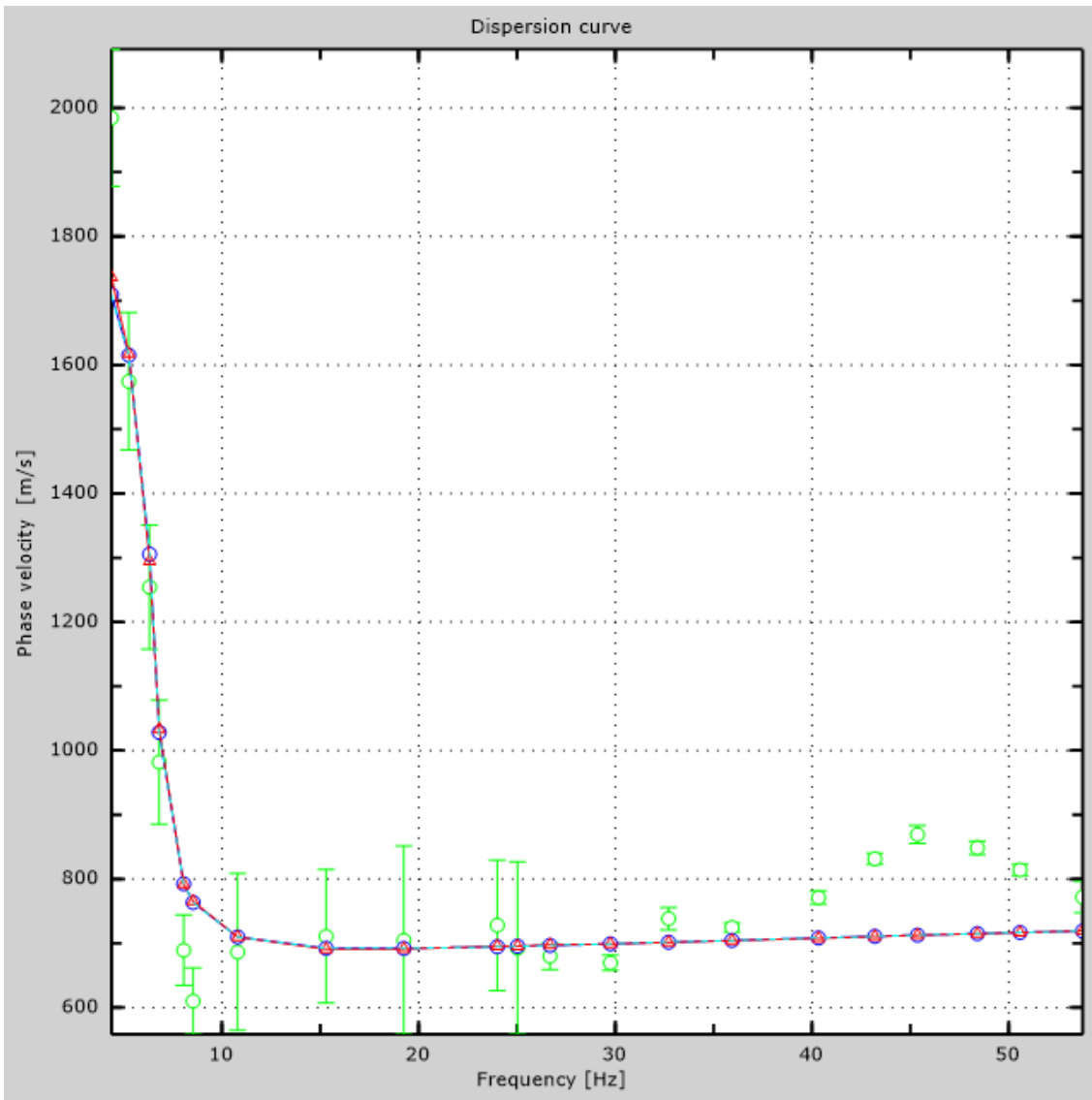


Figure 7: Numerical velocities - experimental points (green), Rayleigh modes (cyan), apparent curve (blue), numerical curve (red)



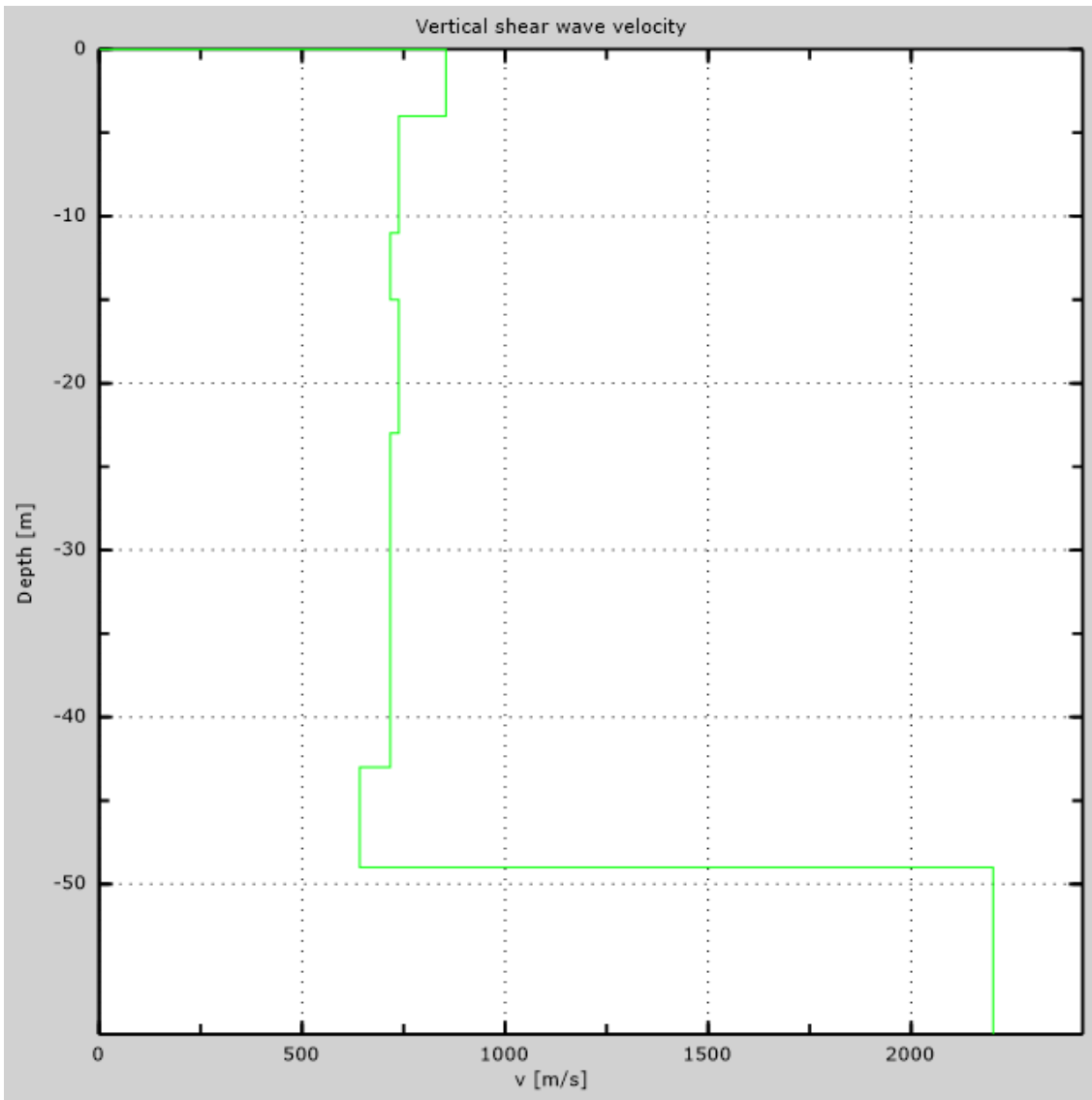


Figure 8: Numerical Vs profile

## 7 - Final results

Reference plane  $z=0$  [m] ..... 0

$V_{s30}$  [m/s] ..... 743

You are using the definitions included in DM 14 gennaio 2008

The site does belongs to classes A, B, C, D, E or S1 (alluvional soil, gravel, sand, silt, clay, rock).

The site is not susceptible to liquefaction or there is not sensitive clay.

The geotechnic unit 8 is the bed rock

The mechanic characteristics of the layers gradually improve with depth

**Soil type** ..... **B**

# Appendix

## Type of ground

Type A: Rock or other rock-like geological formation, including at most 3 m of weaker material at the surface

Type B: Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least 30 m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth,  $V_{s30}$  between 360 m/s and 800 m/s

Type C: Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel or stiff clay with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  between 180 m/s and 360 m/s

Type D: Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  lower than 180 m/s

Type E: A soil profile consisting of a surface alluvium layer with  $v_s$  values of type C or D and thickness lower than 20 m, underlain by stiffer material with  $v_s > 800$  m/s

Type S1: Deposits of soils with  $V_{s30} < 100$  m/s (or  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), which include a layer of fine-grained and low consistency soil with a thickness greater than 8 m, or a layer of peat or highly organic clay with a thickness greater than 3 m.

Type S2: Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S1

# MASW Analysis Report

Author: Jorge Andrés Arízaga Altamirano, María Gabriela Ulloa Palacios  
Site: Mazar, muro parapeto  
Date: 17/04/2018

Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Experimental data

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-2\MASW\UHGO3513.dat  
Number of sensors ..... 24  
Sensors distance: ..... 0m  
Number of time samples ..... 16464  
Acquisition timestep ..... 0.125ms  
Number of sensors used for the analysis ..... 24  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 2057.88ms  
Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)

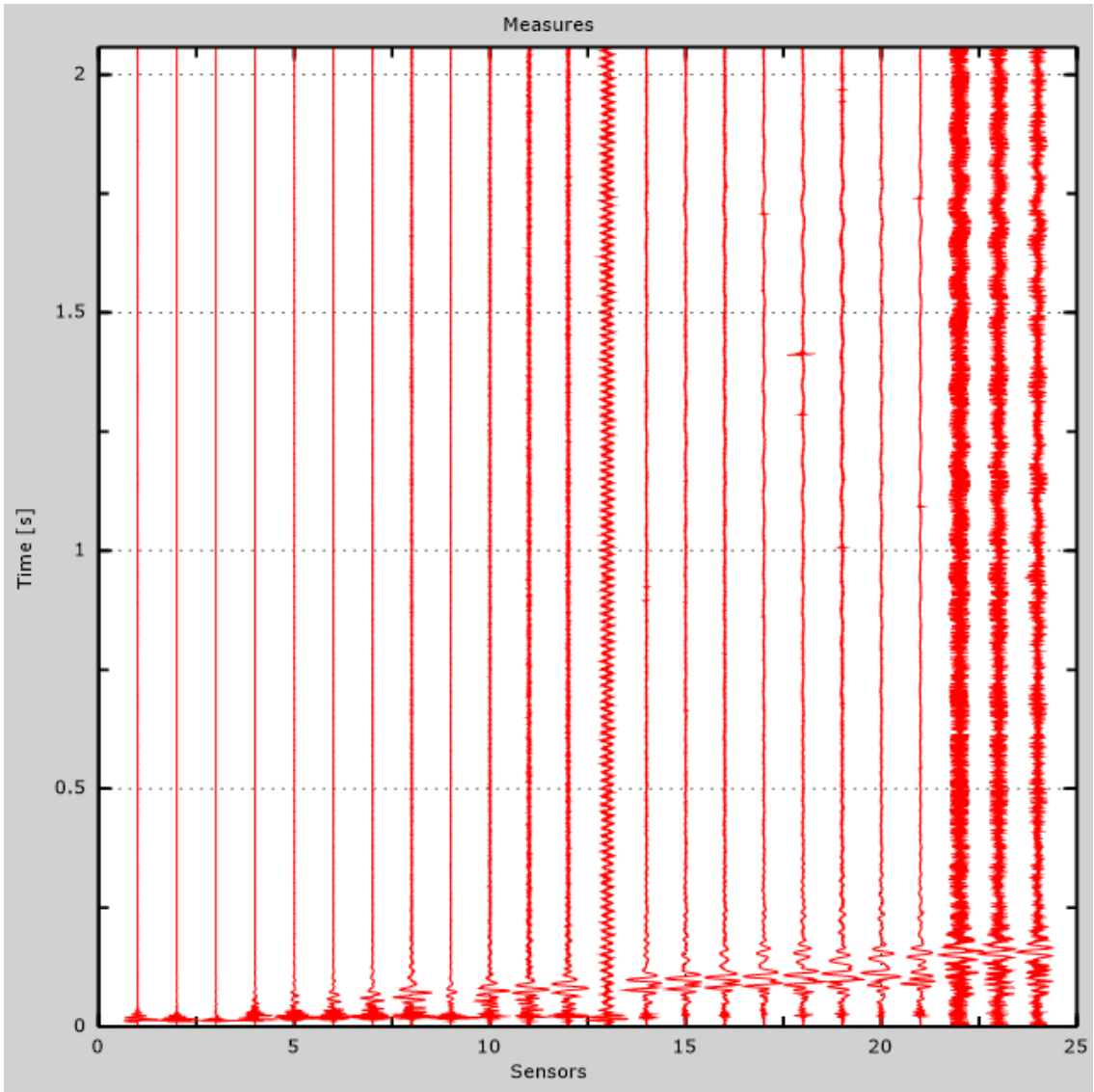


Figure 1: Experimental traces

## 2 - Analysis results

Final frequency ..... 70Hz  
Initial frequency ..... 2Hz

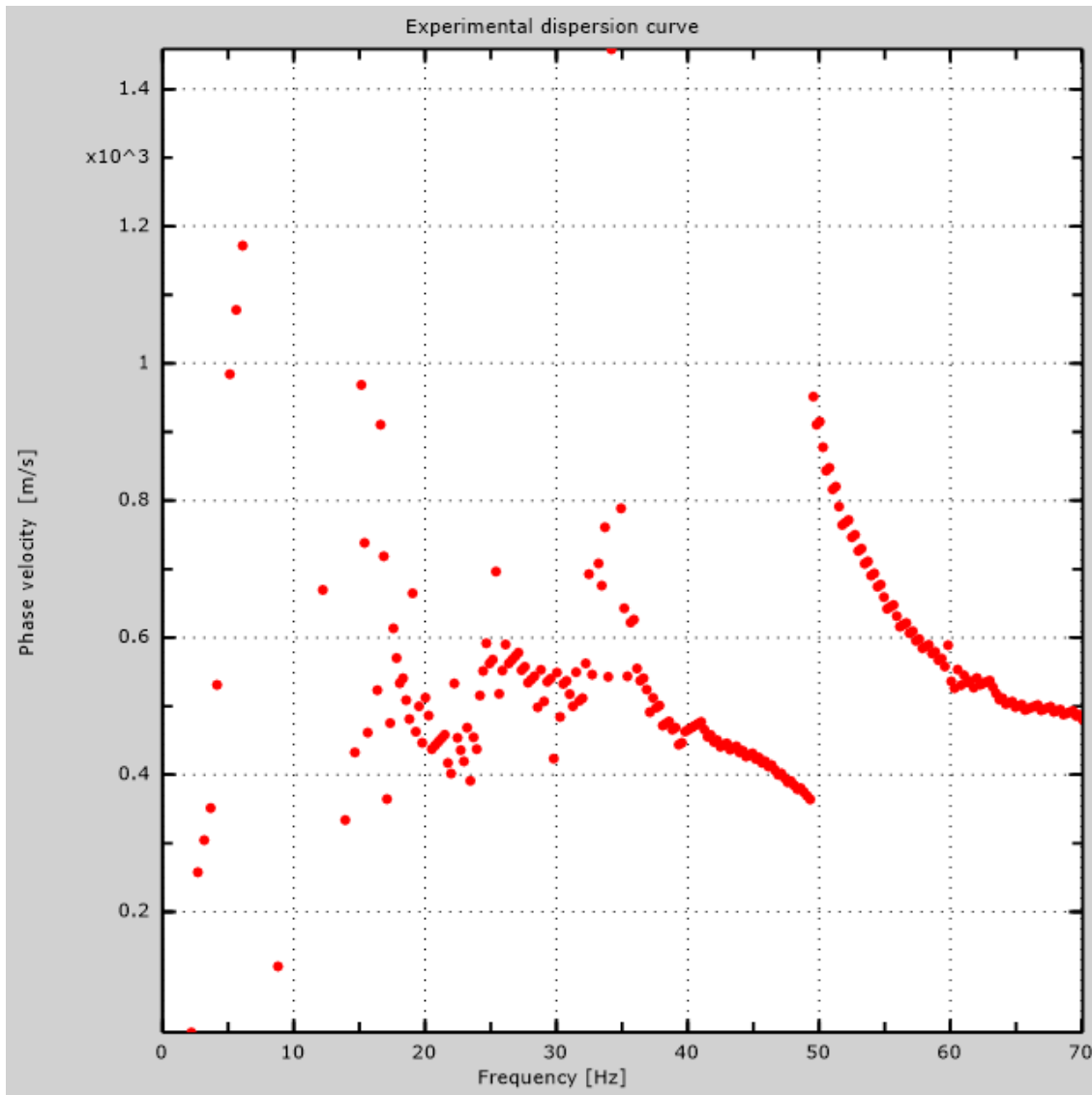


Figure 2: Experimental dispersion curve

### 3 - Analysis results (P)

Traces file name

G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-2\REMI\UHGO5024.dat

Number of sensors ..... 24

Number of time samples ..... 3.26787e-312

Acquisition timestep ..... 2ms

Number of sensors used for the analysis..... 24

The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms

The interval considered for the analysis ends at ..... 65534ms

Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)



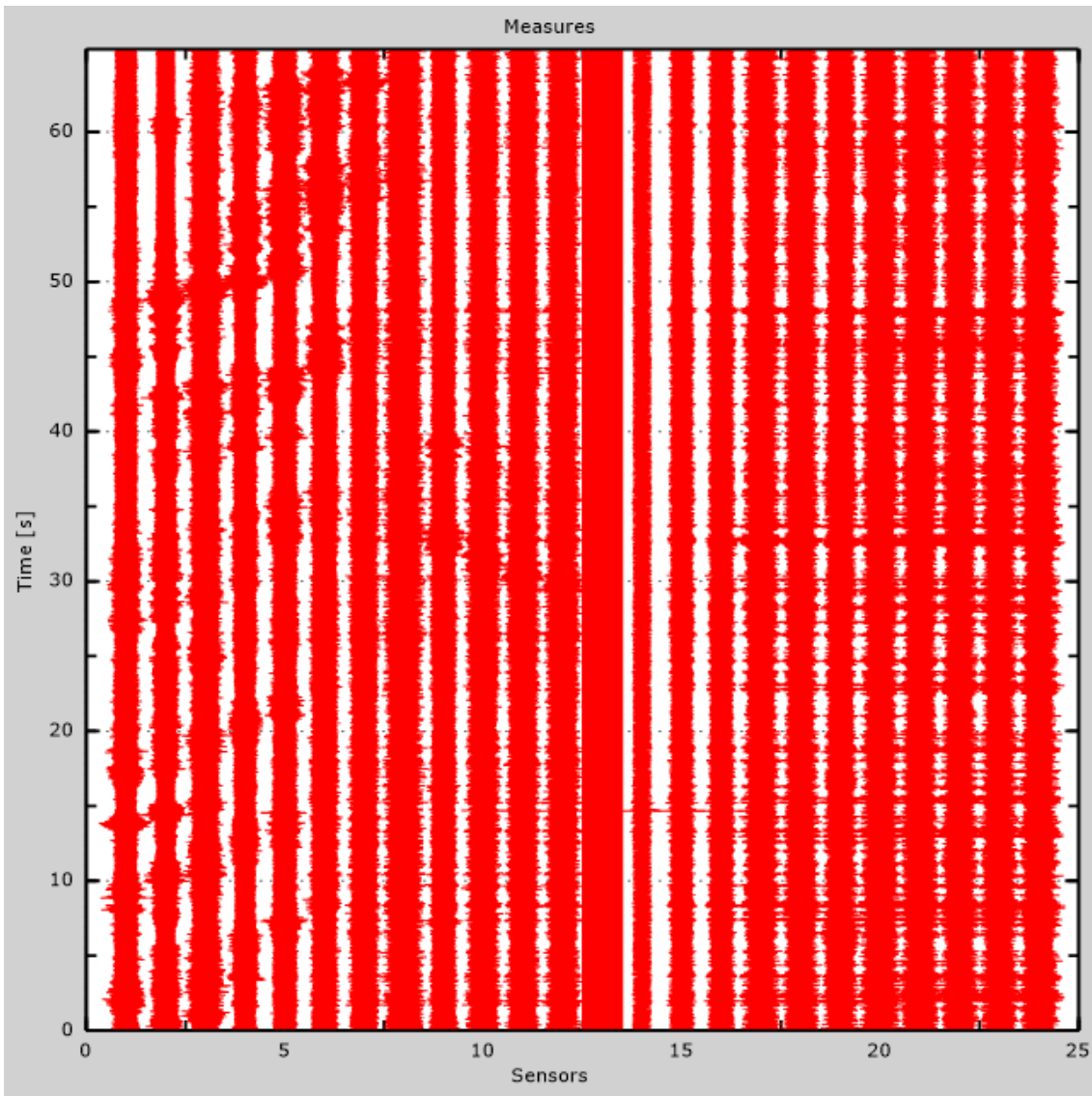


Figure 3: Experimental traces

## 4 - ESAC analysis

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-2\REMI\UHGO5024.dat  
Number of sensors ..... 24  
Number of time samples ..... 163840  
Acquisition timestep ..... 2ms  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 327678ms  
Window duration ..... 10s  
Overlap..... 0s  
Smoothing ..... 0.1  
Cleaning threshold ..... 0sd  
Number of iterations ..... 2

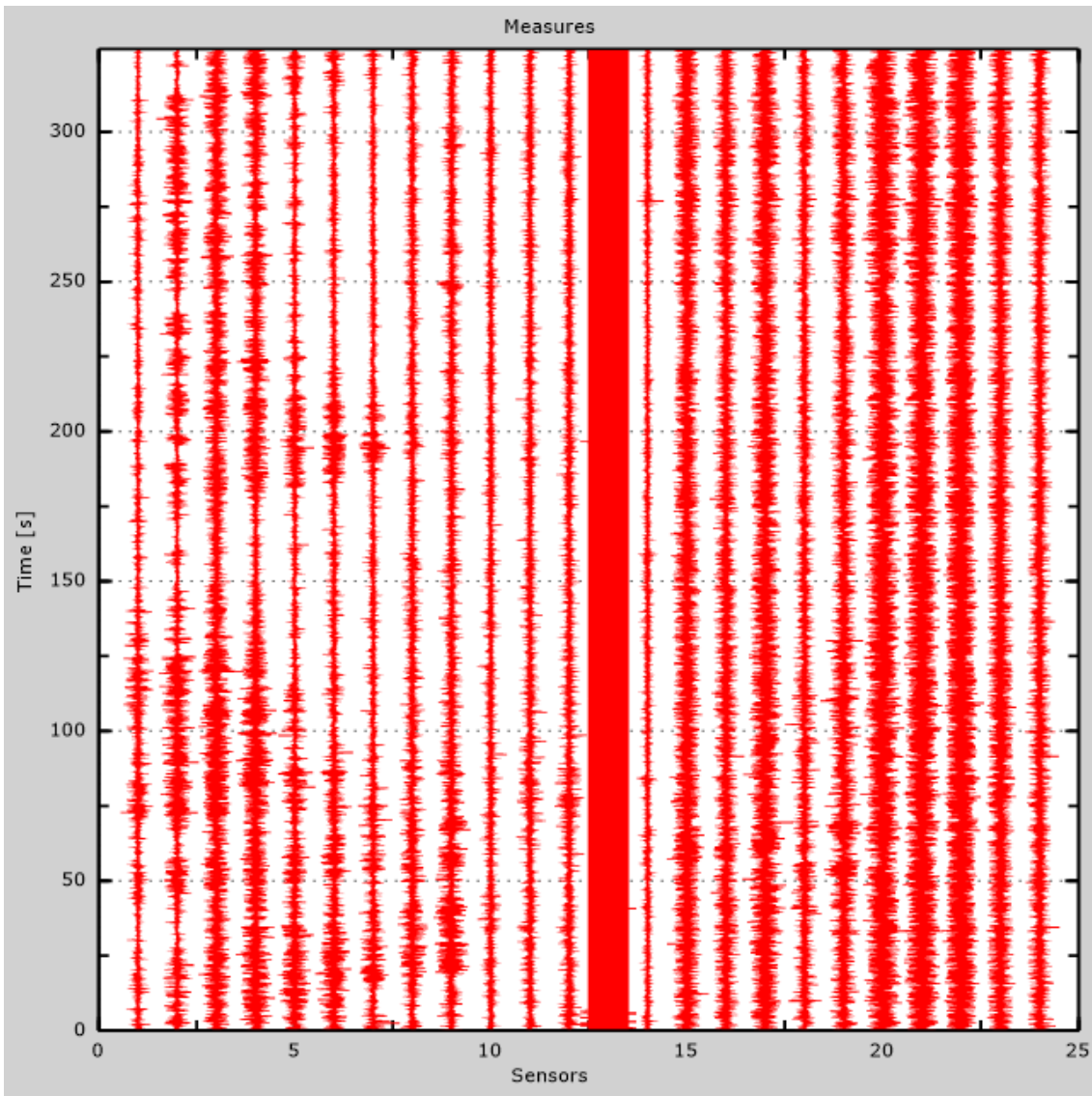


Figure 4: Experimental traces

Table 1: Geophones positions

X [m]	Y [m]
0	0
0	1.5
0	3
0	4.5
0	6
0	7.5
0	9
0	10.5
0	12
0	13.5
0	15
0	16.5
0	18
0	19.5
0	21
0	22.5
0	24
0	25.5
0	27
0	28.5
0	30

0	31.5
0	33

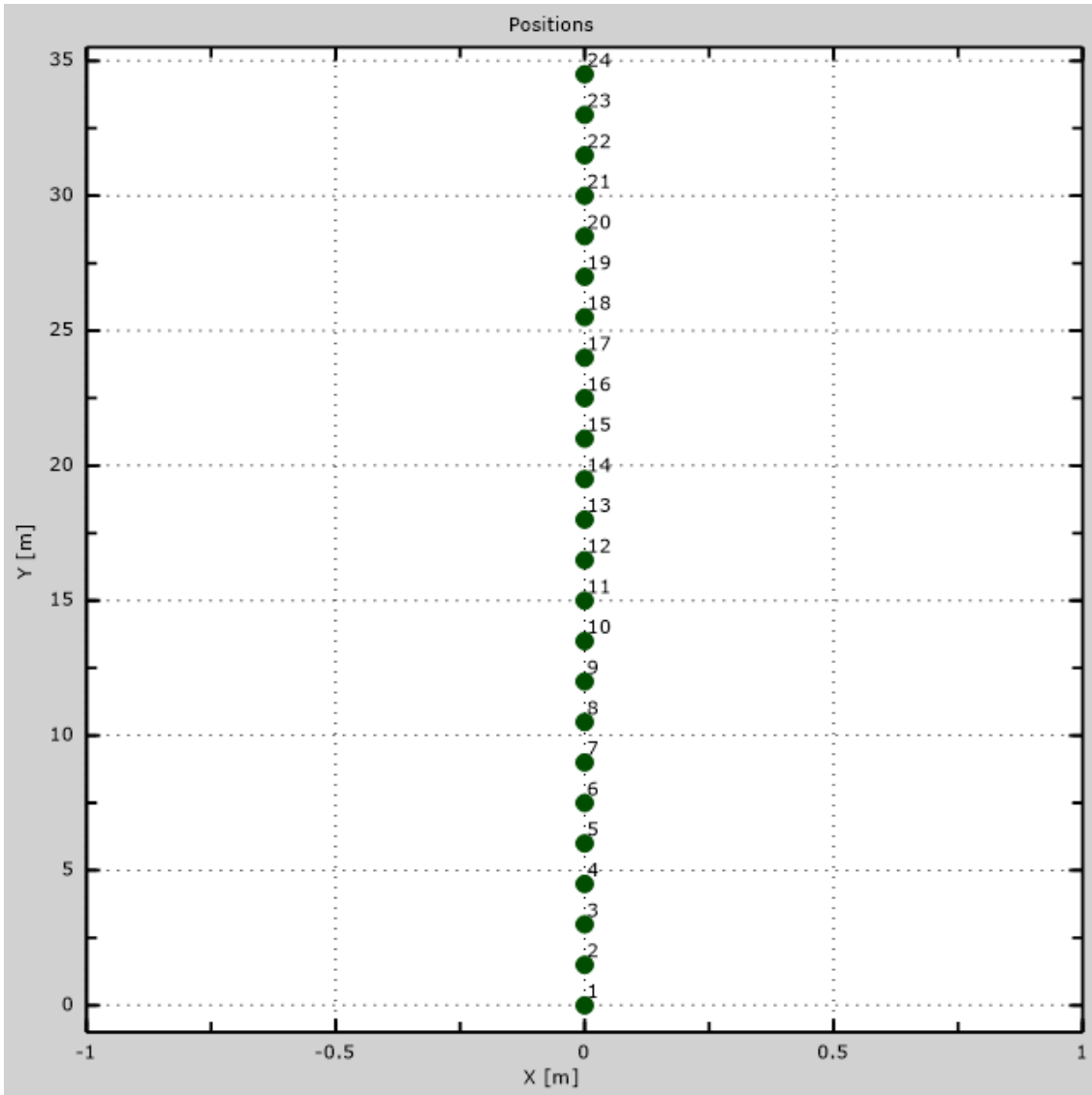


Figure 5: Geophones positions

## 5 - Dispersion curve

Table 2:Dispersion curve

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
11.8892	1742.41	1650.85	1833.97
12.6202	1363.97	1278.51	1449.42
12.803	1125.92	1052.67	1199.16
13.1685	955.007	912.28	997.734
13.8082	839.033	796.306	881.761
14.4479	997.734	973.319	1022.15
14.9048	1052.67	1022.15	1083.19
15.7273	893.968	832.929	955.007
16.0014	686.436	643.709	729.163
16.7325	552.15	515.527	588.774
18.1032	515.527	485.008	546.047
20.5206	527.544	459.747	595.34
23.6873	515.341	470.595	560.086
28.051	524.832	486.866	562.798
36.933	508.561	473.307	543.815
42.3008	444.832	424.493	465.171
45.0168	427.237	417.709	436.765
49.1437	367.21	357.682	376.738

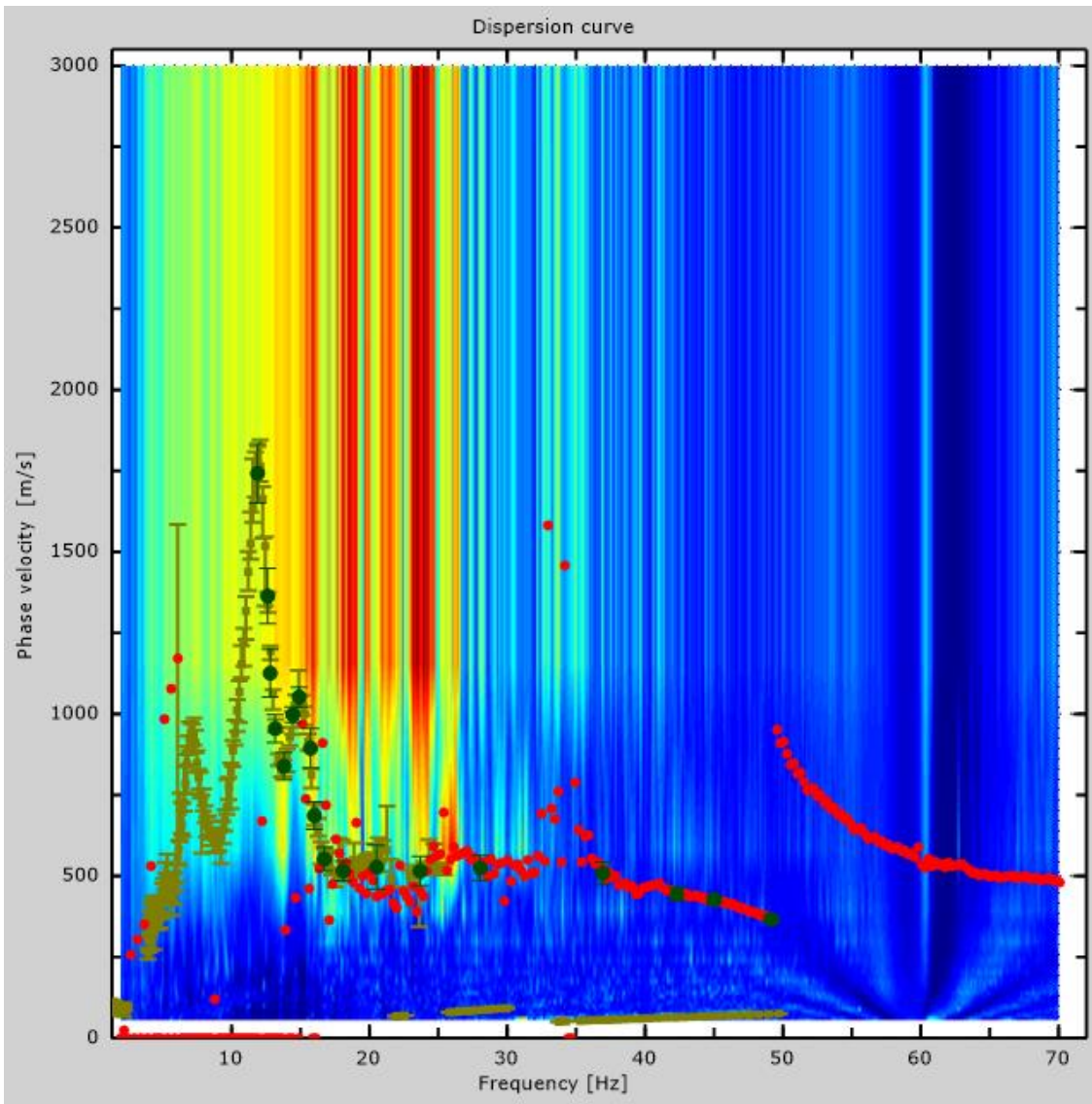


Figure 6: Dispersion curve

## 6 - Field profile

Number of layers (half-space excluded).....	9
Receivers spacing.....	1.5m
Number of receivers.....	24
Number of modes.....	1

### Layer 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1969
Poisson .....	0.3
Vs [m/s].....	475
Vp [m/s] .....	889
Vs min [m/s] .....	204
Vs max [m/s].....	713
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	475

### Layer 2

h [m].....	3
z [m].....	-5
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1969
Poisson .....	0.38
Vs [m/s].....	475
Vp [m/s] .....	1080
Vs min [m/s] .....	237
Vs max [m/s].....	949
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	475

### Layer 3

h [m].....	3
z [m].....	-8
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2031
Poisson .....	0.38
Vs [m/s].....	537
Vp [m/s] .....	1221



Vs min [m/s] .....	292
Vs max [m/s].....	806
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	537

### Layer 4

h [m].....	2
z [m] .....	-10
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2038
Poisson .....	0.38
Vs [m/s].....	545
Vp [m/s] .....	1239
Vs min [m/s] .....	293
Vs max [m/s].....	818
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	545

### Layer 5

h [m].....	4
z [m] .....	-14
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2022
Poisson .....	0.38
Vs [m/s].....	528
Vp [m/s] .....	1200
Vs min [m/s] .....	307
Vs max [m/s].....	792
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	528

### Layer 6

h [m].....	3
z [m] .....	-17
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2428
Poisson .....	0.28
Vs [m/s].....	1097
Vp [m/s] .....	1985
Vs min [m/s] .....	381
Vs max [m/s].....	1646
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	

Vs fin.[m/s] ..... 1097

### Layer 7

h [m] ..... 1.5

z [m] ..... -18.5

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2284

Poisson ..... 0.3

Vs [m/s] ..... 859

Vp [m/s] ..... 1607

Vs min [m/s] ..... 497

Vs max [m/s] ..... 1289

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 859

### Layer 8

h [m] ..... 1.5

z [m] ..... -20

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2284

Poisson ..... 0.3

Vs [m/s] ..... 859

Vp [m/s] ..... 1607

Vs min [m/s] ..... 531

Vs max [m/s] ..... 1289

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 859

### Layer 9

h [m] ..... 0

z [m] ..... -00

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2798

Poisson ..... 0.2

Vs [m/s] ..... 1936

Vp [m/s] ..... 3161

Vs min [m/s] ..... 968

Vs max [m/s] ..... 3872

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 1936

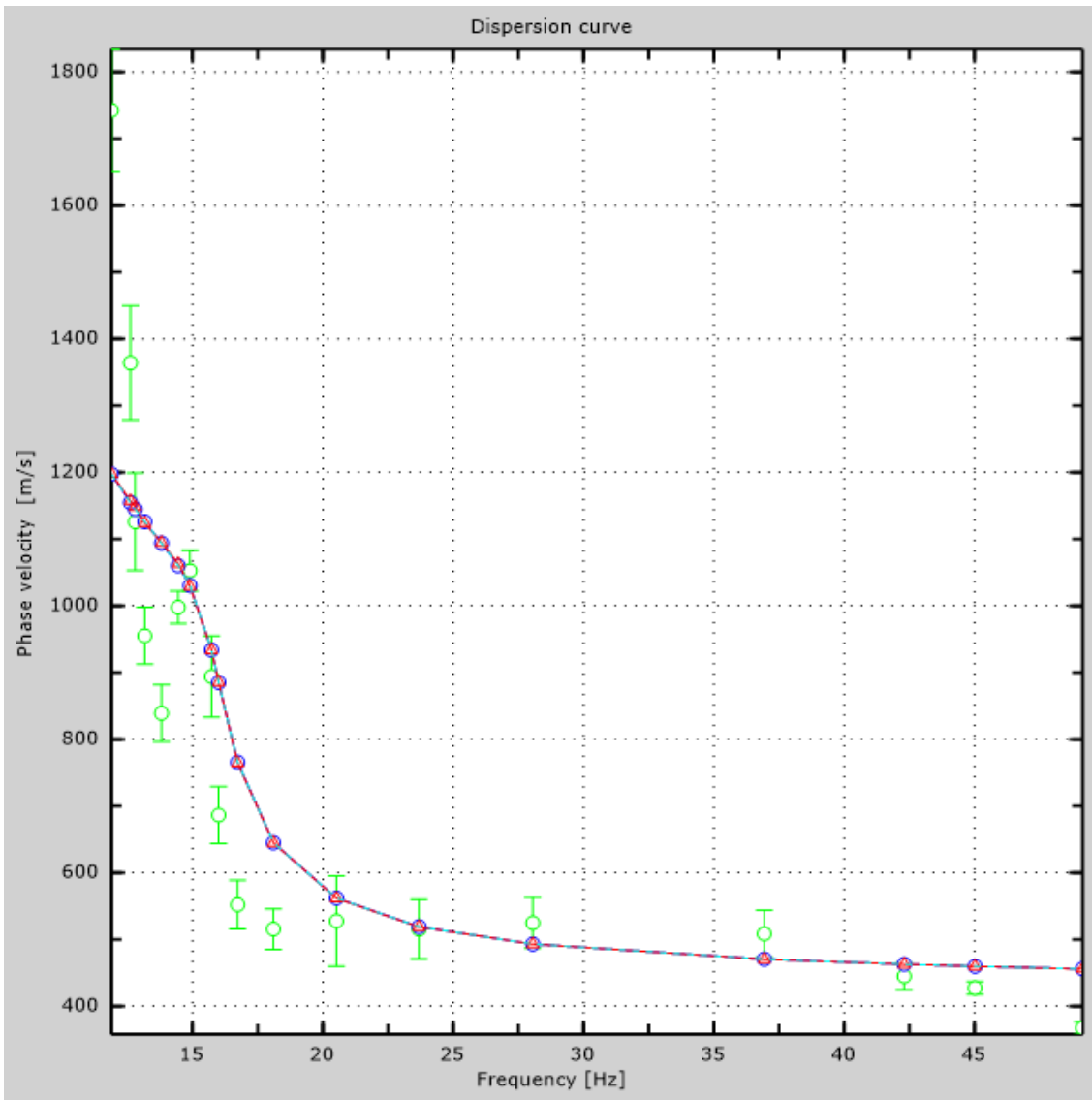


Figure 7: Numerical velocities - experimental points (green), Rayleigh modes (cyan), apparent curve (blue), numerical curve (red)

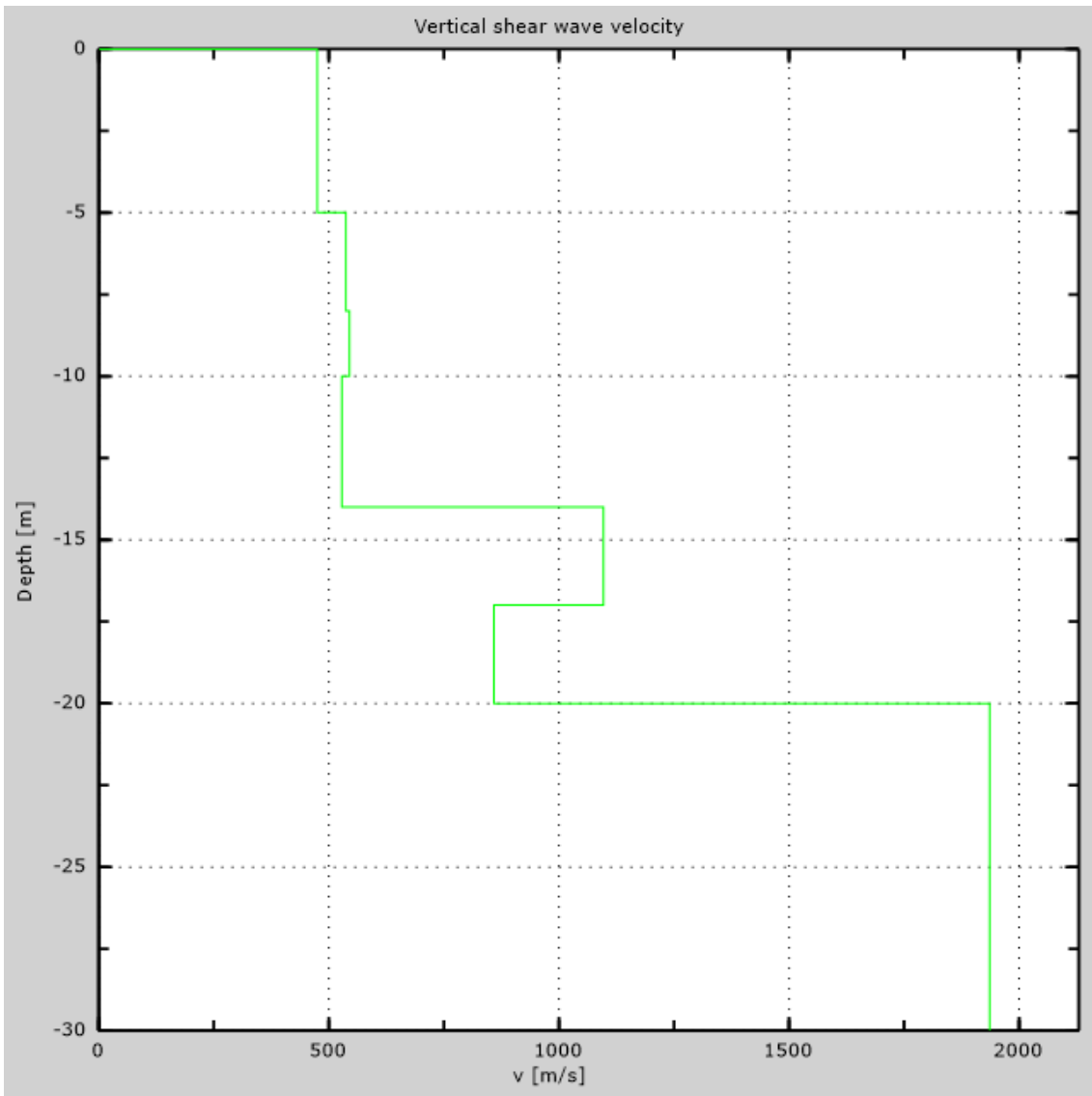


Figure 8: Numerical Vs profile

## 7 - Final results

Reference plane  $z=0$  [m] .....0

$V_{s30}$  [m/s] .....774

You are using the definitions included in DM 14 gennaio 2008

The site does belongs to classes A, B, C, D, E or S1 (alluvional soil, gravel, sand, silt, clay, rock).

The site is not susceptible to liquefaction or there is not sensitive clay.

The geotechnic unit 5 is the bed rock

**Soil type** .....**S2**

# Appendix

## Type of ground

Type A: Rock or other rock-like geological formation, including at most 3 m of weaker material at the surface

Type B: Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least 30 m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth,  $V_{s30}$  between 360 m/s and 800 m/s

Type C: Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel or stiff clay with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  between 180 m/s and 360 m/s

Type D: Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  lower than 180 m/s

Type E: A soil profile consisting of a surface alluvium layer with  $v_s$  values of type C or D and thickness lower than 20 m, underlain by stiffer material with  $v_s > 800$  m/s

Type S1: Deposits of soils with  $V_{s30} < 100$  m/s (or  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), which include a layer of fine-grained and low consistency soil with a thickness greater than 8 m, or a layer of peat or highly organic clay with a thickness greater than 3 m.

Type S2: Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S1

# MASW Analysis Report

Author: Jorge Andrés Arízaga Altamirano, María Gabriela Ulloa Palacios  
Site: Mazar, via de acceso  
Date: 10/04/2018

Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Experimental data

Traces file name

G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-3\MASW\UHGQ4137\_3I.d

at

Number of sensors ..... 12

Sensors distance: ..... -1.79769e+308m

Number of time samples ..... 16464

Acquisition timestep ..... 0.125ms

Number of sensors used for the analysis..... 12

The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms

The interval considered for the analysis ends at ..... 2057.88ms

Sensors are reverted (the last one in the file is the fist one for the analysis)



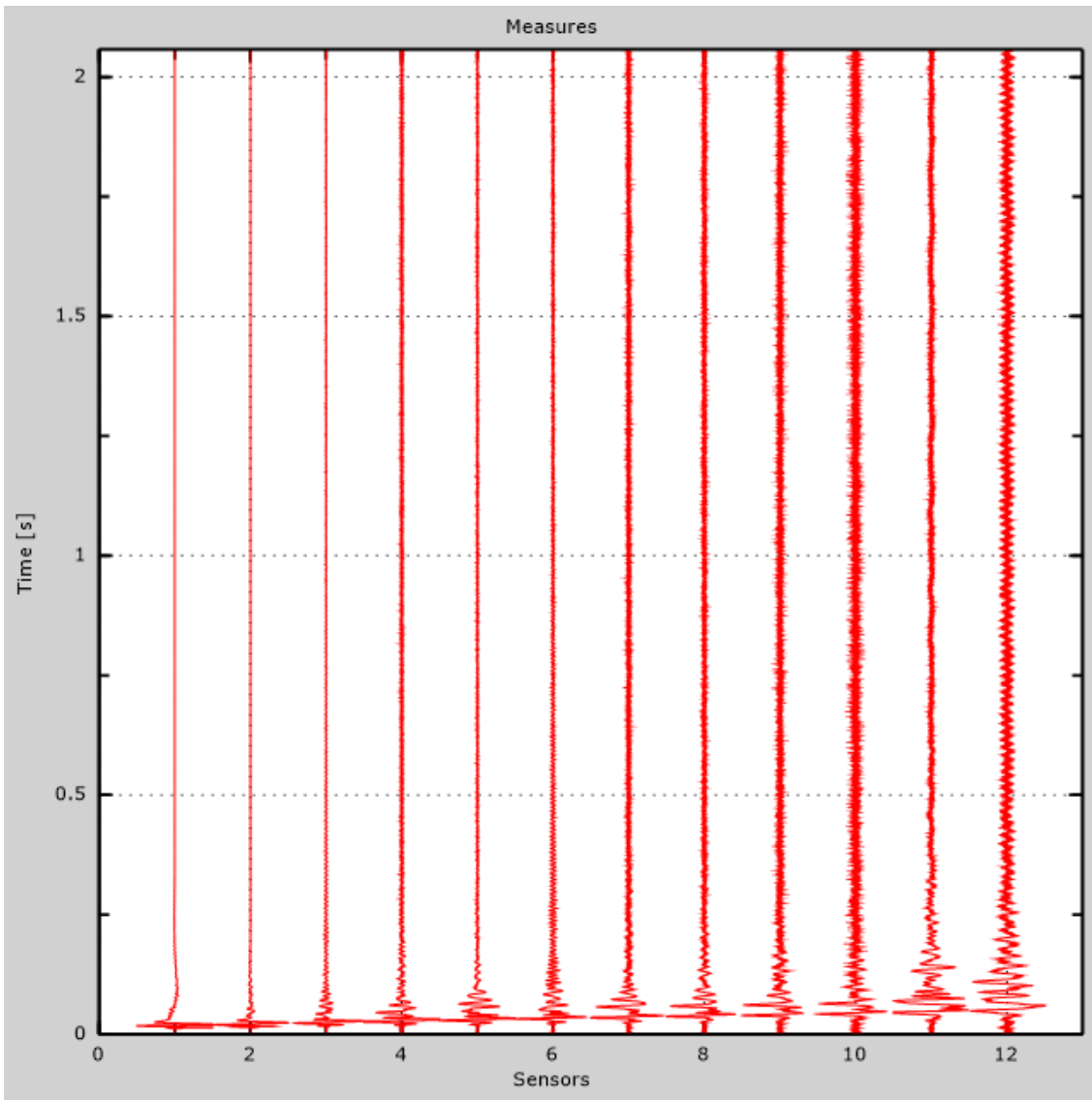


Figure 1: Experimental traces

## 2 - Analysis results

Final frequency ..... 70Hz  
Initial frequency ..... 2Hz

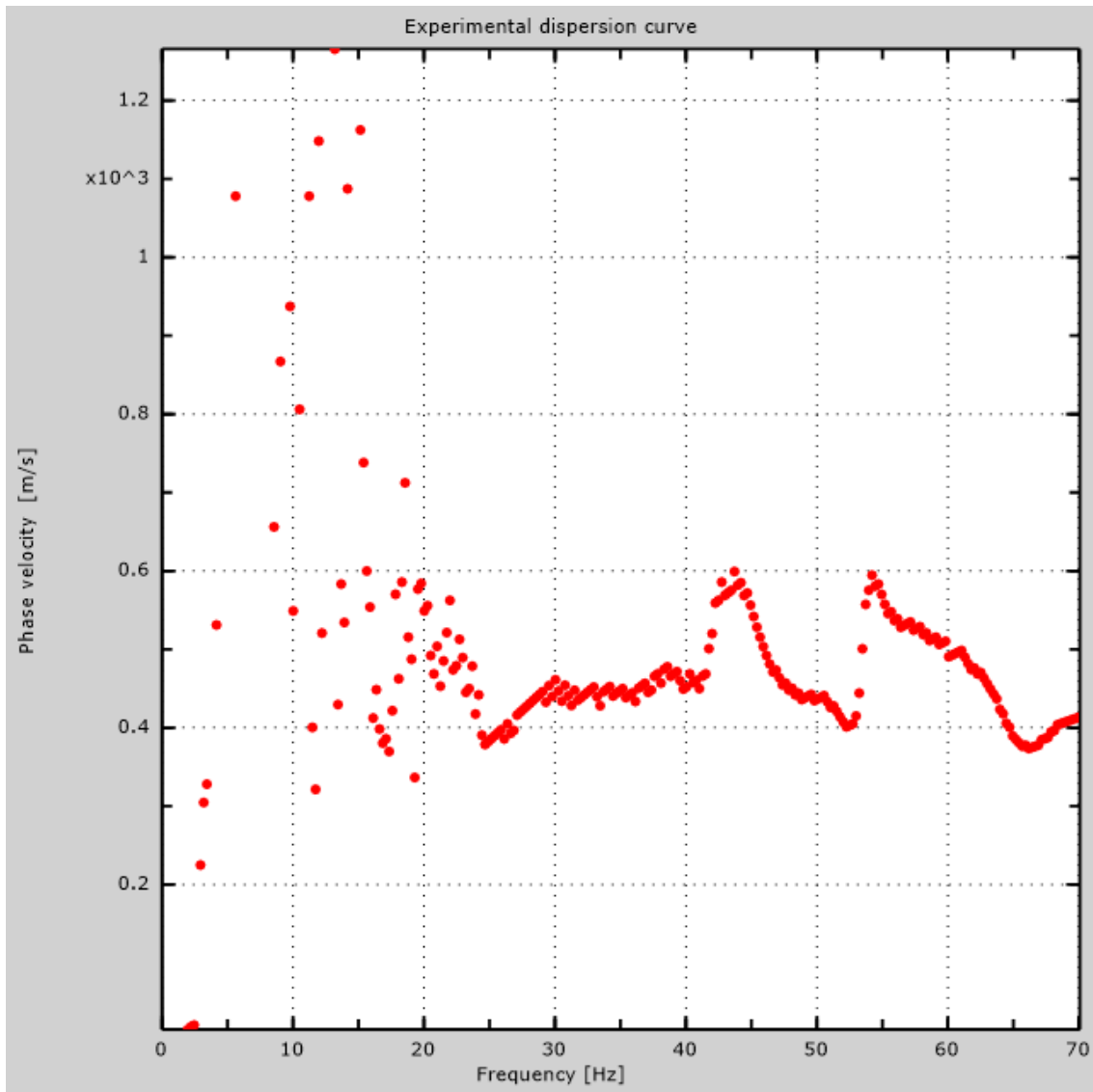


Figure 2: Experimental dispersion curve

### 3 - Analysis results (P)

Traces file name

G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-3\REMI\UHGQ5139.dat

Number of sensors ..... 24

Number of time samples ..... 3.26787e-312

Acquisition timestep ..... 2ms

Number of sensors used for the analysis..... 24

The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms

The interval considered for the analysis ends at ..... 65534ms

Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)

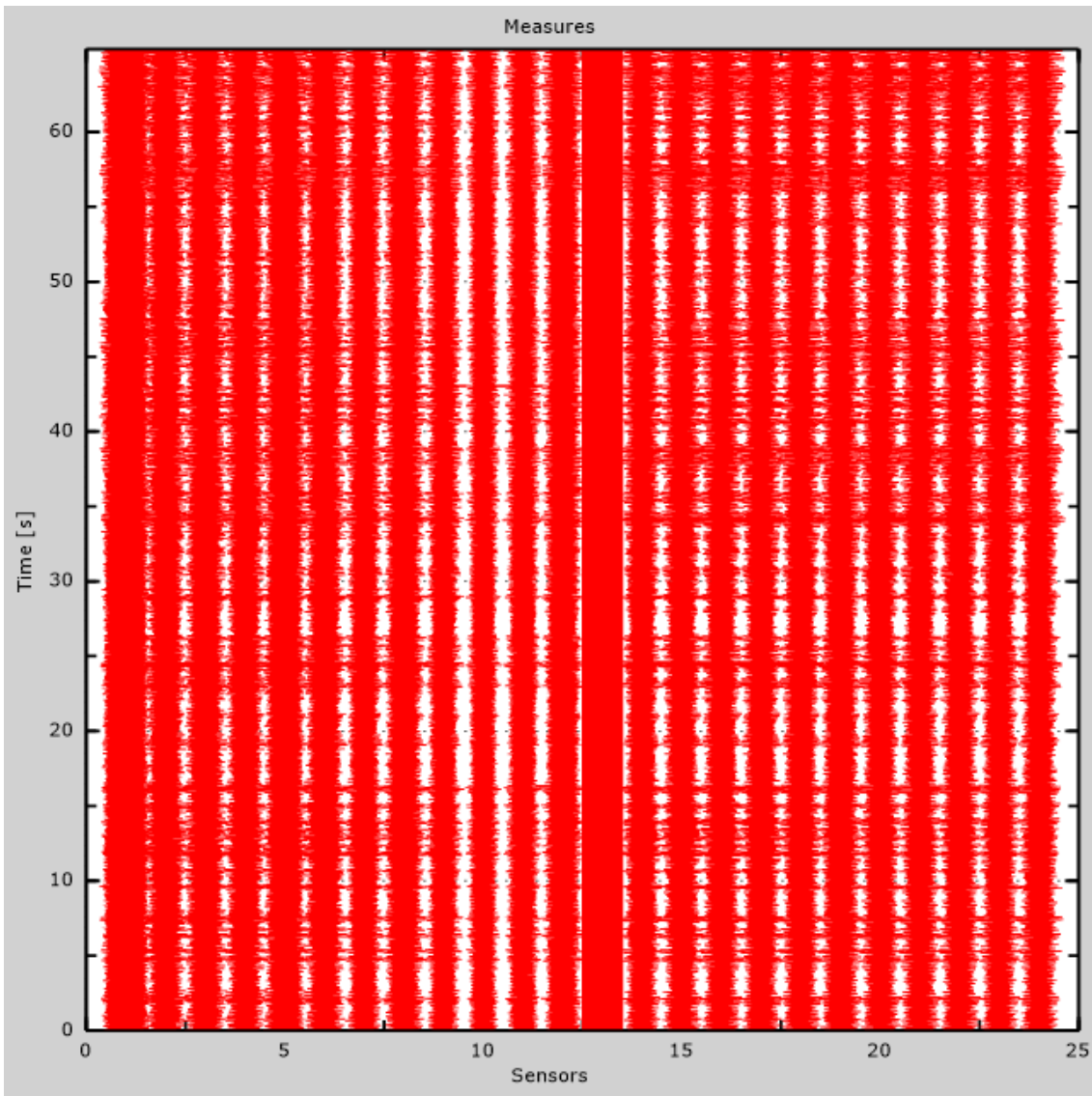


Figure 3: Experimental traces

## 4 - ESAC analysis

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-3\ESAC\UHGR2206.dat  
Number of sensors ..... 12  
Number of time samples ..... 327680  
Acquisition timestep ..... 2ms  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 655358ms  
Window duration ..... 10s  
Overlap ..... 0s  
Smoothing ..... 0.1  
Cleaning threshold ..... 0sd  
Number of iterations ..... 2

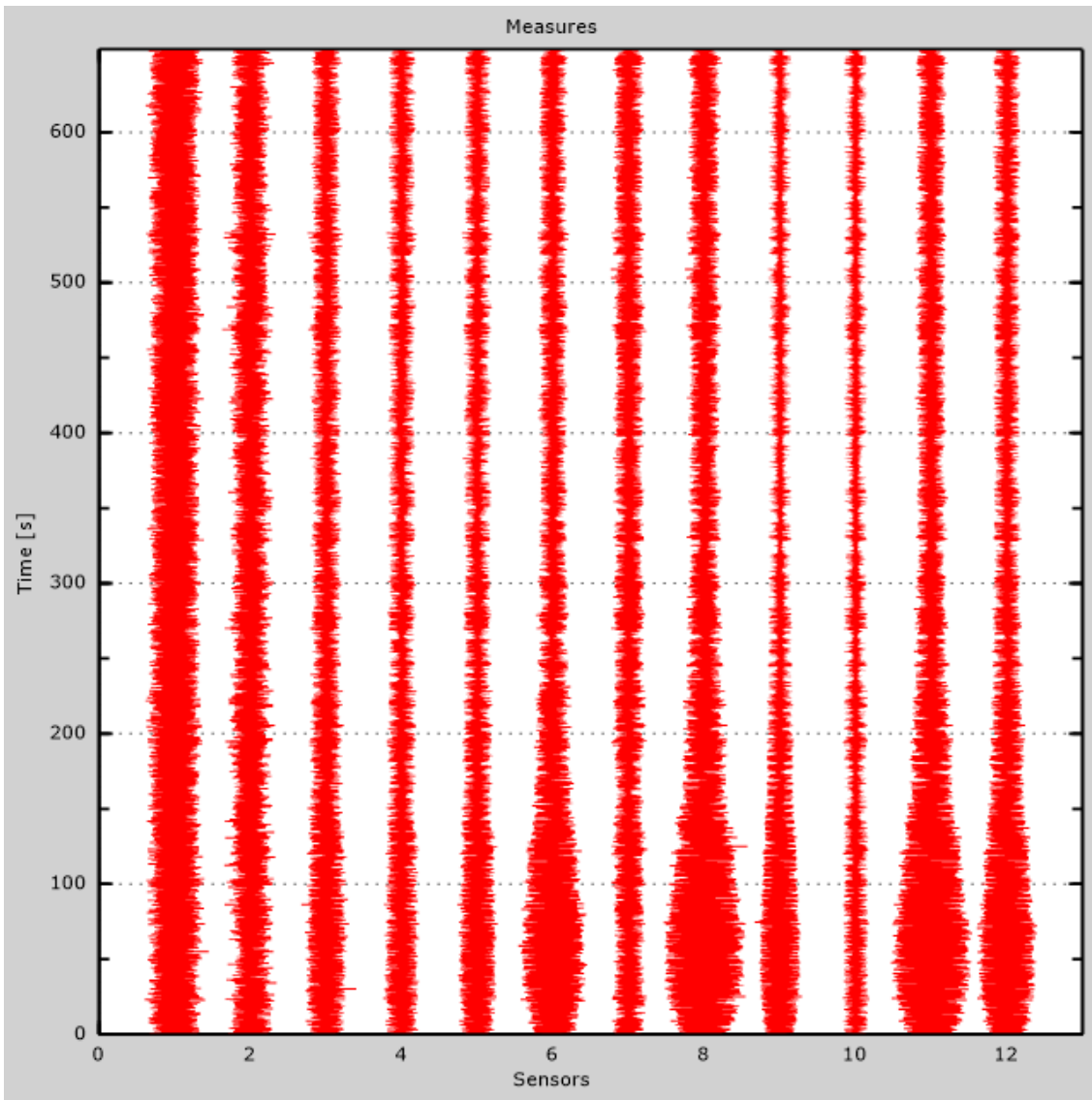


Figure 4: Experimental traces

Table 1: Geophones positions

X [m]	Y [m]
0	0
-5	0
-10	0
-15	0
-20	0
-25	0
-30	0
-35	0
-40	0
-40	2
-40	4

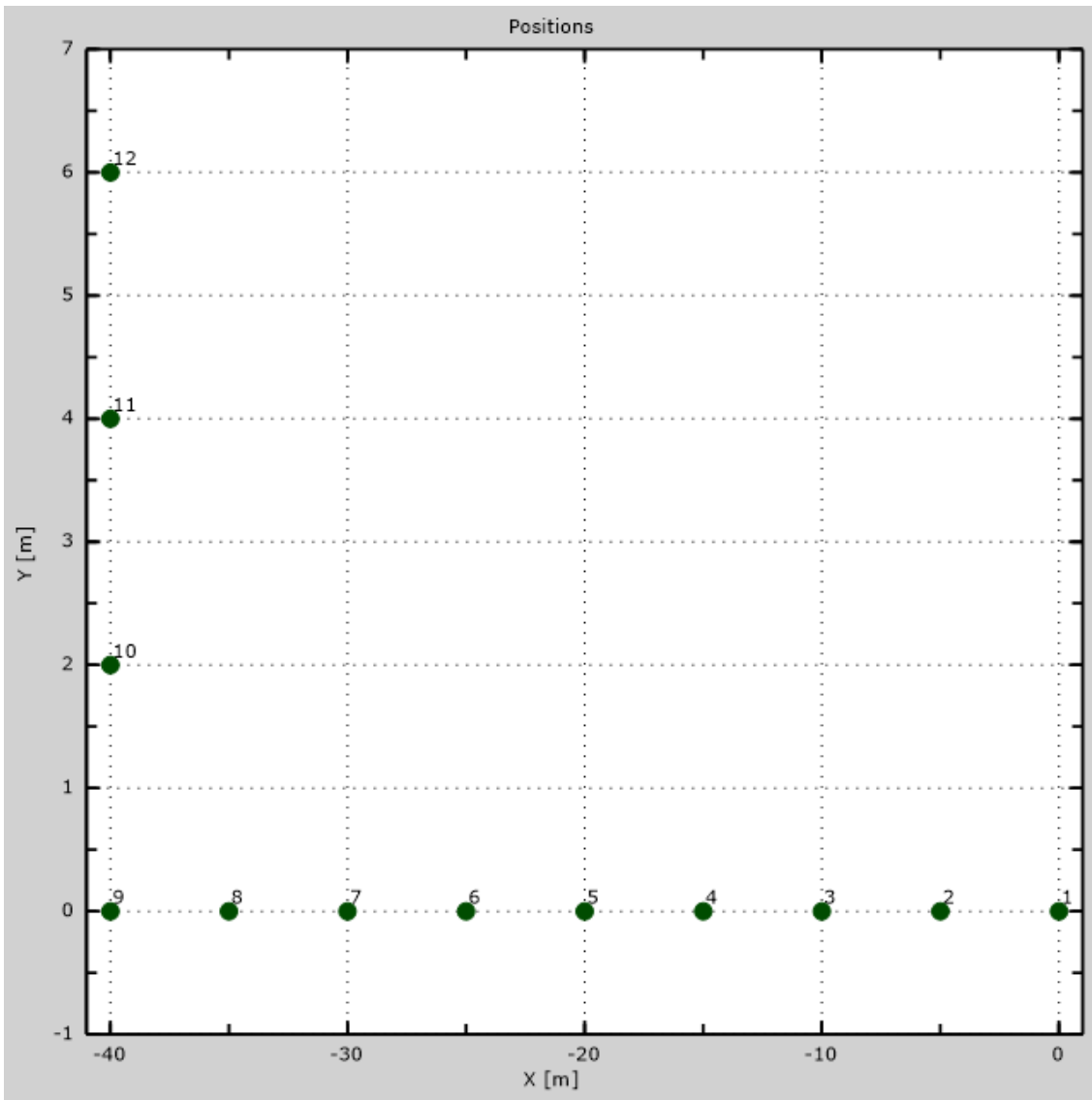


Figure 5: Geophones positions



## 5 - Dispersion curve

Table 2:Dispersion curve

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
5.31431	1569.31	1513.61	1625.01
5.56912	1398.49	1361.35	1435.62
6.20614	1461.62	1450.48	1472.76
6.88563	1413.34	1398.49	1428.2
7.20415	1227.67	1179.39	1275.94
7.71376	915.729	874.88	956.578
8.11721	830.318	800.609	860.026
10.7502	607.506	421.829	793.182
13.1922	410.689	321.564	499.813
13.7655	399.548	388.407	410.689
14.8909	418.116	399.548	436.683
16.0375	403.262	384.694	421.829
18.0336	440.397	425.543	455.251
19.2014	462.678	451.537	473.819
20.3268	484.959	455.251	514.668
21.6221	525.808	488.673	562.943
23.4549	447.771	437.998	457.543
26.3274	405.749	397.931	413.567
28.6751	440.93	434.089	447.771

32.2658	439.953	431.158	448.748
34.9173	445.816	441.907	449.725
36.6831	454.488	448.384	460.592
39.253	466.696	454.488	478.904
41.2723	466.696	448.384	485.008
43.2915	570.462	558.254	582.67
45.2189	546.047	521.631	570.462
46.871	466.696	460.592	472.8
48.8902	436.177	411.761	460.592
51.3684	423.969	411.761	436.177
52.6533	405.657	399.553	411.761

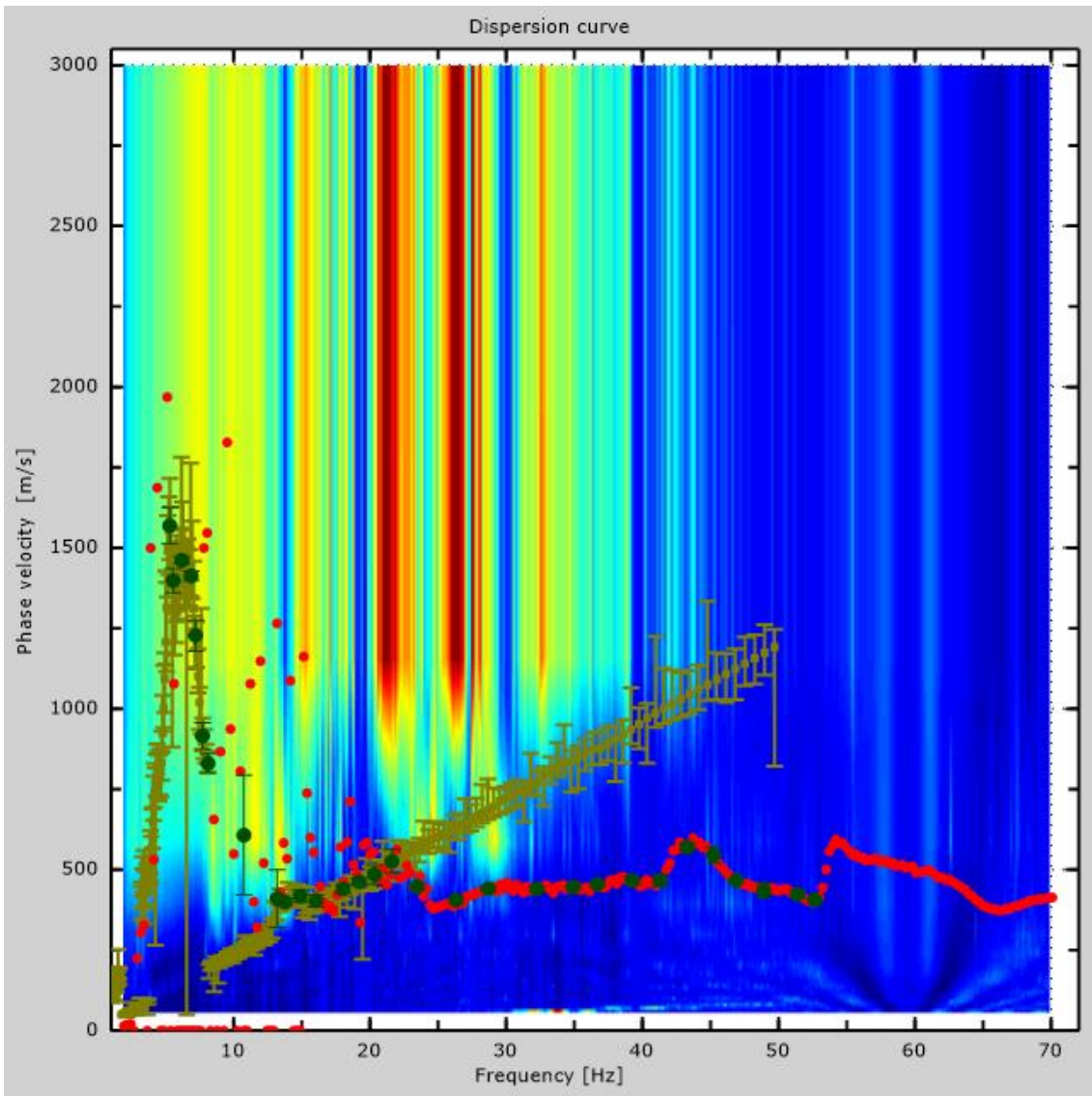


Figure 6: Dispersion curve

## 6 - Field profile

Number of layers (half-space excluded).....	9
Receivers spacing.....	1.5m
Number of receivers.....	12
Number of modes.....	1

### Layer 1

h [m].....	3
z [m].....	-3
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1944
Poisson .....	0.25
Vs [m/s].....	451
Vp [m/s] .....	781
Vs min [m/s] .....	225
Vs max [m/s].....	677
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	451

### Layer 2

h [m].....	2
z [m].....	-5
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2076
Poisson .....	0.32
Vs [m/s].....	587
Vp [m/s] .....	1141
Vs min [m/s] .....	242
Vs max [m/s].....	881
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	587

### Layer 3

h [m].....	3
z [m].....	-8
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1911
Poisson .....	0.32
Vs [m/s].....	421
Vp [m/s] .....	818

Vs min [m/s] .....	225
Vs max [m/s].....	632
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	421

### Layer 4

h [m].....	4
z [m] .....	-12
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1966
Poisson .....	0.33
Vs [m/s].....	472
Vp [m/s] .....	937
Vs min [m/s] .....	224
Vs max [m/s].....	708
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	472

### Layer 5

h [m].....	4
z [m] .....	-16
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1911
Poisson .....	0.32
Vs [m/s].....	421
Vp [m/s] .....	818
Vs min [m/s] .....	228
Vs max [m/s].....	632
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	421

### Layer 6

h [m].....	7
z [m] .....	-23
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2150
Poisson .....	0.3
Vs [m/s].....	675
Vp [m/s] .....	1263
Vs min [m/s] .....	338
Vs max [m/s].....	1013
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	

Vs fin.[m/s] .....675

### Layer 7

h [m] ..... 4

z [m] .....-27

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2726

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 1744

Vp [m/s] ..... 3021

Vs min [m/s] ..... 338

Vs max [m/s] ..... 2616

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 1744

### Layer 8

h [m] ..... 6

z [m] .....-33

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2726

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 1744

Vp [m/s] ..... 3021

Vs min [m/s] ..... 338

Vs max [m/s] ..... 2616

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 1744

### Layer 9

h [m] ..... 0

z [m] .....-00

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2726

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 1744

Vp [m/s] ..... 3021

Vs min [m/s] ..... 872

Vs max [m/s] ..... 3487

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 1744

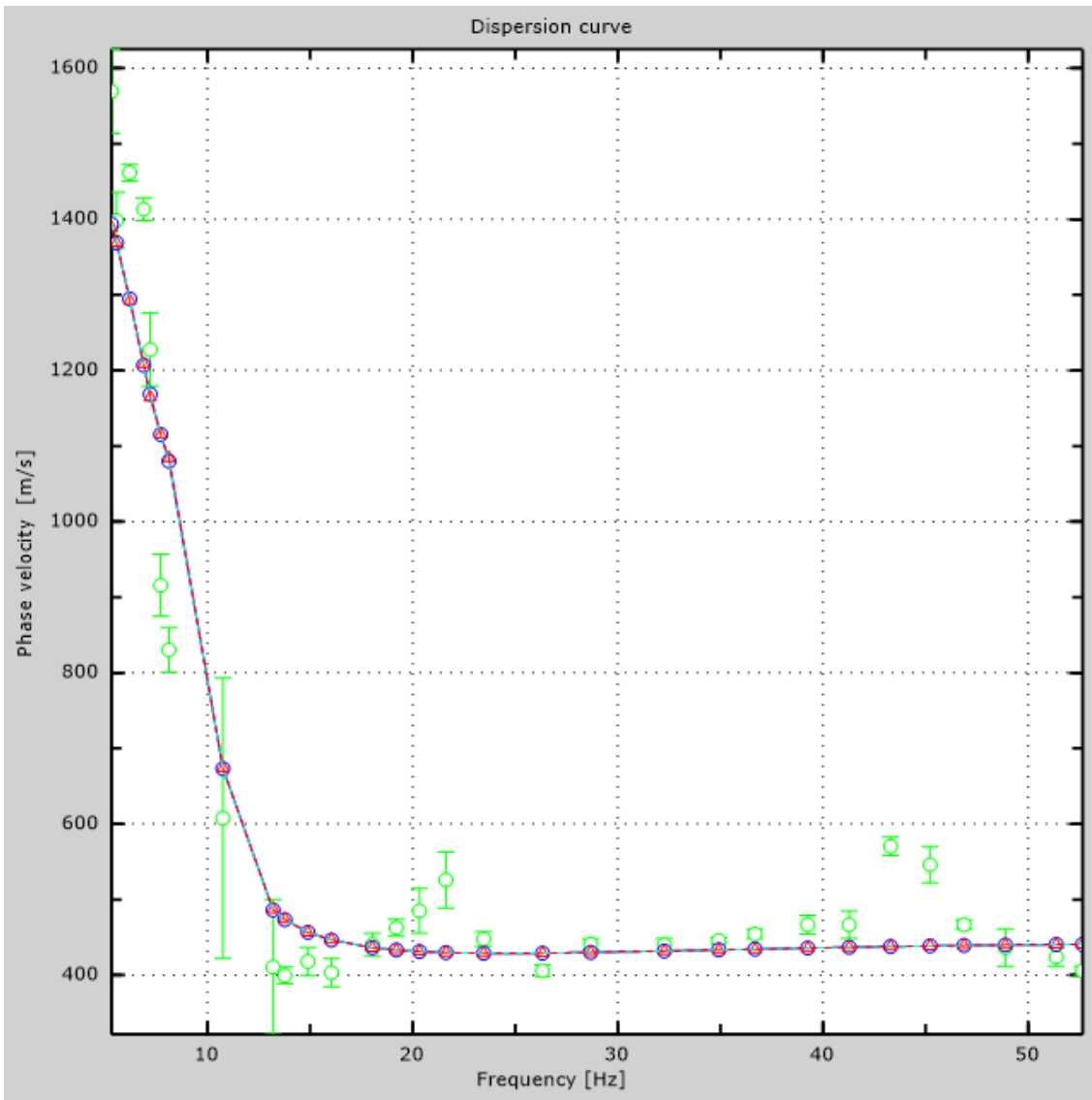


Figure 7: Numerical velocities - experimental points (green), Rayleigh modes (cyan), apparent curve (blue), numerical curve (red)

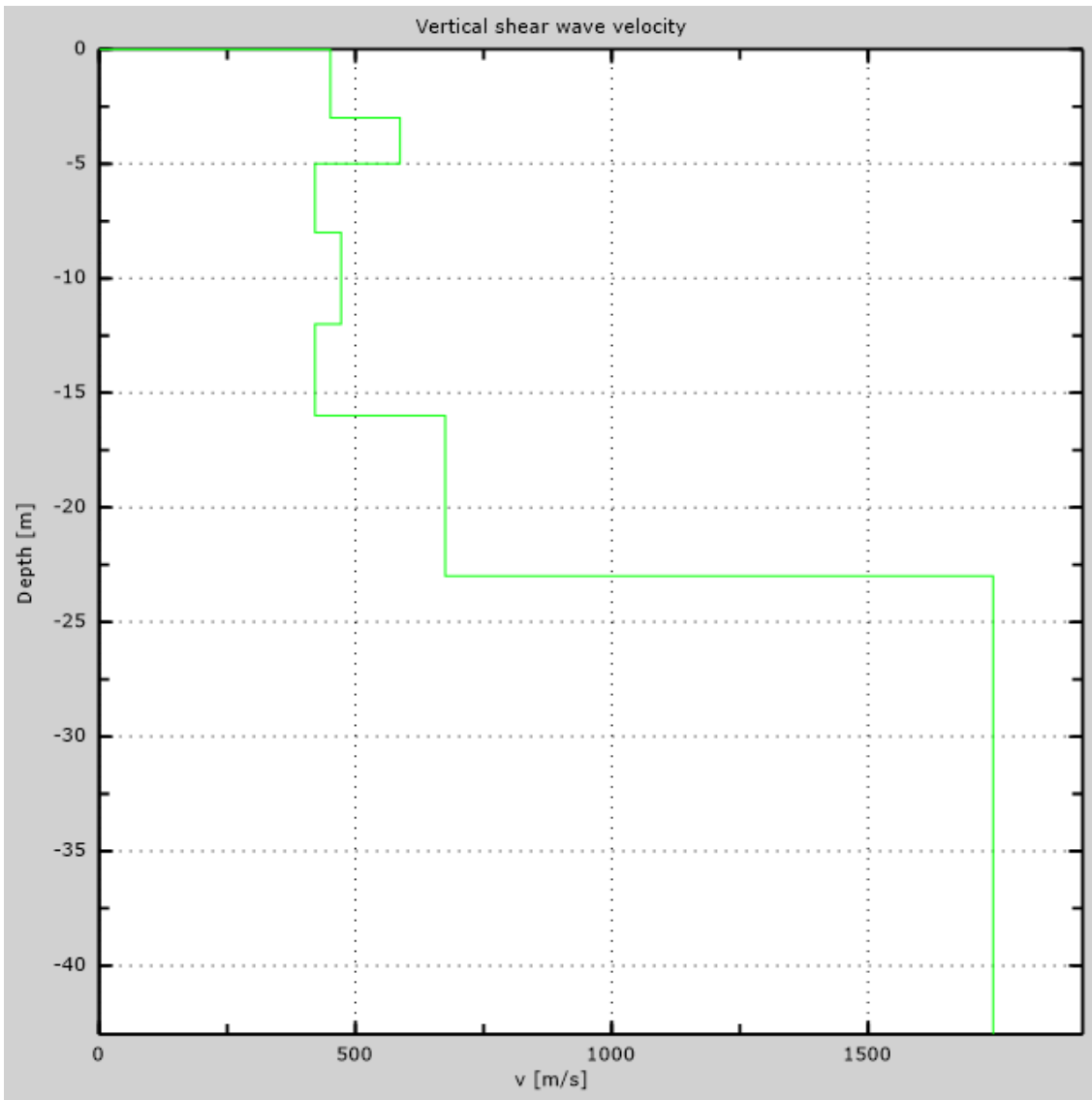


Figure 8: Numerical Vs profile



## 7 - Final results

Reference plane  $z=0$  [m] .....0

Vs30 [m/s] .....605

You are using the definitions included in DM 14 gennaio 2008

The site does belongs to classes A, B, C, D, E or S1 (alluvional soil, gravel, sand, silt, clay, rock).

The site is not susceptible to liquefaction or there is not sensitive clay.

The geotechnic unit 6 is the bed rock

**Soil type** .....**S2**

# Appendix

## Type of ground

Type A: Rock or other rock-like geological formation, including at most 3 m of weaker material at the surface

Type B: Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least 30 m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth,  $V_{s30}$  between 360 m/s and 800 m/s

Type C: Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel or stiff clay with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  between 180 m/s and 360 m/s

Type D: Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  lower than 180 m/s

Type E: A soil profile consisting of a surface alluvium layer with  $v_s$  values of type C or D and thickness lower than 20 m, underlain by stiffer material with  $v_s > 800$  m/s

Type S1: Deposits of soils with  $V_{s30} < 100$  m/s (or  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), which include a layer of fine-grained and low consistency soil with a thickness greater than 8 m, or a layer of peat or highly organic clay with a thickness greater than 3 m.

Type S2: Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S1

# MASW Analysis Report

Author: Jorge Andrés Arízaga Altamirano, María Gabriela Ulloa Palacios  
Site: Mazar, vía de acceso  
Date: 10/04/2018

Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Experimental data

Traces file name .....  
Number of sensors ..... 24  
Sensors distance: ..... 1.5m  
Number of time samples ..... 16464  
Acquisition timestep ..... 0.125ms  
Number of sensors used for the analysis ..... 24  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 2057.88ms  
Sensors are reverted (the last one in the file is the first one for the analysis)

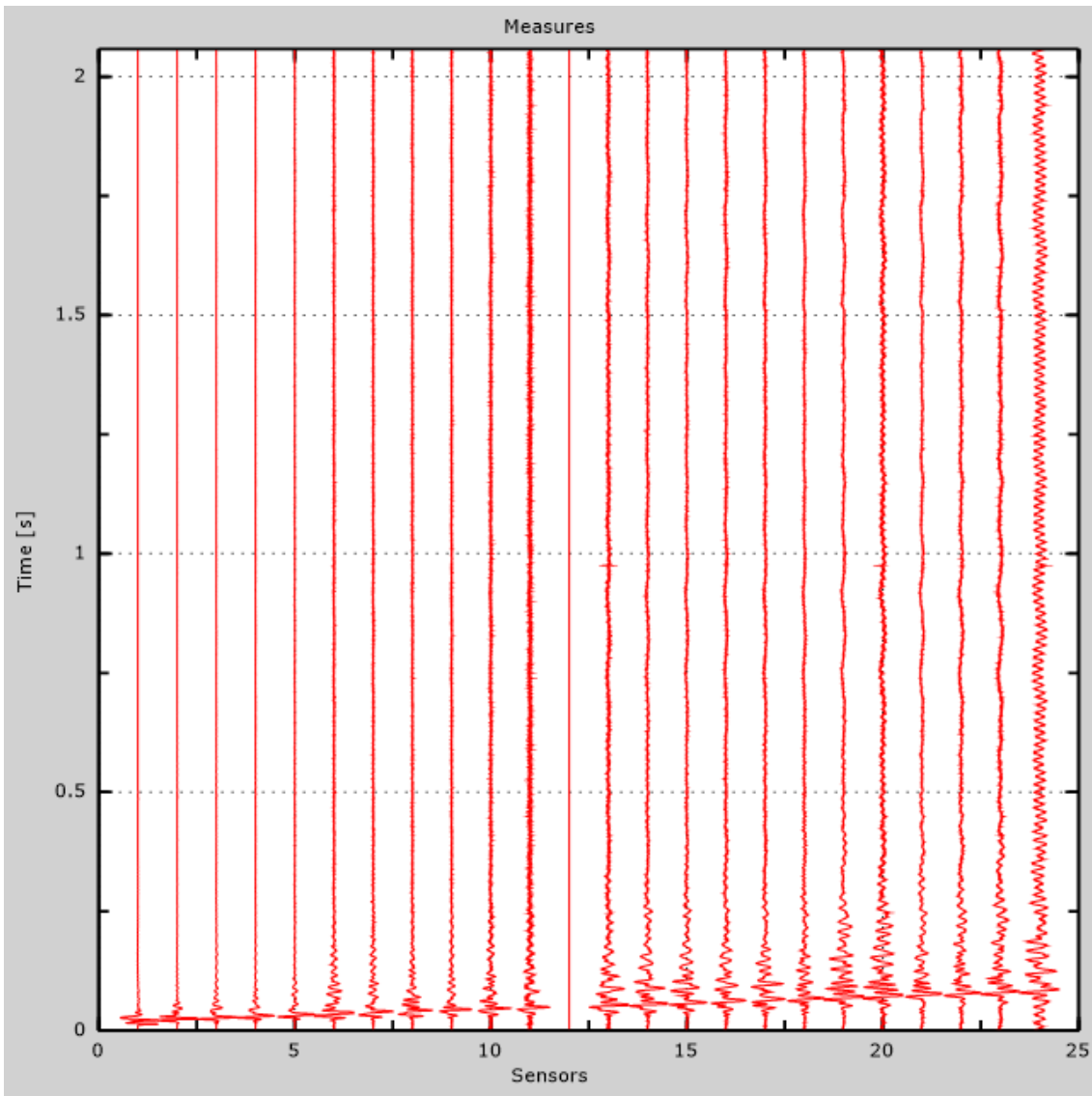


Figure 1: Experimental traces

## 2 - Analysis results

Final frequency ..... 70Hz  
Initial frequency ..... 2Hz

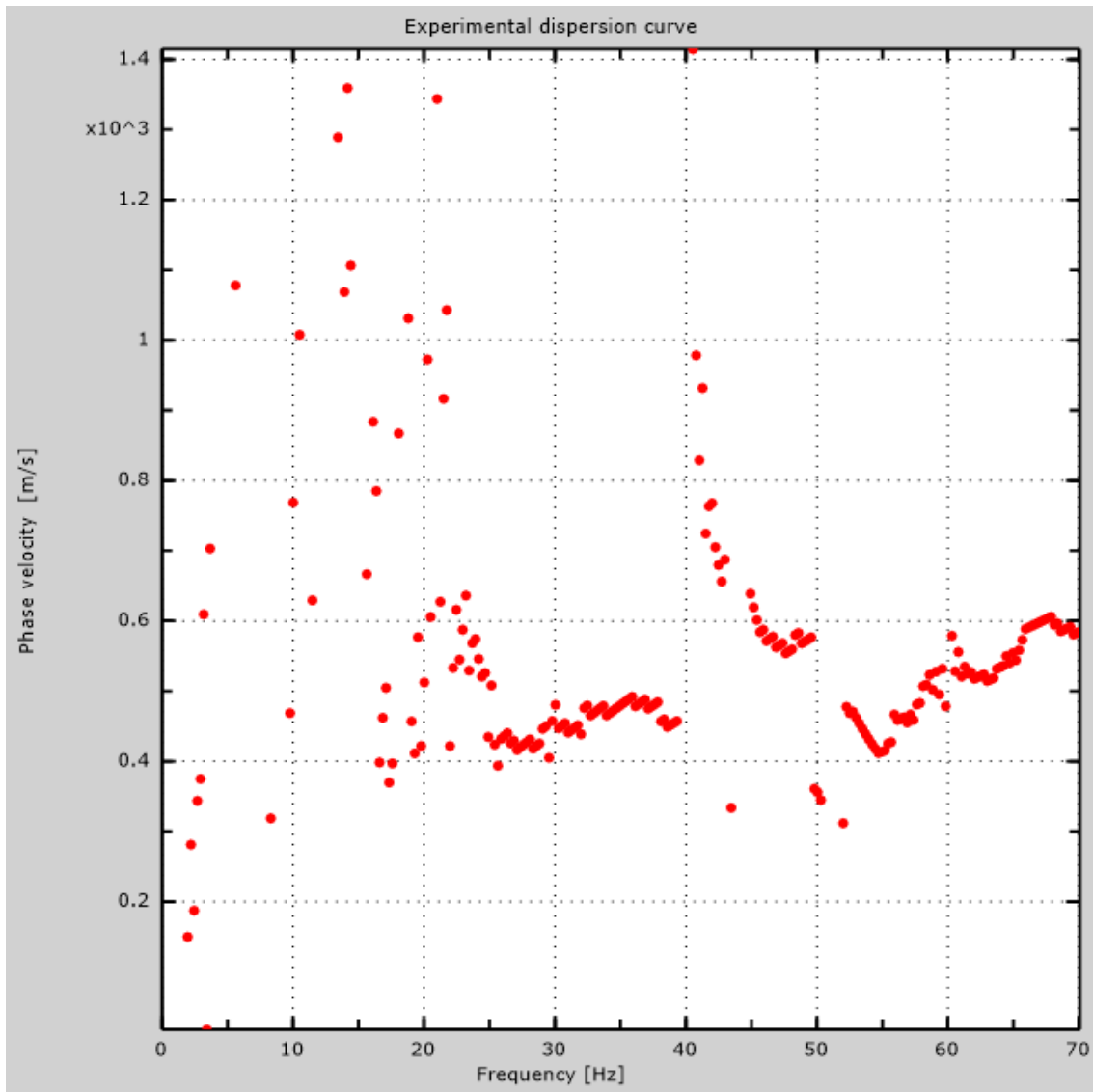


Figure 2: Experimental dispersion curve

### 3 - Analysis results (P)

Traces file name.....  
Number of sensors .....24  
Number of time samples .....3.26787e-312  
Acquisition timestep .....2ms  
Number of sensors used for the analysis.....24  
The interval considered for the analysis starts at .....0ms  
The interval considered for the analysis ends at .....65534ms  
Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)

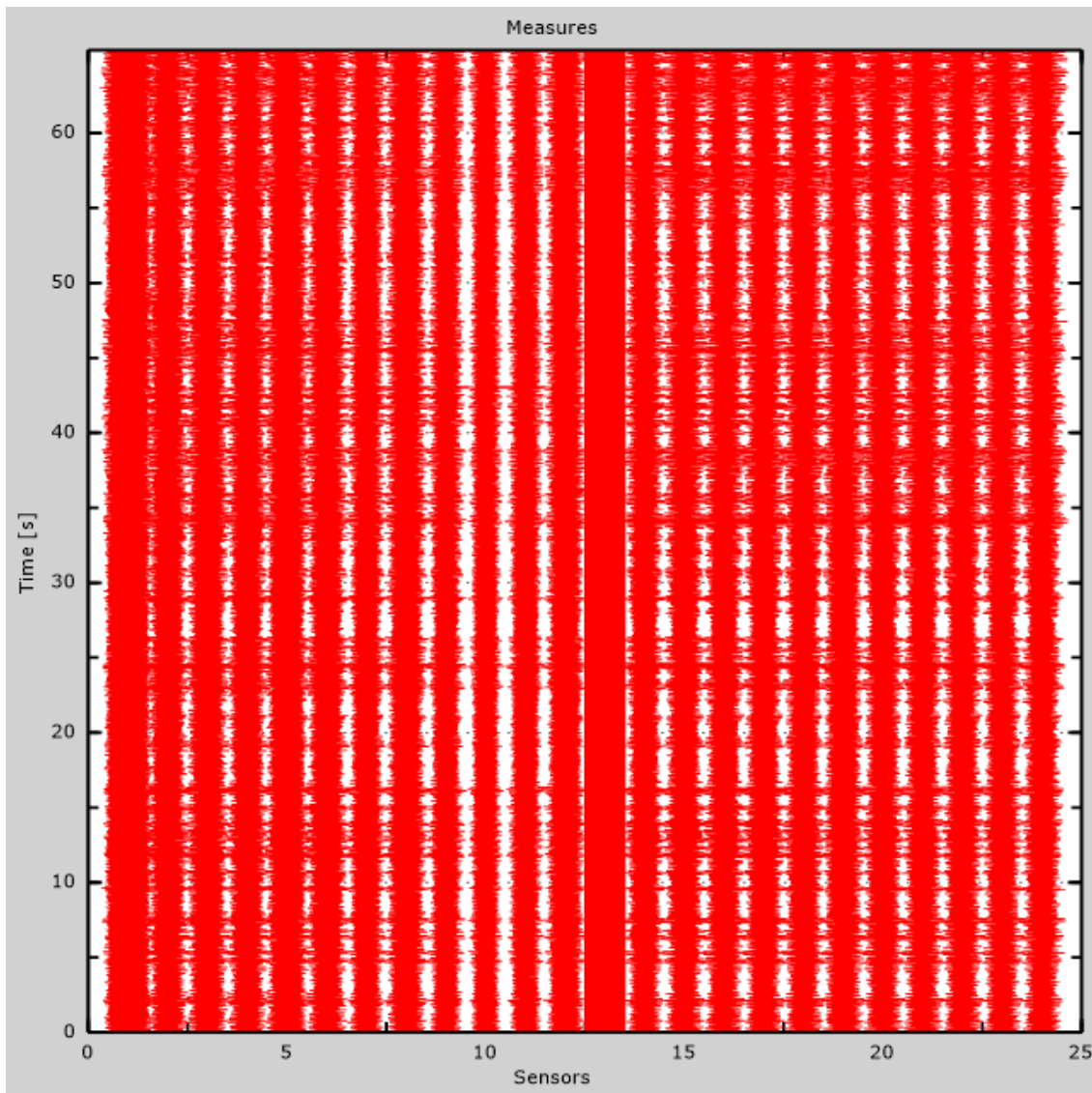


Figure 3: Experimental traces



## 4 - ESAC analysis

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-3\ESAC\UHGR2059.dat

Number of sensors .....	12
Number of time samples .....	327680
Acquisition timestep .....	2ms
The interval considered for the analysis starts at .....	0ms
The interval considered for the analysis ends at .....	655358ms
Window duration .....	10s
Overlap.....	0s
Smoothing .....	0.1
Cleaning threshold .....	0sd
Number of iterations .....	2

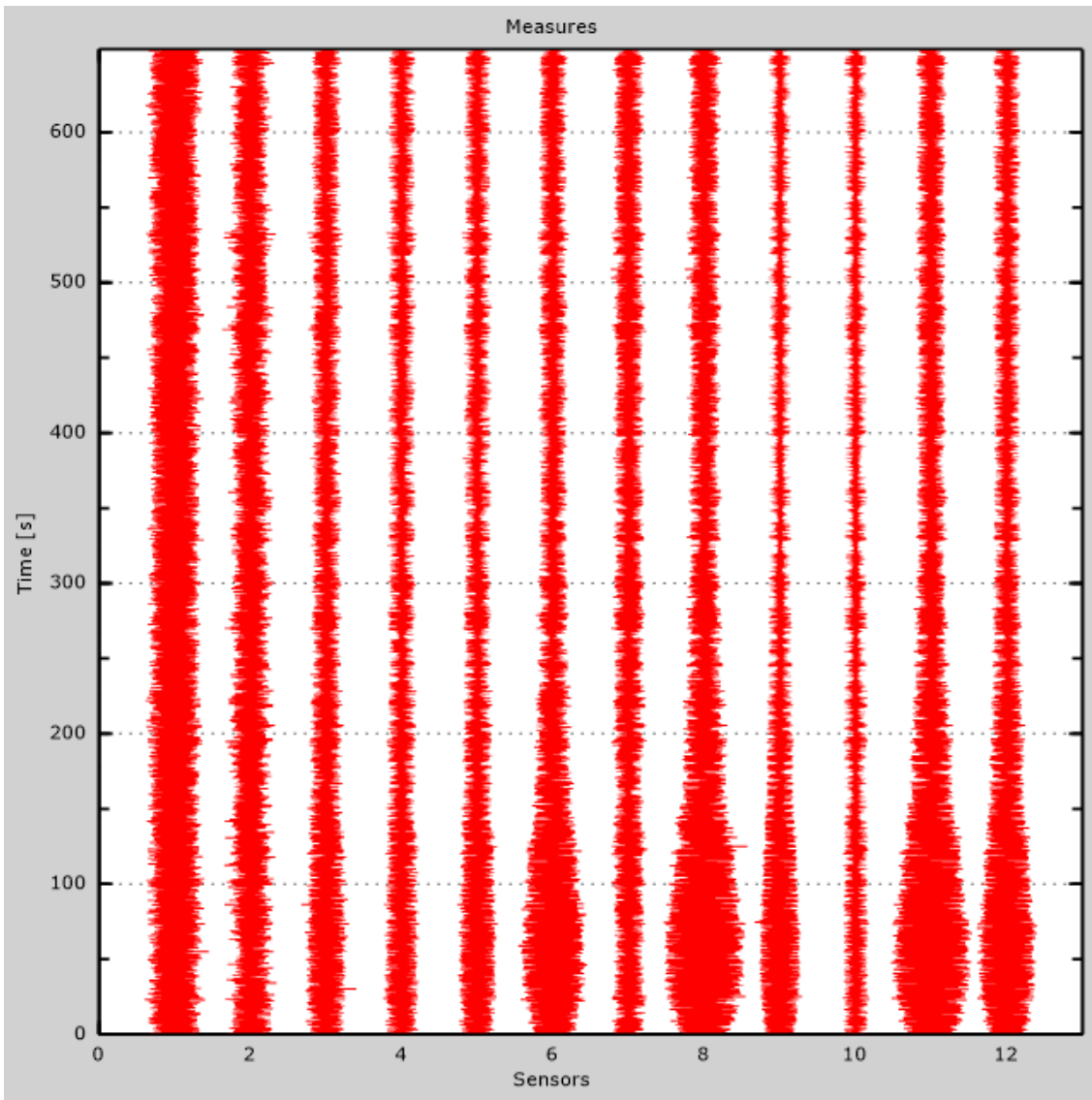


Figure 4: Experimental traces

Table 1: Geophones positions

X [m]	Y [m]
0	0
-5	0
-10	0
-15	0
-20	0
-25	0
-30	0
-35	0
-40	0
-40	2
-40	4

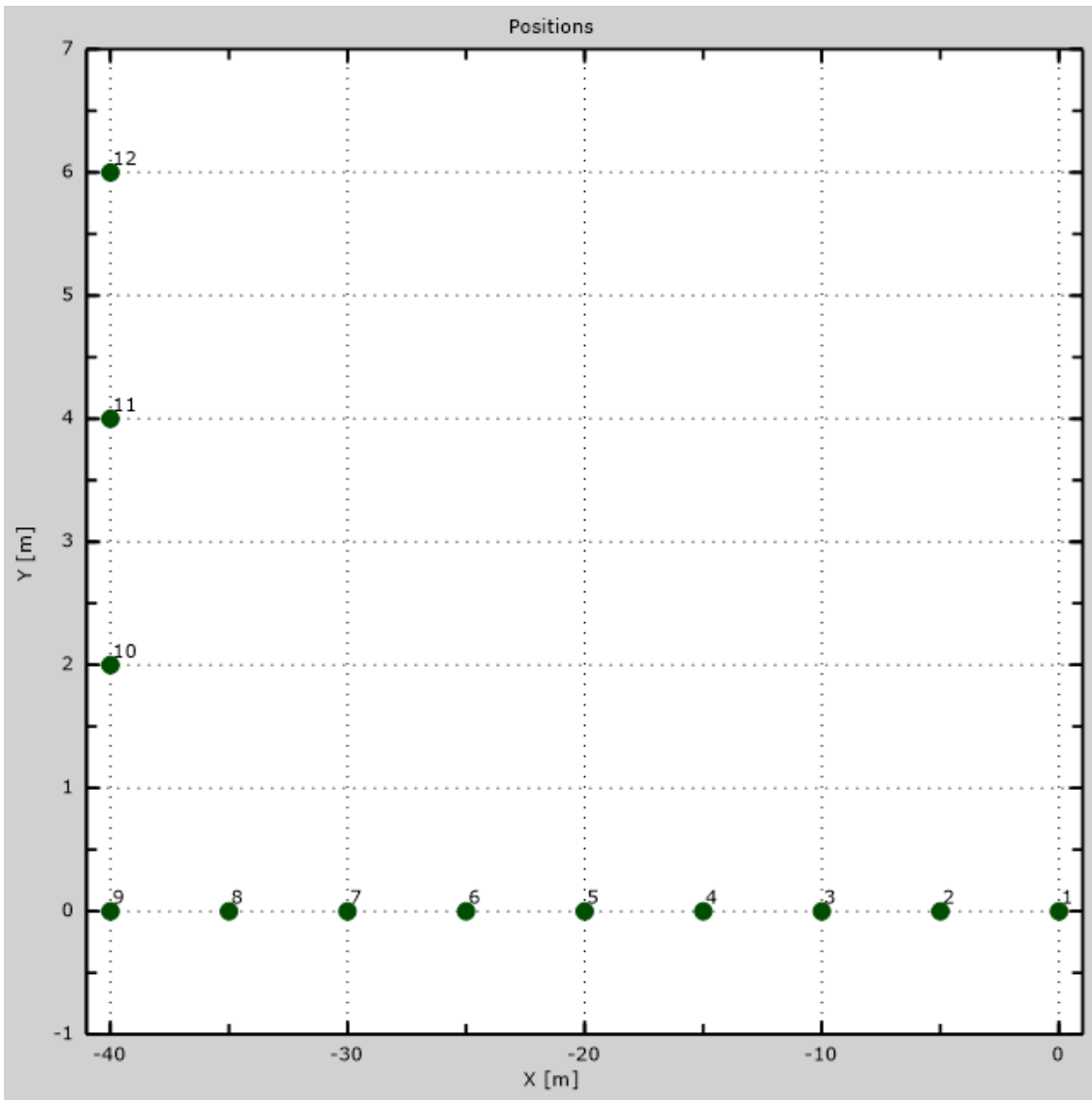


Figure 5: Geophones positions

## 5 - Dispersion curve

Table 2:Dispersion curve

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
6.26285	1472.05	1421.92	1522.18
6.8287	1421.92	1392.67	1451.16
7.16821	1233.92	1204.67	1263.16
7.50772	1016.68	983.254	1050.1
8.03584	824.501	807.79	841.212
9.20526	649.036	448.506	849.567
10.7142	569.66	394.195	745.124
12.8267	494.461	339.885	649.036
14.147	410.906	402.551	419.262
15.4673	385.84	373.307	398.373
16.6367	402.551	385.84	419.262
17.957	440.15	431.795	448.506
19.3905	473.572	456.861	490.283
20.8995	511.172	490.283	532.06
22.2575	540.416	506.994	573.837
23.6533	569.66	527.882	611.437
26.143	448.506	431.795	465.217
28.4441	423.439	419.262	427.617
31.3111	440.15	435.972	444.328

34.178	465.217	461.039	469.394
36.4414	481.927	473.572	490.283
38.7803	452.683	444.328	461.039

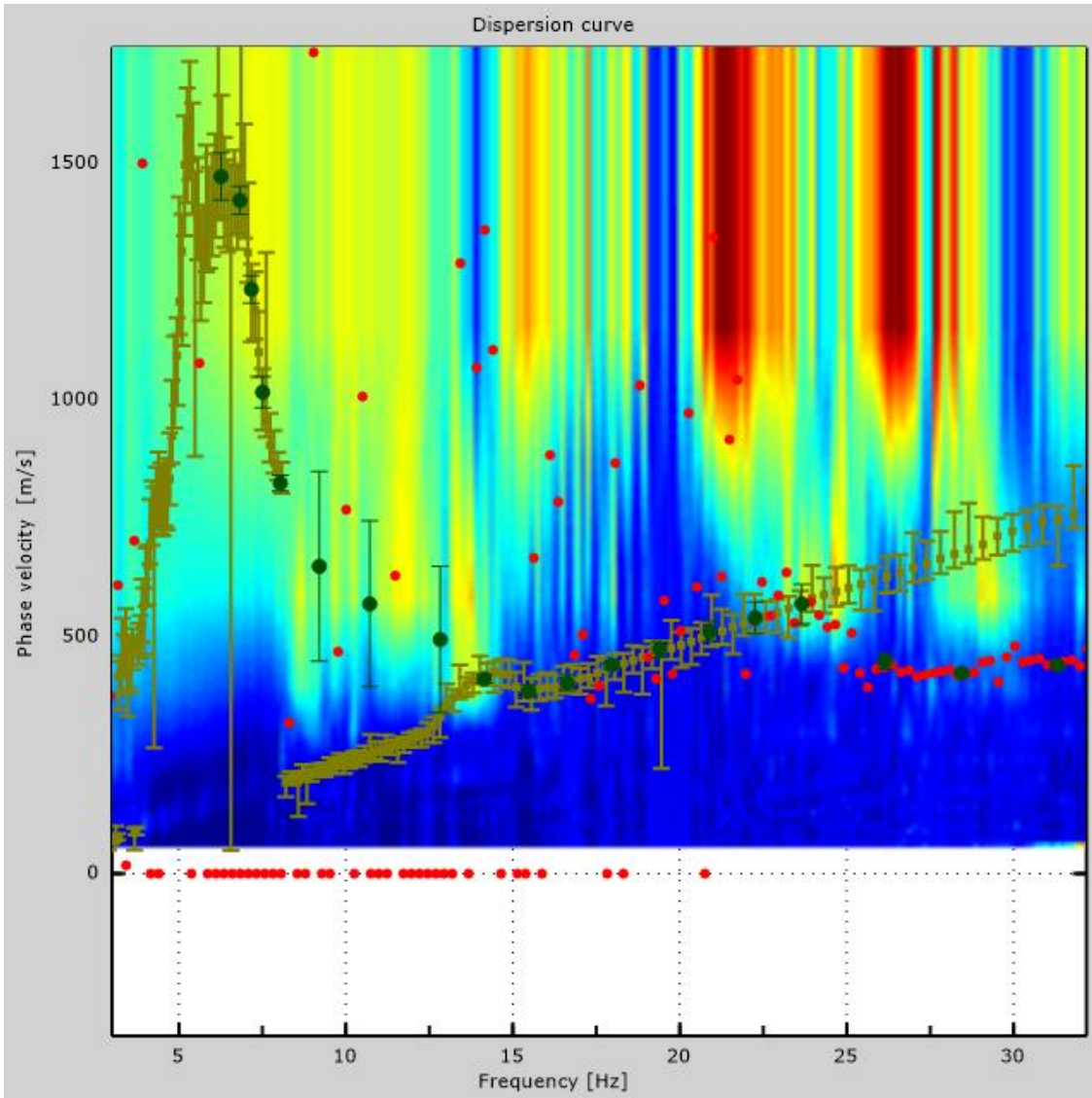


Figure 6: Dispersion curve

## 6 - Field profile

Number of layers (half-space excluded).....	9
Receivers spacing.....	1.5m
Number of receivers.....	24
Number of modes.....	1

### Layer 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1998
Poisson .....	0.25
Vs [m/s].....	503
Vp [m/s] .....	871
Vs min [m/s] .....	251
Vs max [m/s].....	1006
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	503

### Layer 2

h [m].....	3
z [m].....	-5
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1998
Poisson .....	0.28
Vs [m/s].....	503
Vp [m/s] .....	910
Vs min [m/s] .....	251
Vs max [m/s].....	755
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	503

### Layer 3

h [m].....	3
z [m].....	-8
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1993
Poisson .....	0.32
Vs [m/s].....	446
Vp [m/s] .....	867

Vs min [m/s] .....	249
Vs max [m/s].....	669
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	446

### Layer 4

h [m].....	4
z [m] .....	-12
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1920
Poisson .....	0.32
Vs [m/s].....	446
Vp [m/s] .....	867
Vs min [m/s] .....	214
Vs max [m/s].....	669
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	446

### Layer 5

h [m].....	4
z [m] .....	-16
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2042
Poisson .....	0.33
Vs [m/s].....	549
Vp [m/s] .....	1090
Vs min [m/s] .....	275
Vs max [m/s].....	824
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	549

### Layer 6

h [m].....	5
z [m] .....	-21
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2116
Poisson .....	0.33
Vs [m/s].....	633
Vp [m/s] .....	1257
Vs min [m/s] .....	316
Vs max [m/s].....	950
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	



Vs fin.[m/s] .....633

### Layer 7

h [m].....5

z [m].....-26

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2116

Poisson .....0.33

Vs [m/s].....633

Vp [m/s] .....1257

Vs min [m/s] .....316

Vs max [m/s].....950

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....633

### Layer 8

h [m].....6

z [m].....-32

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2186

Poisson .....0.33

Vs [m/s].....633

Vp [m/s] .....1257

Vs min [m/s] .....361

Vs max [m/s].....950

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....633

### Layer 9

h [m].....0

z [m].....-00

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2683

Poisson .....0.25

Vs [m/s].....1636

Vp [m/s] .....2834

Vs min [m/s] .....818

Vs max [m/s].....3271

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....1636

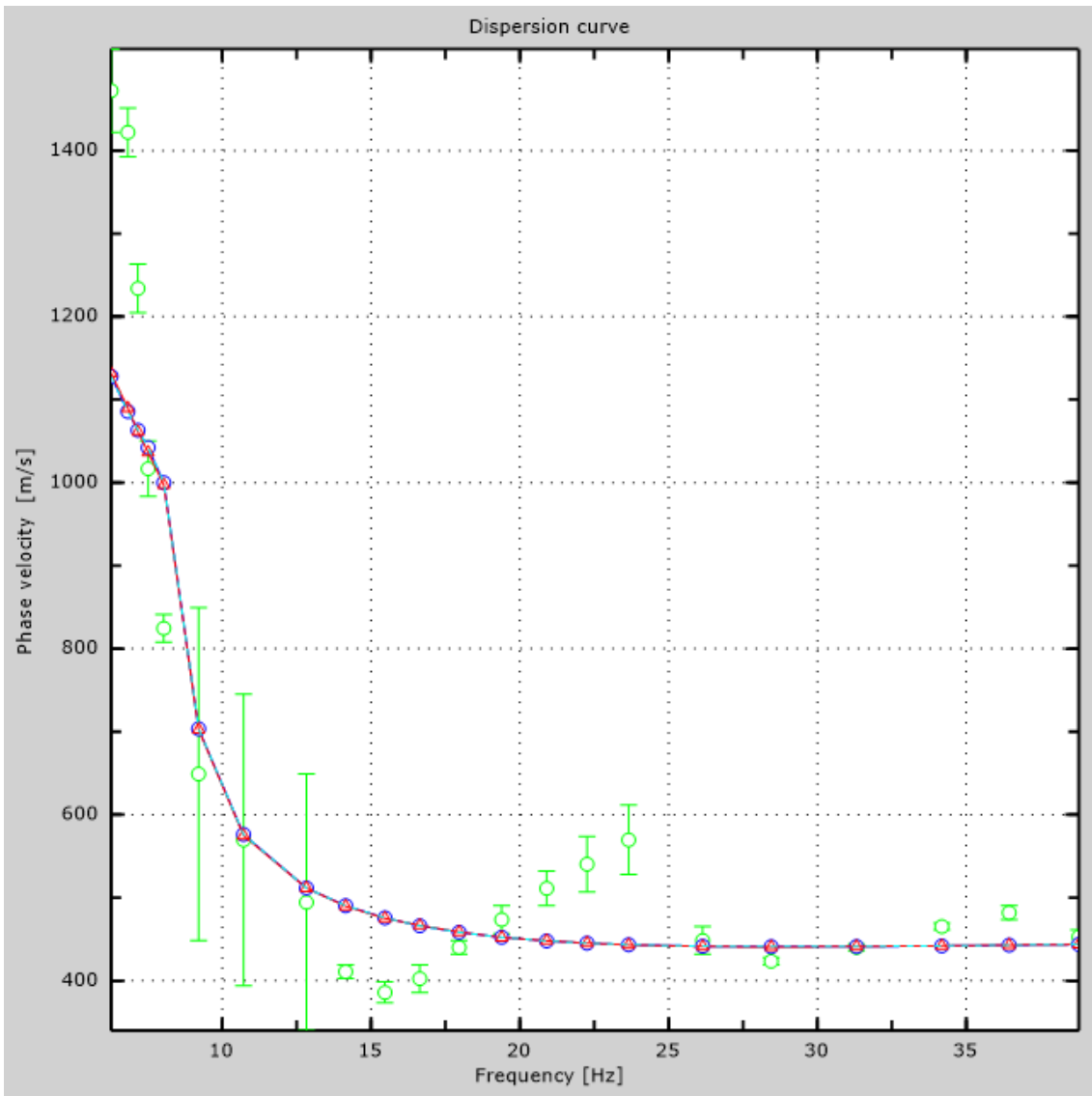


Figure 7: Numerical velocities - experimental points (green), Rayleigh modes (cyan), apparent curve (blue), numerical curve (red)

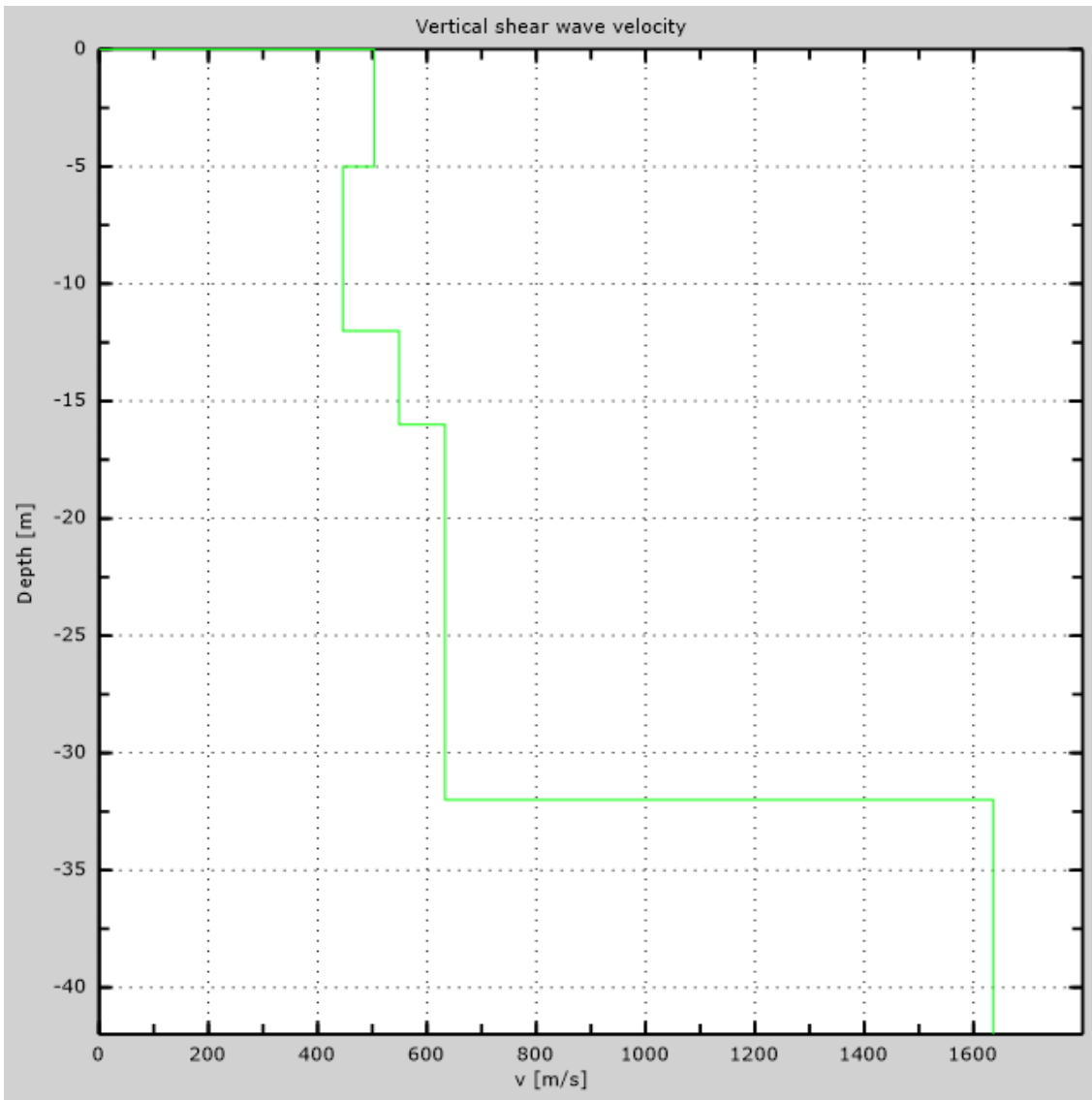


Figure 8: Numerical Vs profile

## 7 - Final results

Reference plane  $z=0$  [m] ..... 0

$V_{s30}$  [m/s] ..... 545

You are using the definitions included in DM 14 gennaio 2008

The site does belongs to classes A, B, C, D, E or S1 (alluvional soil, gravel, sand, silt, clay, rock).

The site is not susceptible to liquefaction or there is not sensitive clay.

The geotechnic unit 8 is the bed rock

The mechanic characteristics of the layers gradually improve with depth

**Soil type** ..... **B**

# Appendix

## Type of ground

Type A: Rock or other rock-like geological formation, including at most 3 m of weaker material at the surface

Type B: Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least 30 m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth,  $V_{s30}$  between 360 m/s and 800 m/s

Type C: Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel or stiff clay with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  between 180 m/s and 360 m/s

Type D: Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  lower than 180 m/s

Type E: A soil profile consisting of a surface alluvium layer with  $v_s$  values of type C or D and thickness lower than 20 m, underlain by stiffer material with  $v_s > 800$  m/s

Type S1: Deposits of soils with  $V_{s30} < 100$  m/s (or  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), which include a layer of fine-grained and low consistency soil with a thickness greater than 8 m, or a layer of peat or highly organic clay with a thickness greater than 3 m.

Type S2: Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S1

# MASW Analysis Report

Author: Jorge Andrés Arízaga Altamirano, María Gabriela Ulloa Palacios  
Site: Mazar, base aguas abajo  
Date: 05/04/2018

Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Experimental data

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-4\MASW\ULJJ5235.dat  
Number of sensors ..... 24  
Sensors distance: ..... 0m  
Number of time samples ..... 8232  
Acquisition timestep ..... 0.25ms  
Number of sensors used for the analysis ..... 24  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 2057.75ms  
Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)

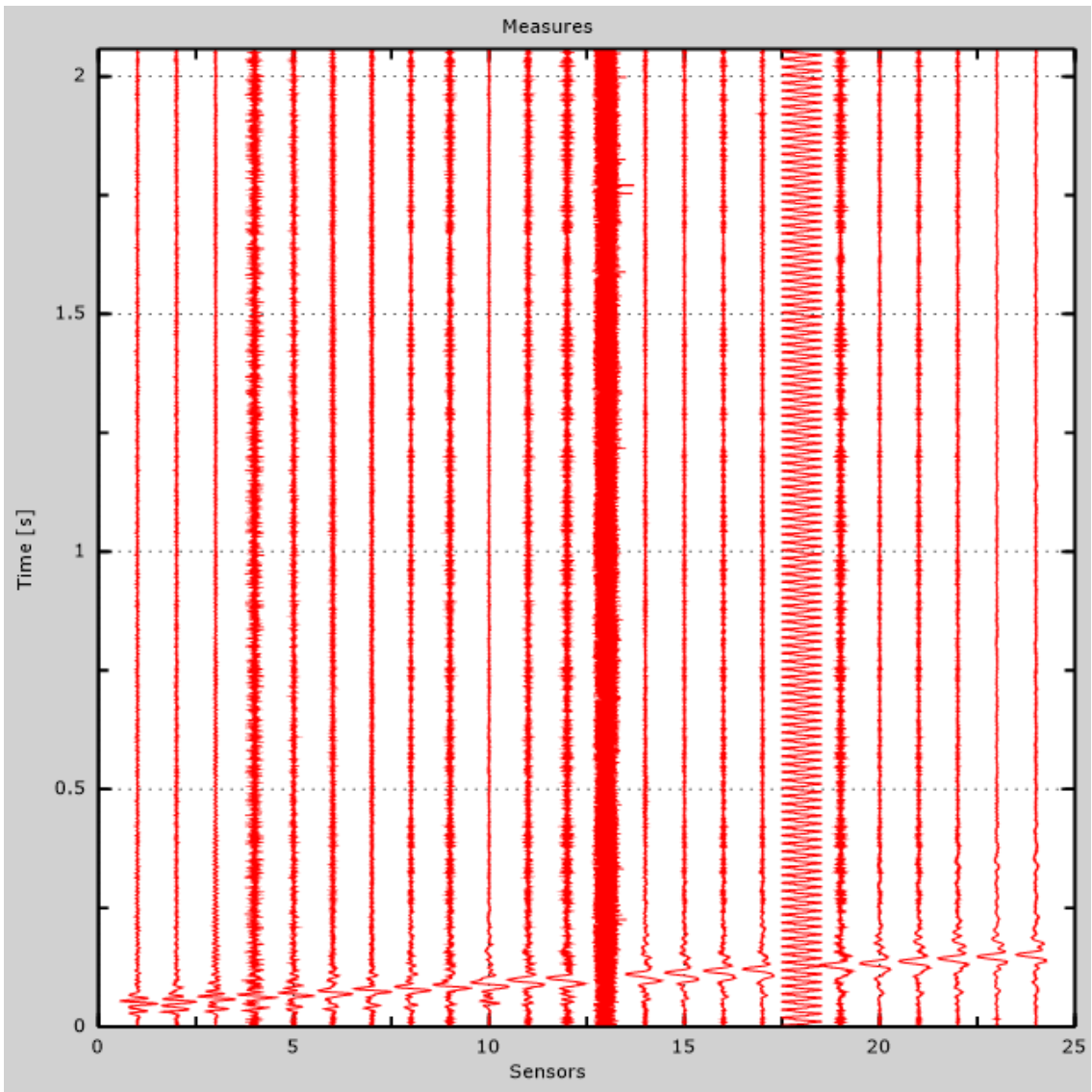


Figure 1: Experimental traces



## 2 - Analysis results

Final frequency ..... 70Hz  
Initial frequency ..... 2Hz

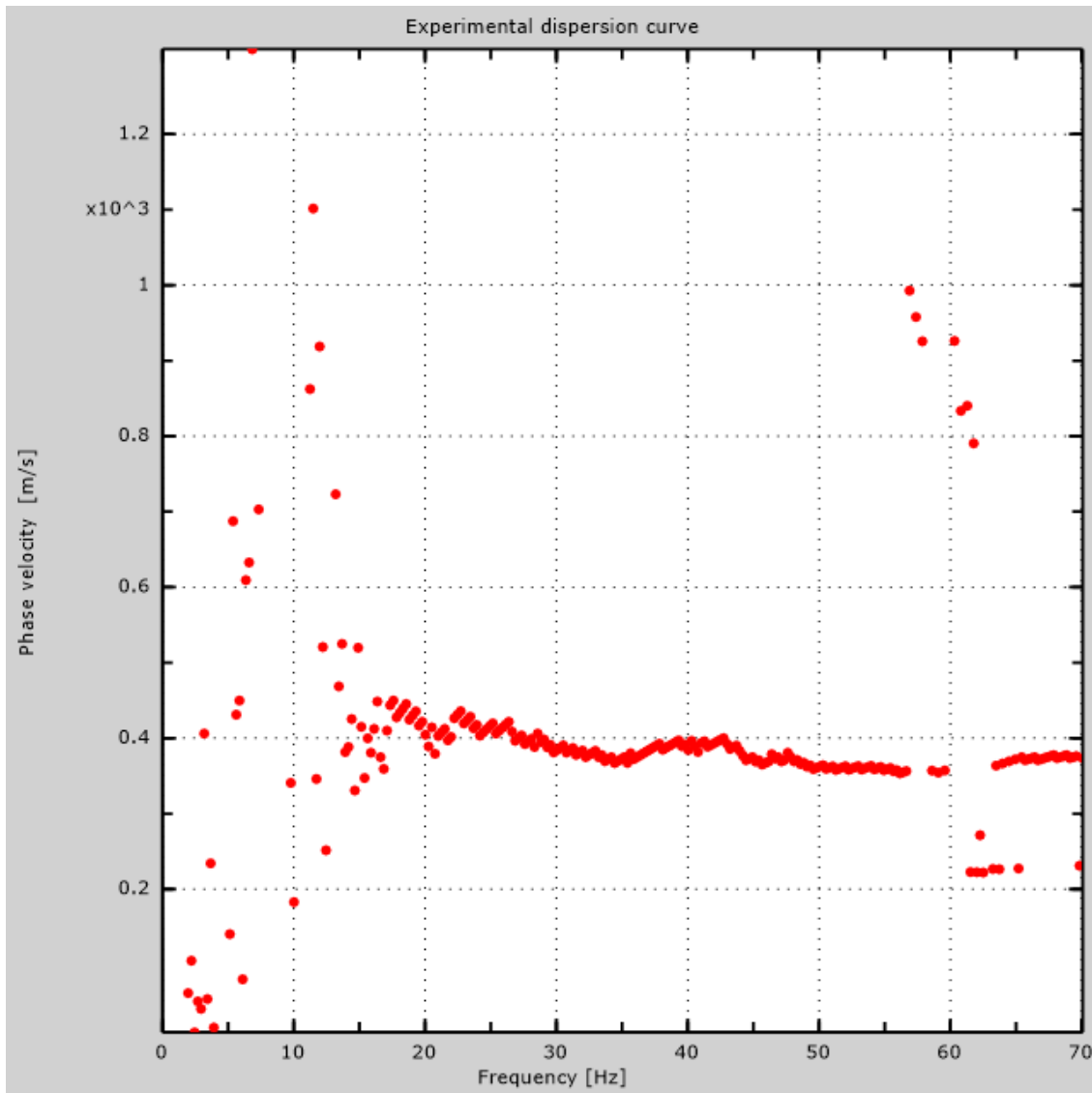


Figure 2: Experimental dispersion curve

### 3 - Analysis results (P)

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-4\REMI\ULJK0613.dat  
Number of sensors ..... 24  
Number of time samples ..... 3.26787e-312  
Acquisition timestep ..... 2ms  
Number of sensors used for the analysis..... 24  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 65534ms  
Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)

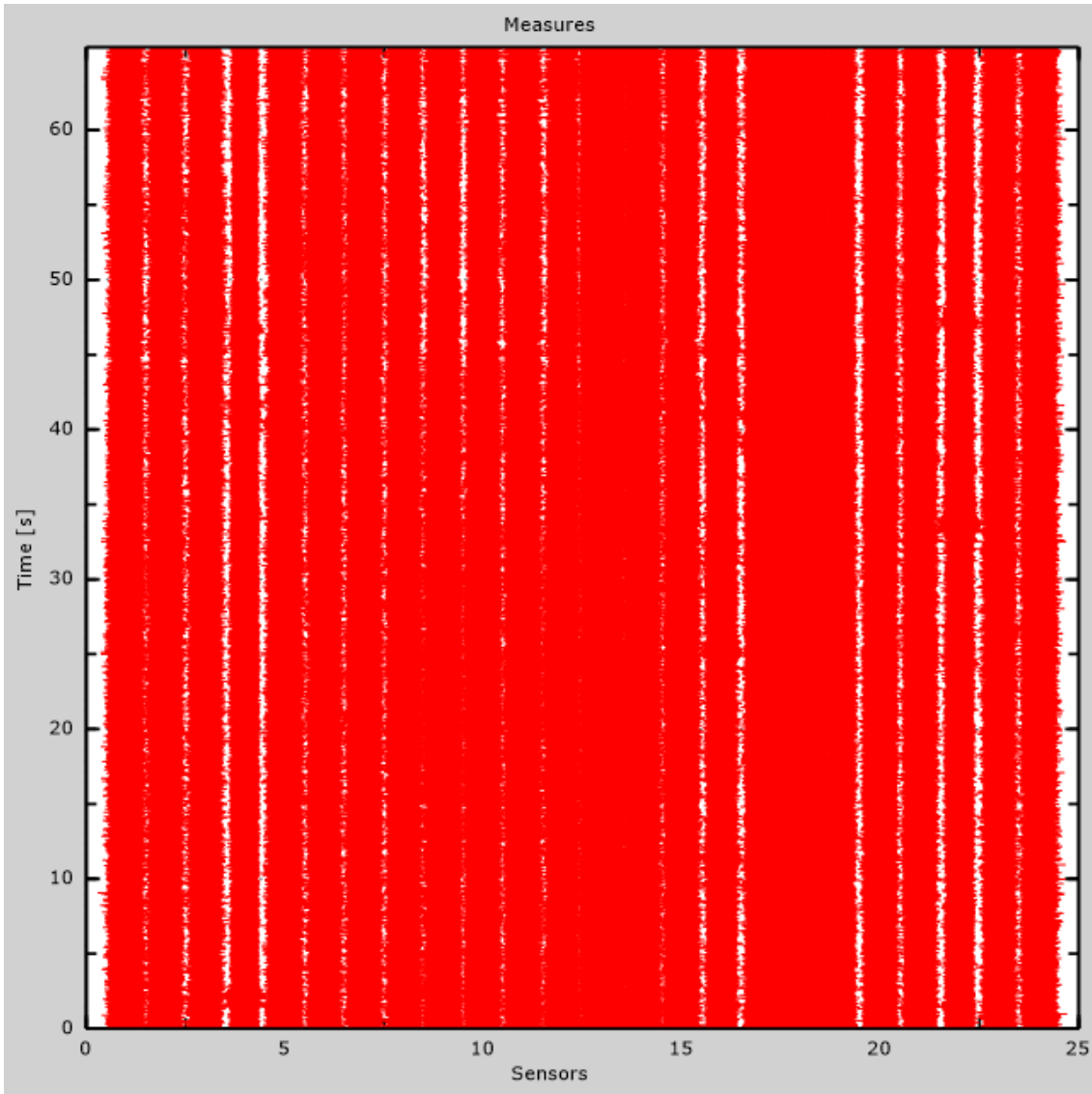


Figure 3: Experimental traces

## 4 - ESAC analysis

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-4\ESAC\ULJK4421.dat

Number of sensors .....	12
Number of time samples .....	327680
Acquisition timestep .....	2ms
The interval considered for the analysis starts at .....	0ms
The interval considered for the analysis ends at .....	655358ms
Window duration .....	10s
Overlap.....	0s
Smoothing .....	0.1
Cleaning threshold .....	0sd
Number of iterations .....	2

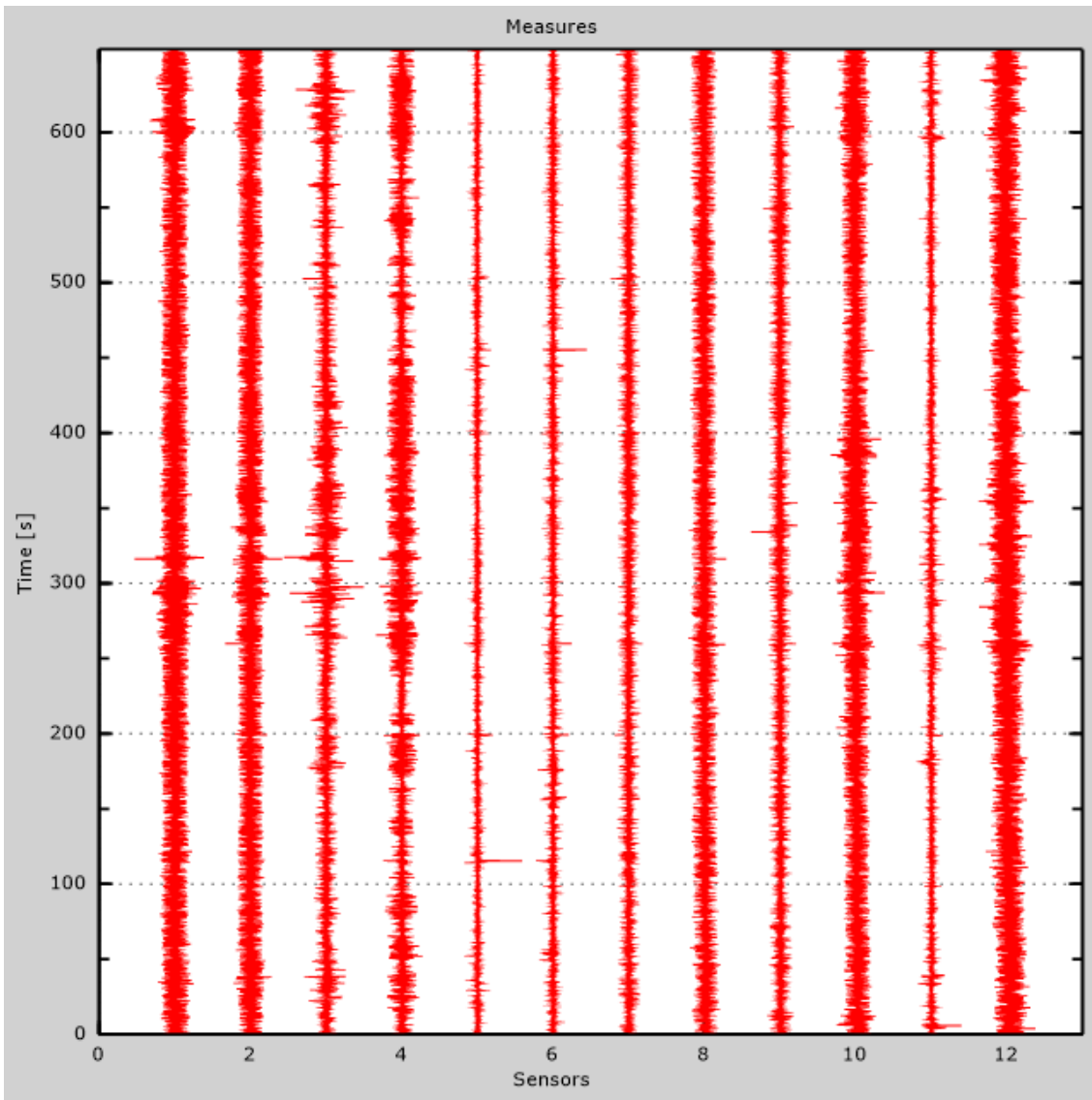


Figure 4: Experimental traces

Table 1: Geophones positions

X [m]	Y [m]
0	0
0	-4
0	-8
0	-12
0	-16
0	-20
5	-20
10	-20
15	-20
20	-20
25	-20

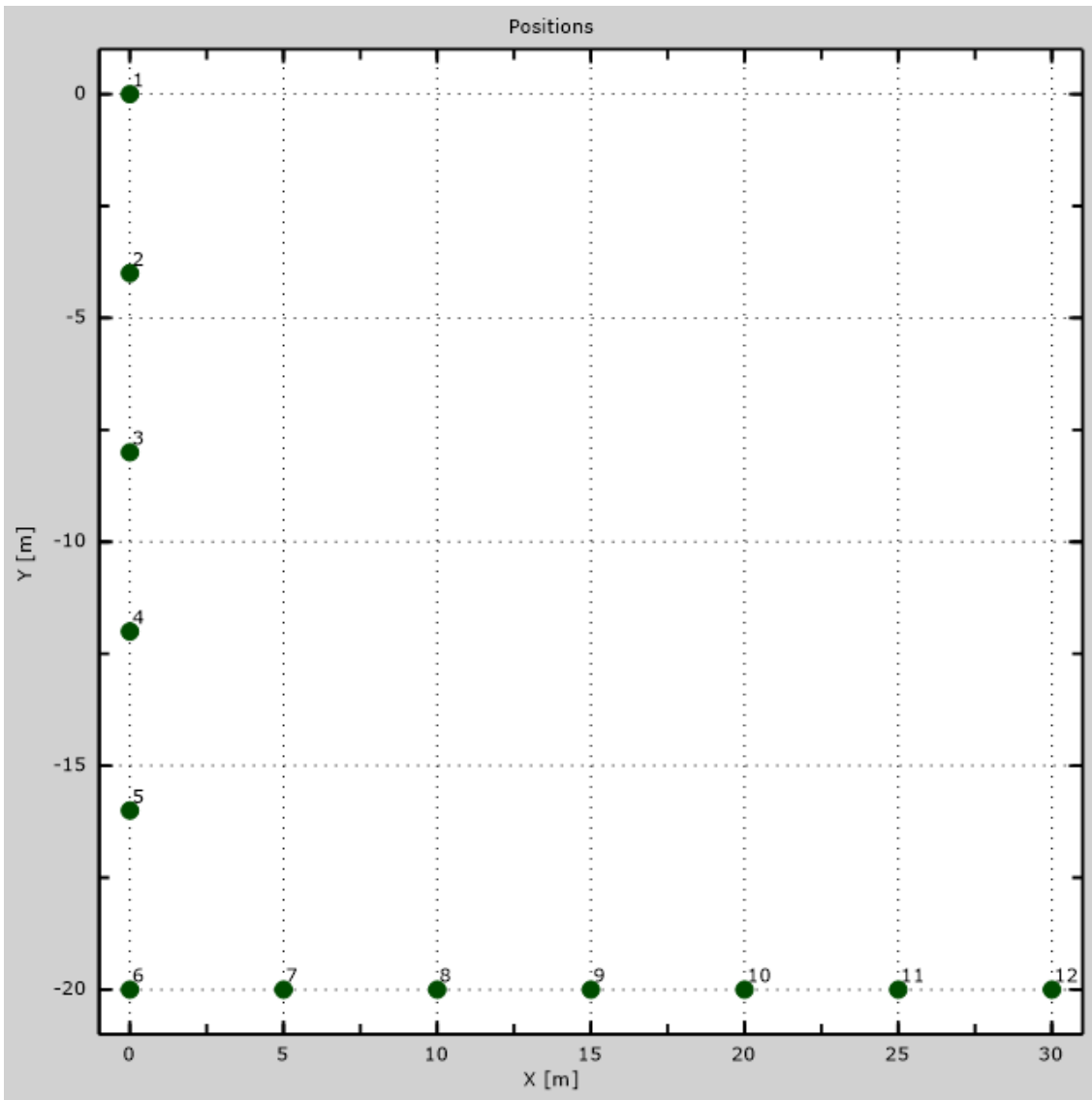


Figure 5: Geophones positions

## 5 - Dispersion curve

Table 2:Dispersion curve

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
9.93534	898.572	882.411	914.733
10.57	869.841	853.68	886.002
10.9085	814.175	806.992	821.357
11.7124	787.239	774.669	799.809
12.658	705.047	670.306	739.788
13.3968	566.083	552.573	579.593
16.0237	425.189	411.678	438.699
18.3222	430.979	407.818	454.14
19.5536	417.468	411.678	423.259
21.0095	403.871	399.986	407.755
22.2059	429.768	423.293	436.242
23.4298	431.062	428.473	433.652
24.1861	403.871	399.986	407.755
25.19	420.704	415.524	425.883
26.4001	423.293	419.409	427.178
27.3352	403.871	401.281	406.46
28.8066	396.101	393.512	398.691
32.9822	387.372	383.414	391.33
37.0939	386.383	382.425	390.34



42.2147	398.172	395.753	400.591
45.4007	371.555	367.499	375.61
48.371	372.569	371.054	374.084
51.2651	357.422	356.665	358.179
56.5965	358.179	355.907	360.451
67.87	379.285	378.576	379.993

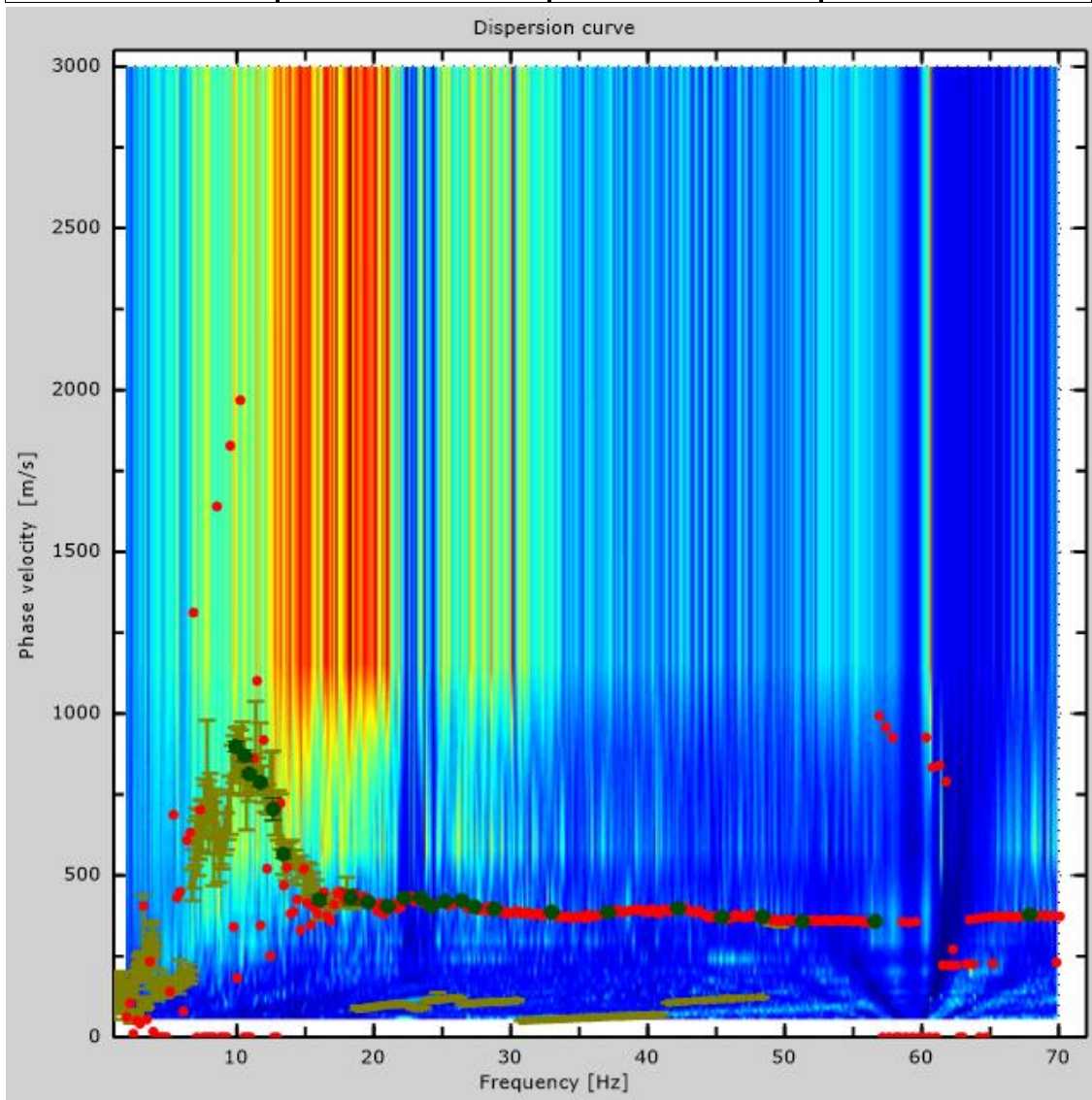


Figure 6: Dispersion curve

## 6 - Field profile

Number of layers (half-space excluded).....	9
Receivers spacing.....	1.5m
Number of receivers.....	24
Number of modes.....	1

### Layer 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1851
Poisson .....	0.34
Vs [m/s].....	371
Vp [m/s] .....	754
Vs min [m/s] .....	211
Vs max [m/s].....	557
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	371

### Layer 2

h [m].....	3
z [m].....	-5
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1902
Poisson .....	0.45
Vs [m/s].....	413
Vp [m/s] .....	1370
Vs min [m/s] .....	206
Vs max [m/s].....	826
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	413

### Layer 3

h [m].....	3
z [m].....	-8
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1902
Poisson .....	0.46
Vs [m/s].....	413
Vp [m/s] .....	1517

Vs min [m/s] .....	235
Vs max [m/s].....	620
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	413

### Layer 4

h [m].....	6
z [m] .....	-14
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1933
Poisson .....	0.48
Vs [m/s].....	441
Vp [m/s] .....	2249
Vs min [m/s] .....	239
Vs max [m/s].....	662
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	441

### Layer 5

h [m].....	3
z [m] .....	-17
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2113
Poisson .....	0.25
Vs [m/s].....	629
Vp [m/s] .....	1089
Vs min [m/s] .....	314
Vs max [m/s].....	1258
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	629

### Layer 6

h [m].....	4
z [m] .....	-21
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2371
Poisson .....	0.25
Vs [m/s].....	998
Vp [m/s] .....	1729
Vs min [m/s] .....	314
Vs max [m/s].....	1497
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	

Vs fin.[m/s] ..... 998

### Layer 7

h [m] ..... 5

z [m] ..... -26

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2371

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 998

Vp [m/s] ..... 1729

Vs min [m/s] ..... 392

Vs max [m/s] ..... 1497

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 998

### Layer 8

h [m] ..... 6

z [m] ..... -32

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2371

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 998

Vp [m/s] ..... 1729

Vs min [m/s] ..... 452

Vs max [m/s] ..... 1497

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 998

### Layer 9

h [m] ..... 0

z [m] ..... -00

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2371

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 998

Vp [m/s] ..... 1729

Vs min [m/s] ..... 499

Vs max [m/s] ..... 1997

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 998

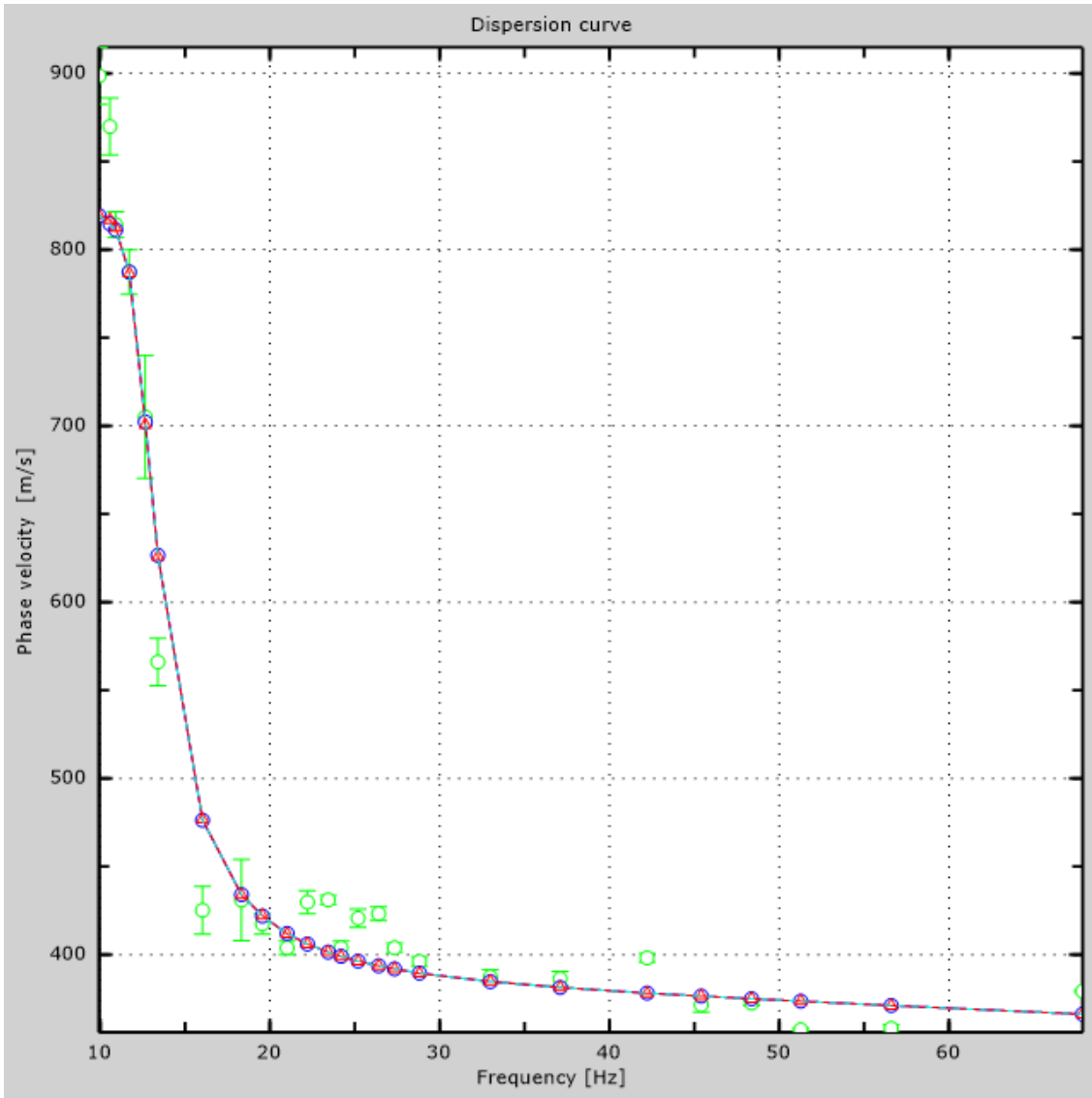


Figure 7: Numerical velocities - experimental points (green), Rayleigh modes (cyan), apparent curve (blue), numerical curve (red)

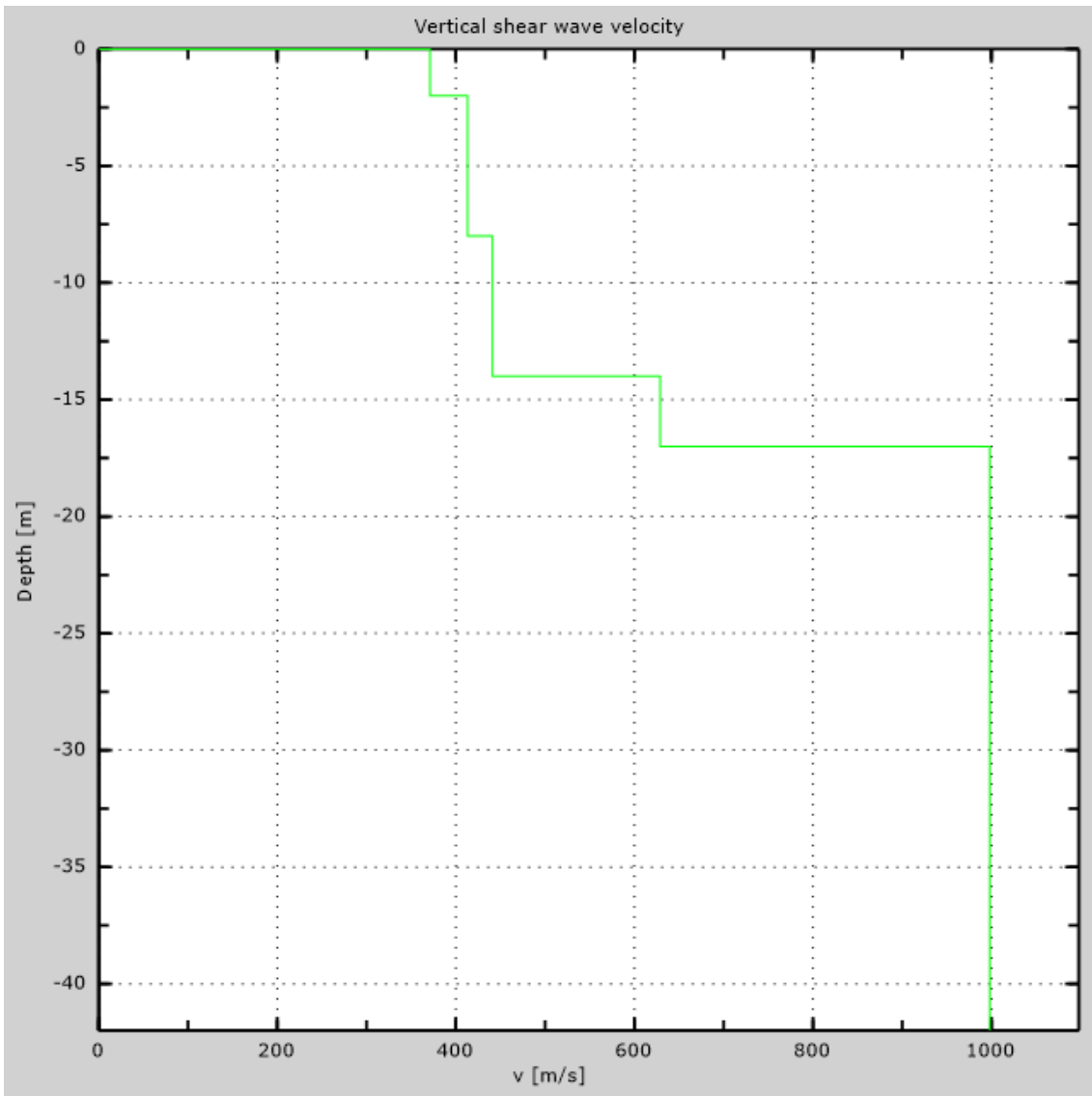


Figure 8: Numerical Vs profile

## 7 - Final results

Reference plane  $z=0$  [m] .....0

$V_{s30}$  [m/s] .....584

You are using the definitions included in DM 14 gennaio 2008

The site does belongs to classes A, B, C, D, E or S1 (alluvional soil, gravel, sand, silt, clay, rock).

The site is not susceptible to liquefaction or there is not sensitive clay.

The geotechnic unit 5 is the bed rock

**Soil type** .....**S2**

# Appendix

## Type of ground

Type A: Rock or other rock-like geological formation, including at most 3 m of weaker material at the surface

Type B: Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least 30 m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth,  $V_{s30}$  between 360 m/s and 800 m/s

Type C: Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel or stiff clay with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  between 180 m/s and 360 m/s

Type D: Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  lower than 180 m/s

Type E: A soil profile consisting of a surface alluvium layer with  $v_s$  values of type C or D and thickness lower than 20 m, underlain by stiffer material with  $v_s > 800$  m/s

Type S1: Deposits of soils with  $V_{s30} < 100$  m/s (or  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), which include a layer of fine-grained and low consistency soil with a thickness greater than 8 m, or a layer of peat or highly organic clay with a thickness greater than 3 m.

Type S2: Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S1



# MASW Analysis Report

Author: Jorge Andrés Arízaga Altamirano, María Gabriela Ulloa Palacios  
Site: Mazar, base aguas abajo  
Date: 05/04/2018

Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Experimental data

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-4\MASW\ULJJ5548\_2.dat  
Number of sensors ..... 18  
Sensors distance: ..... 1.5m  
Number of time samples ..... 8232  
Acquisition timestep ..... 0.25ms  
Number of sensors used for the analysis ..... 18  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 2057.75ms  
Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)

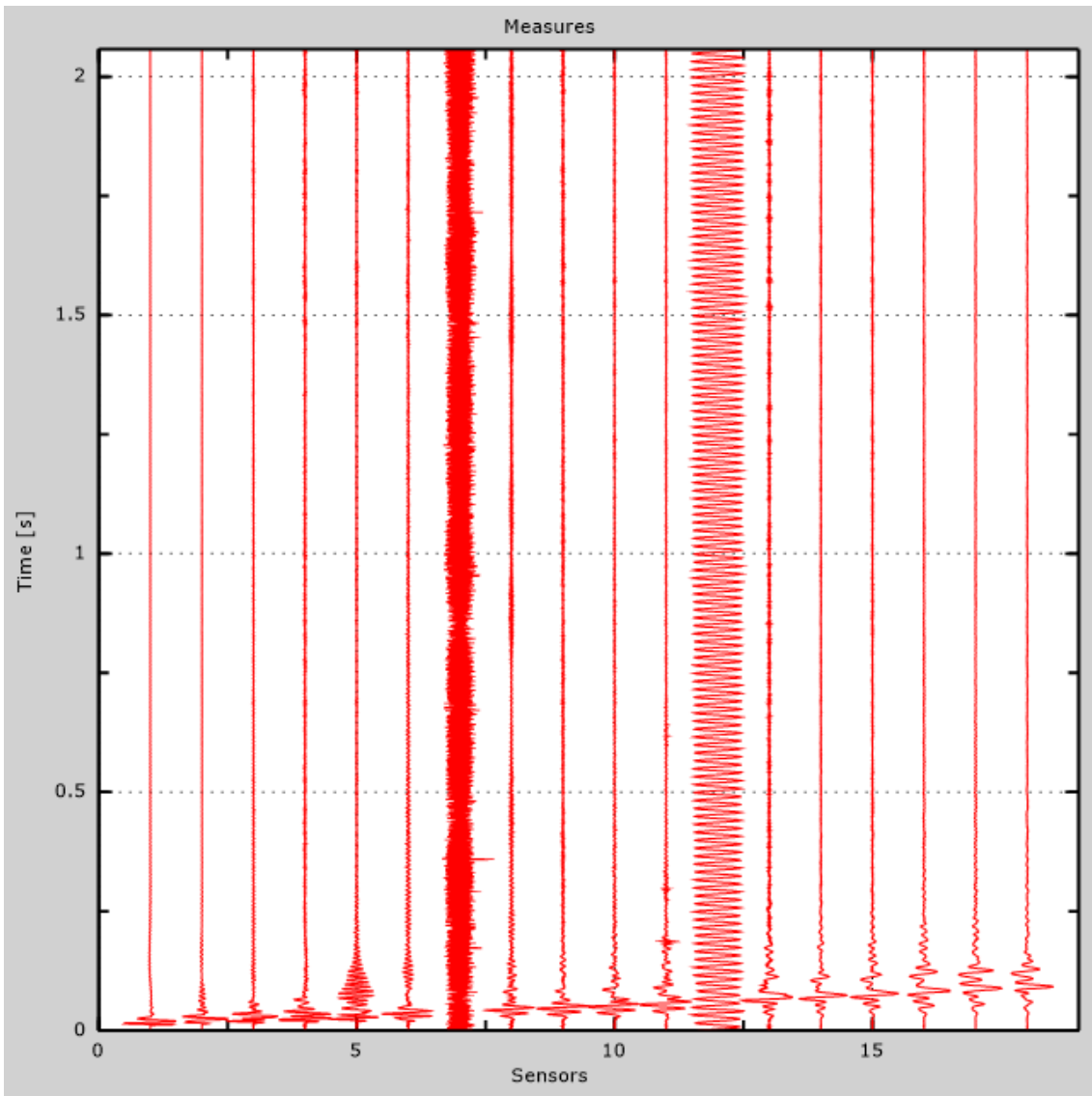


Figure 1: Experimental traces

## 2 - Analysis results

Final frequency ..... 70Hz  
Initial frequency ..... 2Hz

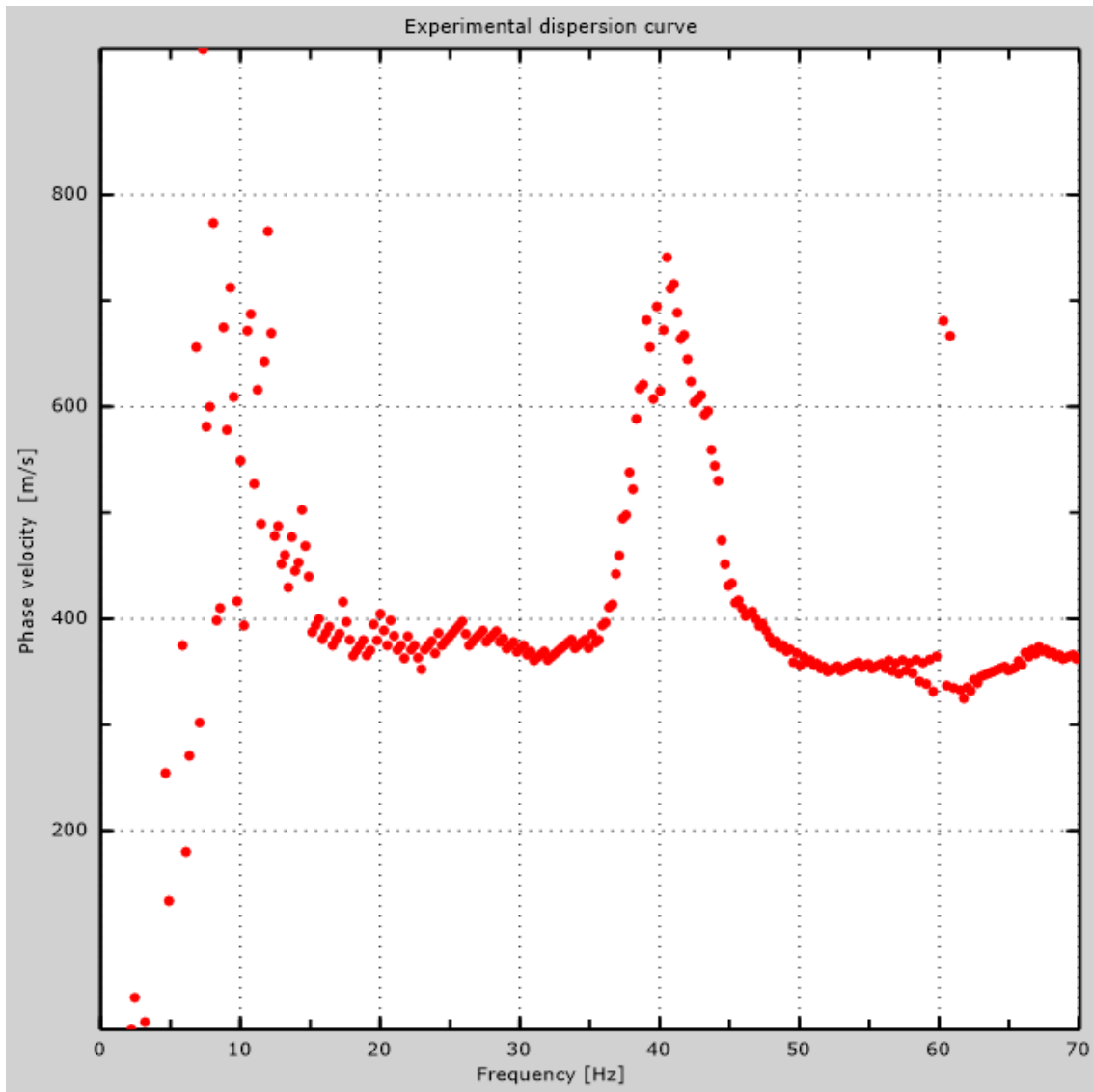


Figure 2: Experimental dispersion curve

### 3 - Analysis results (P)

Traces file name

G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-4\REMI\ULJK0613.dat

Number of sensors ..... 24

Number of time samples ..... 3.26787e-312

Acquisition timestep ..... 2ms

Number of sensors used for the analysis..... 24

The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms

The interval considered for the analysis ends at ..... 65534ms

Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)

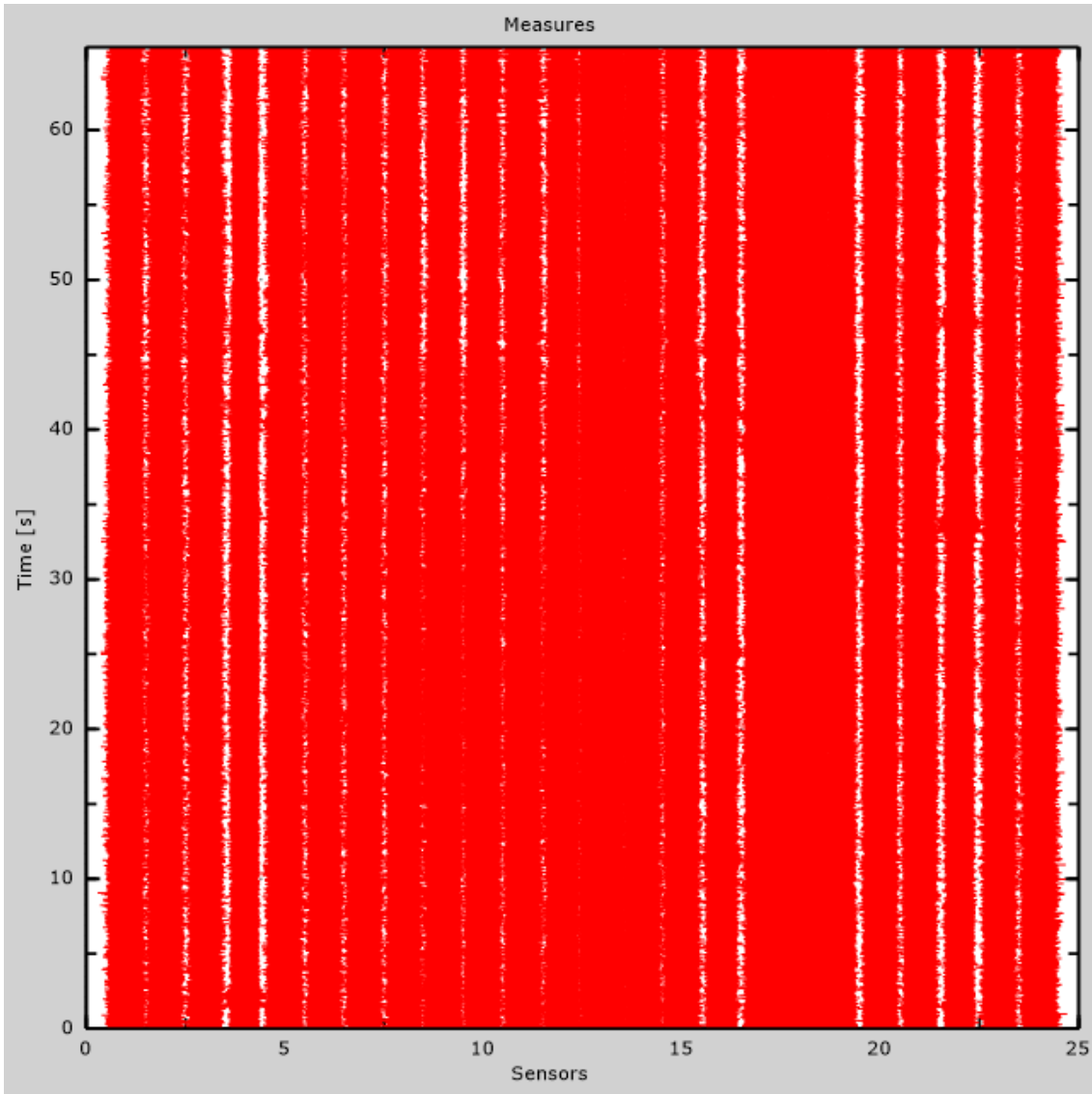


Figure 3: Experimental traces

## 4 - ESAC analysis

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-4\ESAC\ULJK4421.dat  
Number of sensors ..... 12  
Number of time samples ..... 327680  
Acquisition timestep ..... 2ms  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 655358ms  
Window duration ..... 10s  
Overlap ..... 0s  
Smoothing ..... 0.1  
Cleaning threshold ..... 0sd  
Number of iterations ..... 2

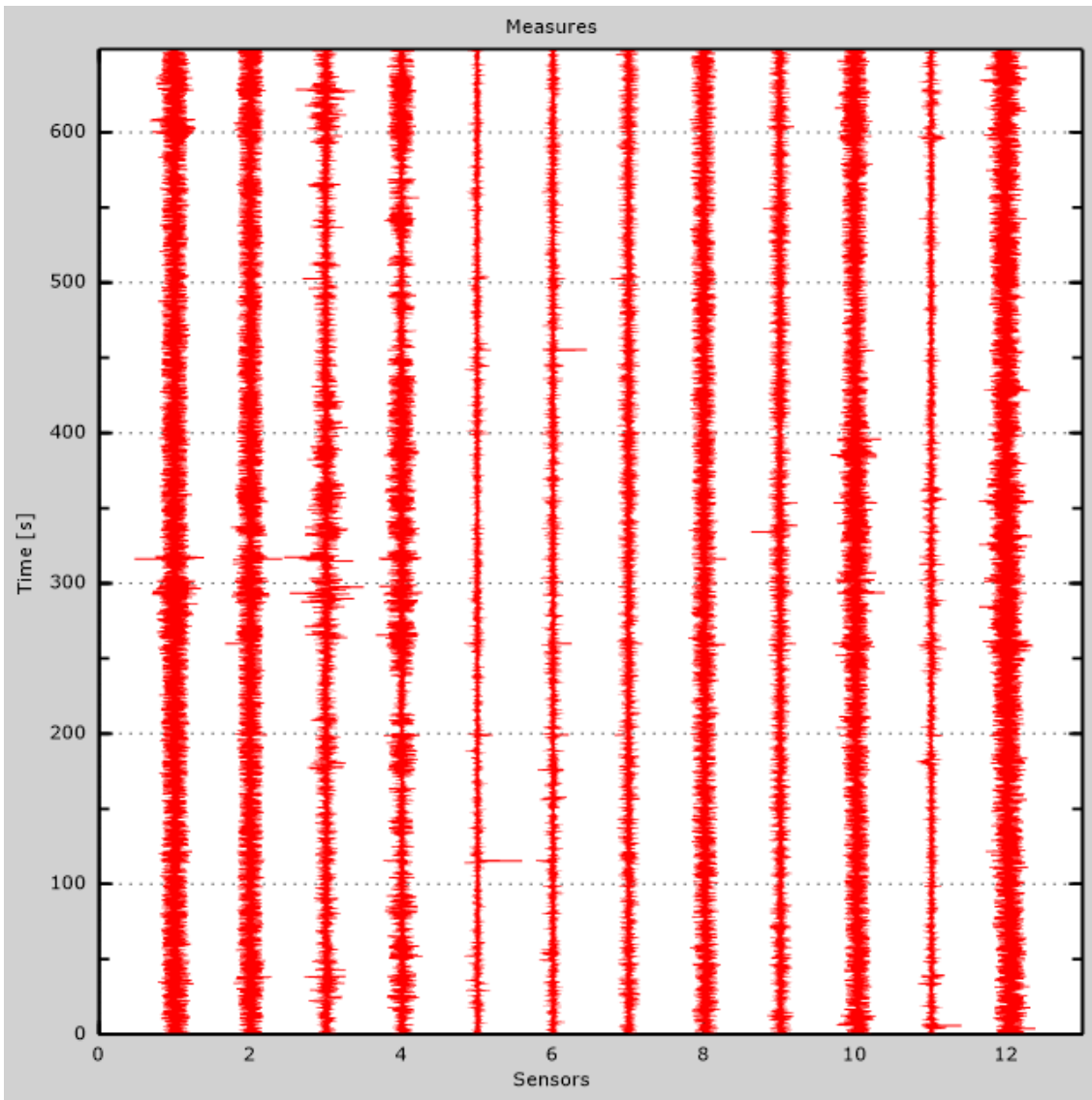


Figure 4: Experimental traces



Table 1: Geophones positions

X [m]	Y [m]
0	0
0	-4
0	-8
0	-12
0	-16
0	-20
5	-20
10	-20
15	-20
20	-20
25	-20

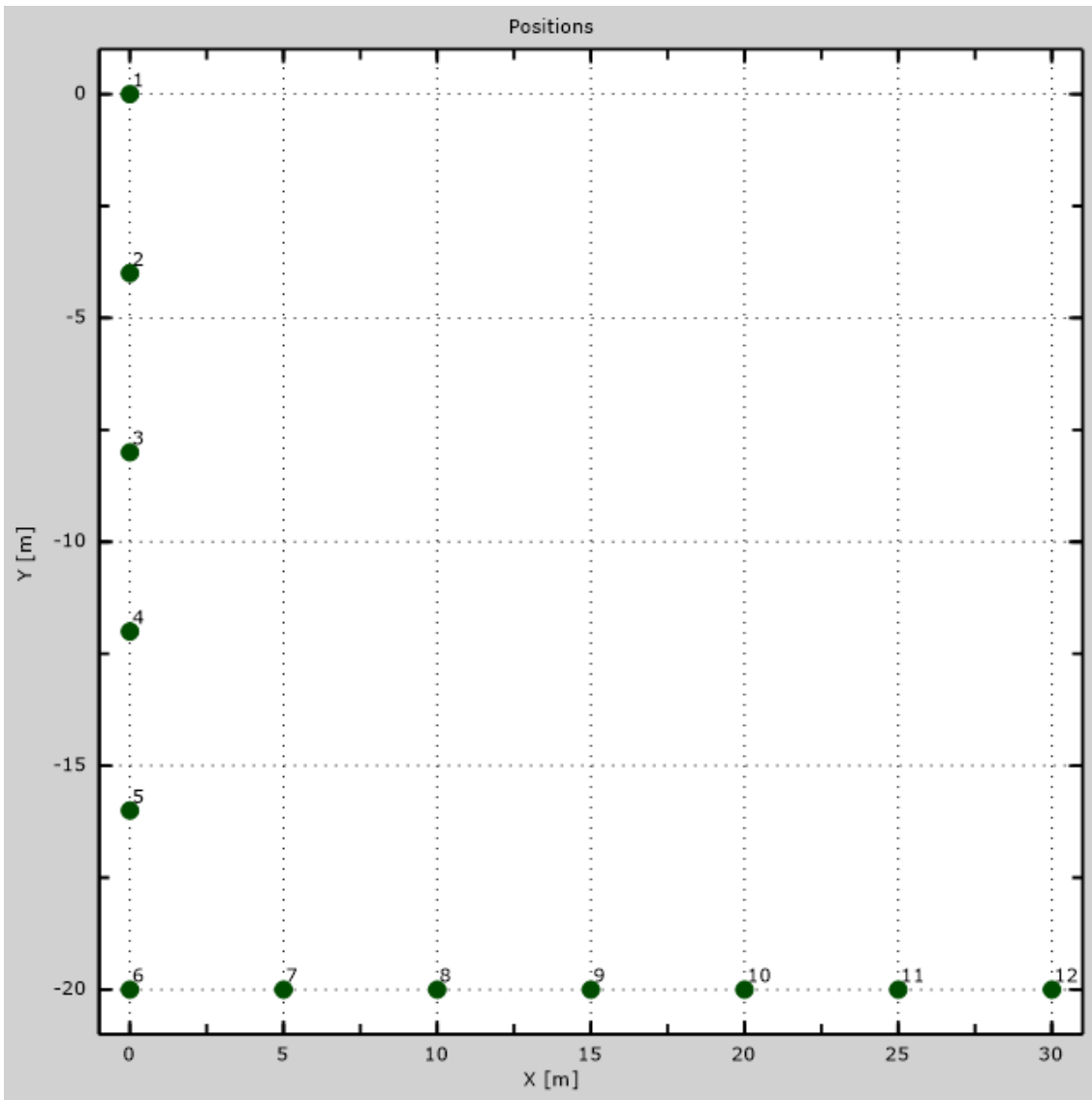


Figure 5: Geophones positions

## 5 - Dispersion curve

Table 2:Dispersion curve

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
10.1088	895.211	883.811	906.611
11.4251	817.946	810.347	825.546
12.7698	706.729	683.432	730.027
13.0048	639.351	617.818	660.884
13.8736	569.686	548.153	591.219
15.5922	481.974	457.306	506.643
18.271	429.897	407.97	451.824
20.7106	397.006	377.82	416.193
23.3895	376.449	373.708	379.19
26.6423	384.672	379.19	390.154
31.2824	365.486	362.745	368.227
34.3439	375.079	370.968	379.19
36.4487	414.822	410.711	418.933
38.323	590.367	546.961	633.773
43.3264	594.819	553.639	635.999
45.6333	420.304	412.081	428.527
49.1055	369.998	365.546	374.45
52.9841	353.303	348.851	357.755
55.8543	355.529	353.303	357.755

62.1764	333.27	328.818	337.722
64.8915	354.416	353.303	355.529
68.1495	367.772	364.433	371.111

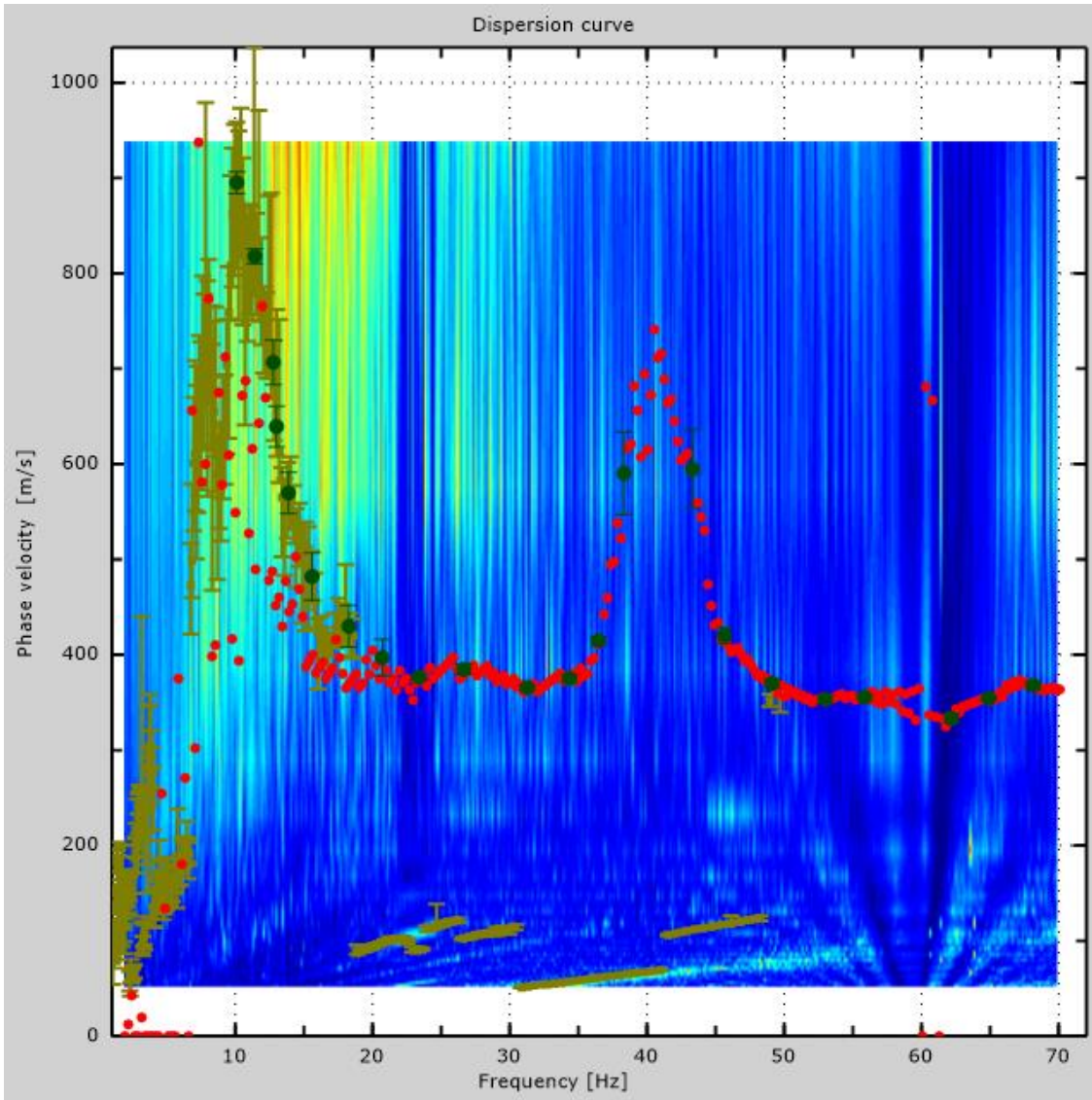


Figure 6: Dispersion curve

## 6 - Field profile

Number of layers (half-space excluded).....	9
Receivers spacing.....	1.5m
Number of receivers.....	18
Number of modes.....	2

### Layer 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1774
Poisson .....	0.36
Vs [m/s].....	313
Vp [m/s] .....	669
Vs min [m/s] .....	185
Vs max [m/s].....	470
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	313

### Layer 2

h [m].....	3
z [m].....	-5
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1961
Poisson .....	0.44
Vs [m/s].....	467
Vp [m/s] .....	1427
Vs min [m/s] .....	234
Vs max [m/s].....	701
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	467

### Layer 3

h [m].....	3
z [m].....	-8
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1907
Poisson .....	0.47
Vs [m/s].....	418
Vp [m/s] .....	1757

Vs min [m/s] .....	3
Vs max [m/s].....	627
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	418

### Layer 4

h [m].....	4
z [m] .....	-12
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1962
Poisson .....	0.48
Vs [m/s].....	468
Vp [m/s] .....	2386
Vs min [m/s] .....	239
Vs max [m/s].....	702
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	468

### Layer 5

h [m].....	4
z [m] .....	-16
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2030
Poisson .....	0.25
Vs [m/s].....	536
Vp [m/s] .....	928
Vs min [m/s] .....	268
Vs max [m/s].....	804
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	536

### Layer 6

h [m].....	5
z [m] .....	-21
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2186
Poisson .....	0.25
Vs [m/s].....	721
Vp [m/s] .....	1249
Vs min [m/s] .....	355
Vs max [m/s].....	1082
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	

Vs fin.[m/s] ..... 721

### Layer 7

h [m] ..... 5

z [m] ..... -26

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2369

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 995

Vp [m/s] ..... 1723

Vs min [m/s] ..... 393

Vs max [m/s] ..... 1493

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 995

### Layer 8

h [m] ..... 6

z [m] ..... -32

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2369

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 995

Vp [m/s] ..... 1723

Vs min [m/s] ..... 454

Vs max [m/s] ..... 1493

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 995

### Layer 9

h [m] ..... 0

z [m] ..... -00

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2369

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 995

Vp [m/s] ..... 1723

Vs min [m/s] ..... 497

Vs max [m/s] ..... 1989

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 995

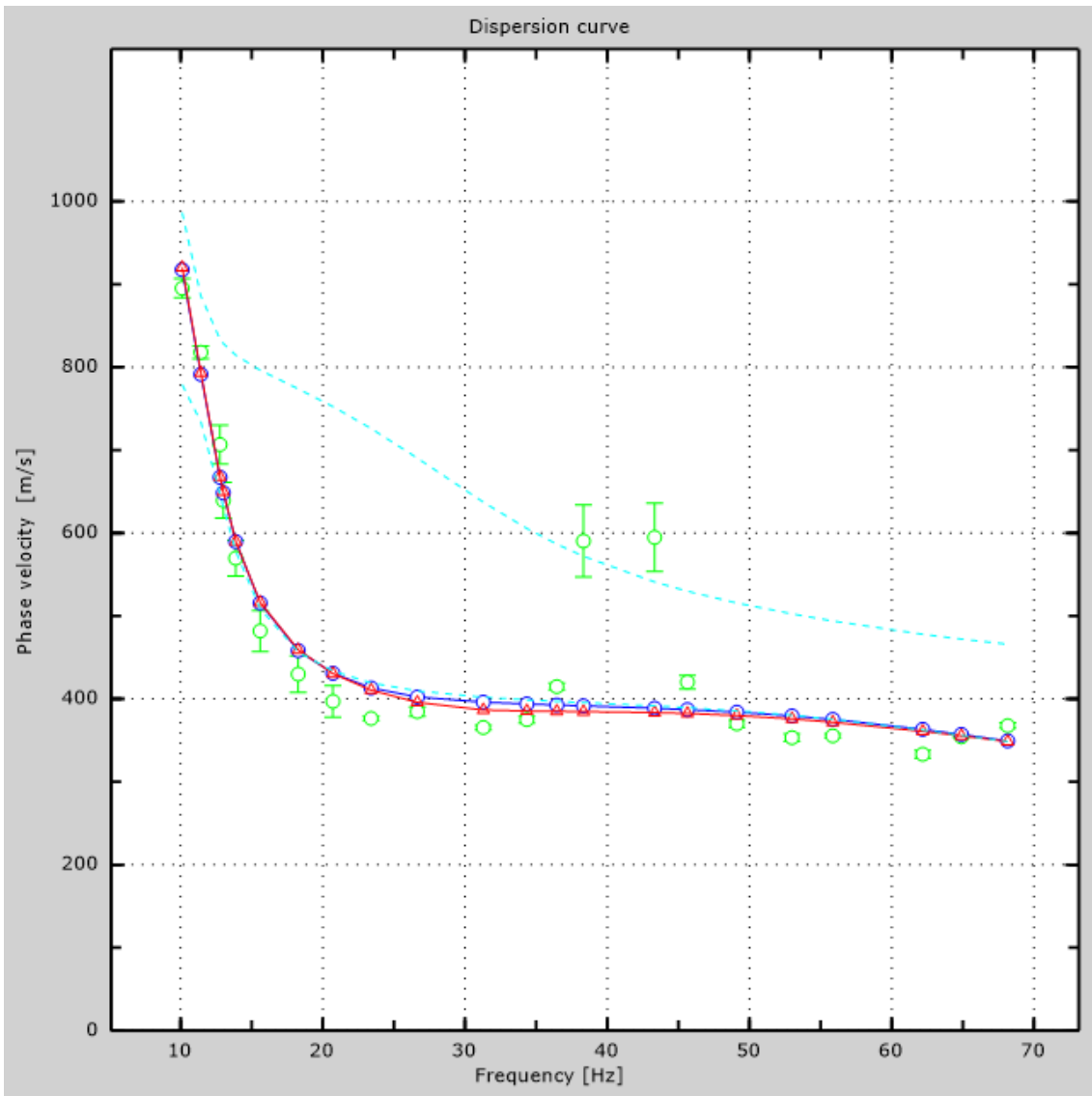


Figure 7: Numerical velocities - experimental points (green), Rayleigh modes (cyan), apparent curve (blue), numerical curve (red)



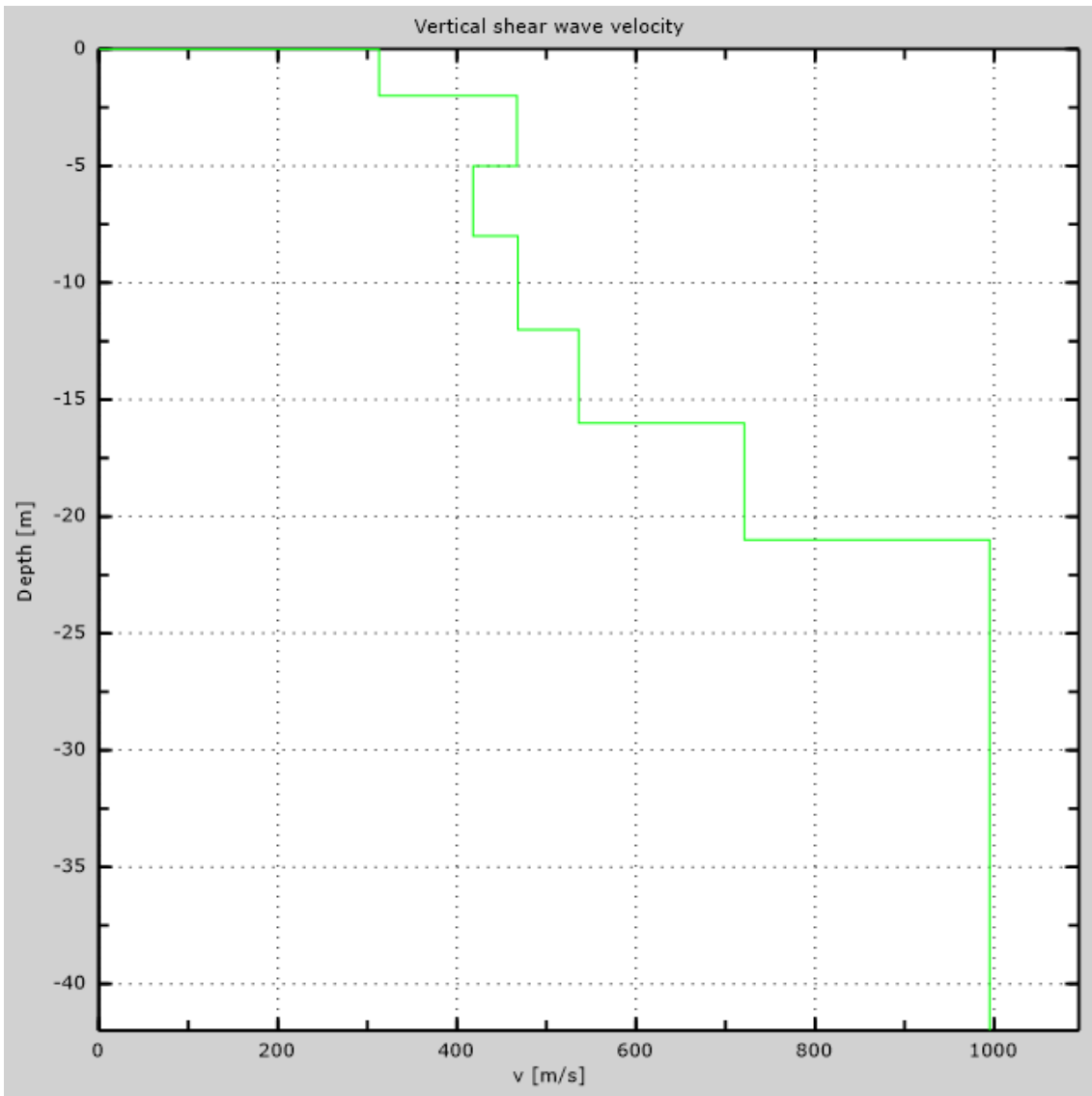


Figure 8: Numerical Vs profile

## 7 - Final results

Reference plane  $z=0$  [m] .....0

$V_{s30}$  [m/s] .....577

You are using the definitions included in DM 14 gennaio 2008

The site does belongs to classes A, B, C, D, E or S1 (alluvional soil, gravel, sand, silt, clay, rock).

The site is not susceptible to liquefaction or there is not sensitive clay.

The geotechnic unit 6 is the bed rock

**Soil type** .....**S2**

# Appendix

## Type of ground

Type A: Rock or other rock-like geological formation, including at most 3 m of weaker material at the surface

Type B: Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least 30 m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth,  $V_{s30}$  between 360 m/s and 800 m/s

Type C: Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel or stiff clay with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  between 180 m/s and 360 m/s

Type D: Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  lower than 180 m/s

Type E: A soil profile consisting of a surface alluvium layer with  $v_s$  values of type C or D and thickness lower than 20 m, underlain by stiffer material with  $v_s > 800$  m/s

Type S1: Deposits of soils with  $V_{s30} < 100$  m/s (or  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), which include a layer of fine-grained and low consistency soil with a thickness greater than 8 m, or a layer of peat or highly organic clay with a thickness greater than 3 m.

Type S2: Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S1

# MASW Analysis Report

Author: Jorge Andrés Arízaga Altamirano, María Gabriela Ulloa Palacios  
Site: Mazar, base aguas abajo  
Date: 06/04/2018

Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Experimental data

Traces file name

G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-4\MASW\ULJJ5827\_3D.dat

Number of sensors ..... 12

Sensors distance: ..... 0m

Number of time samples ..... 8232

Acquisition timestep ..... 0.25ms

Number of sensors used for the analysis..... 12

The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms

The interval considered for the analysis ends at ..... 2057.75ms

Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)

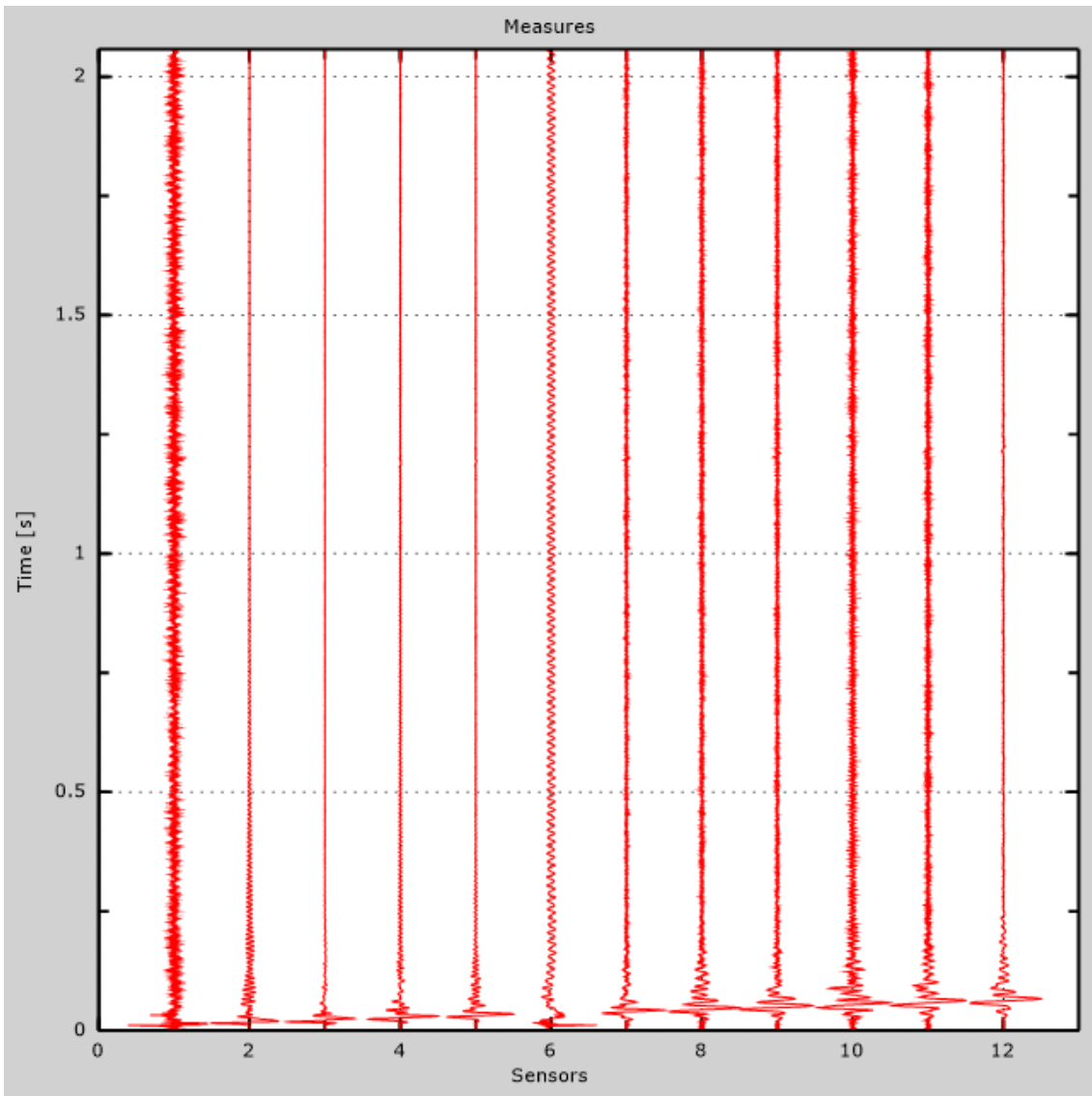


Figure 1: Experimental traces

## 2 - Analysis results

Final frequency ..... 70Hz  
Initial frequency ..... 2Hz

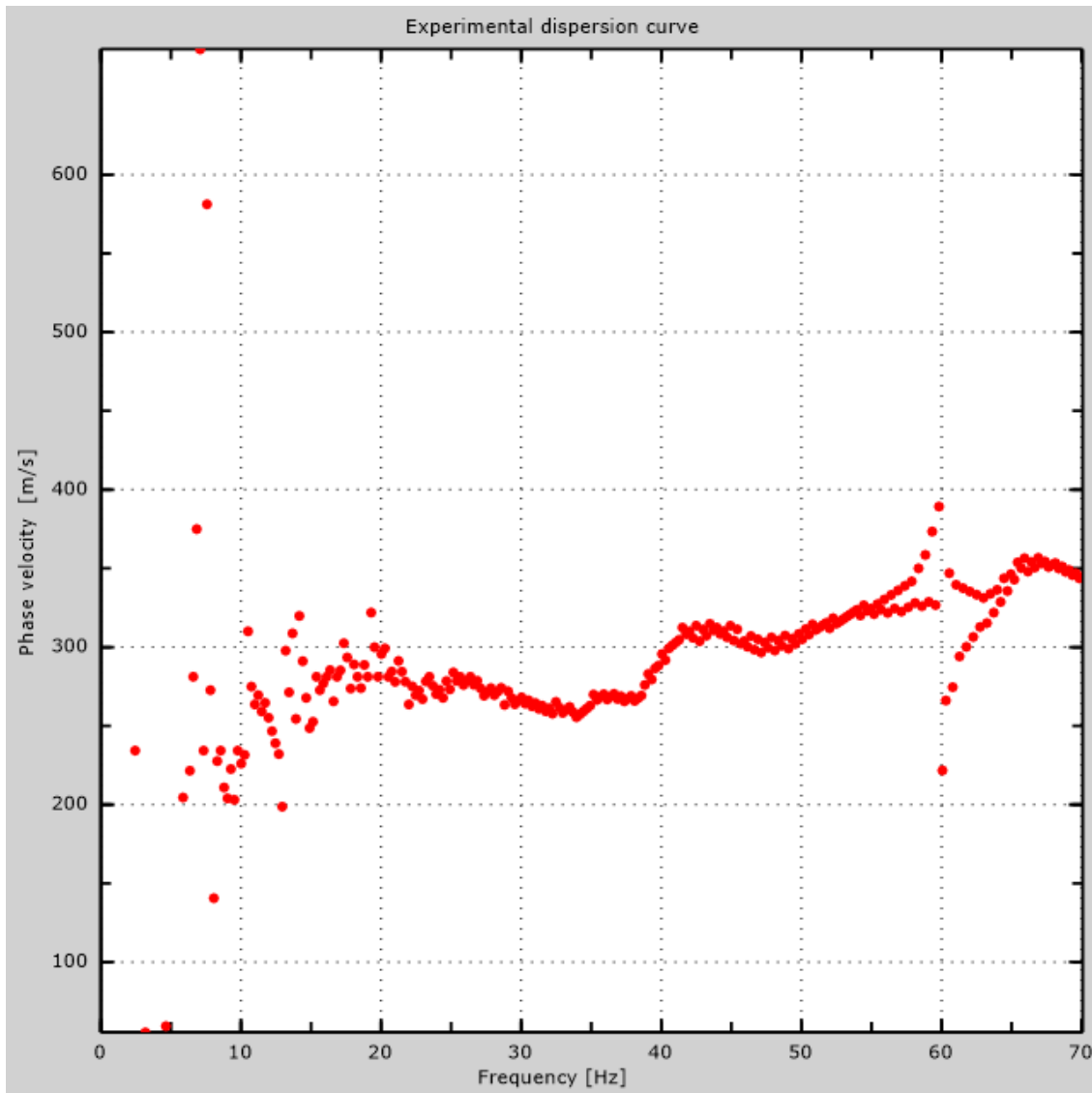


Figure 2: Experimental dispersion curve

### 3 - Analysis results (P)

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-4\REMI\ULJK0613.dat  
Number of sensors ..... 24  
Number of time samples ..... 3.26787e-312  
Acquisition timestep ..... 2ms  
Number of sensors used for the analysis..... 24  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 65534ms  
Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)



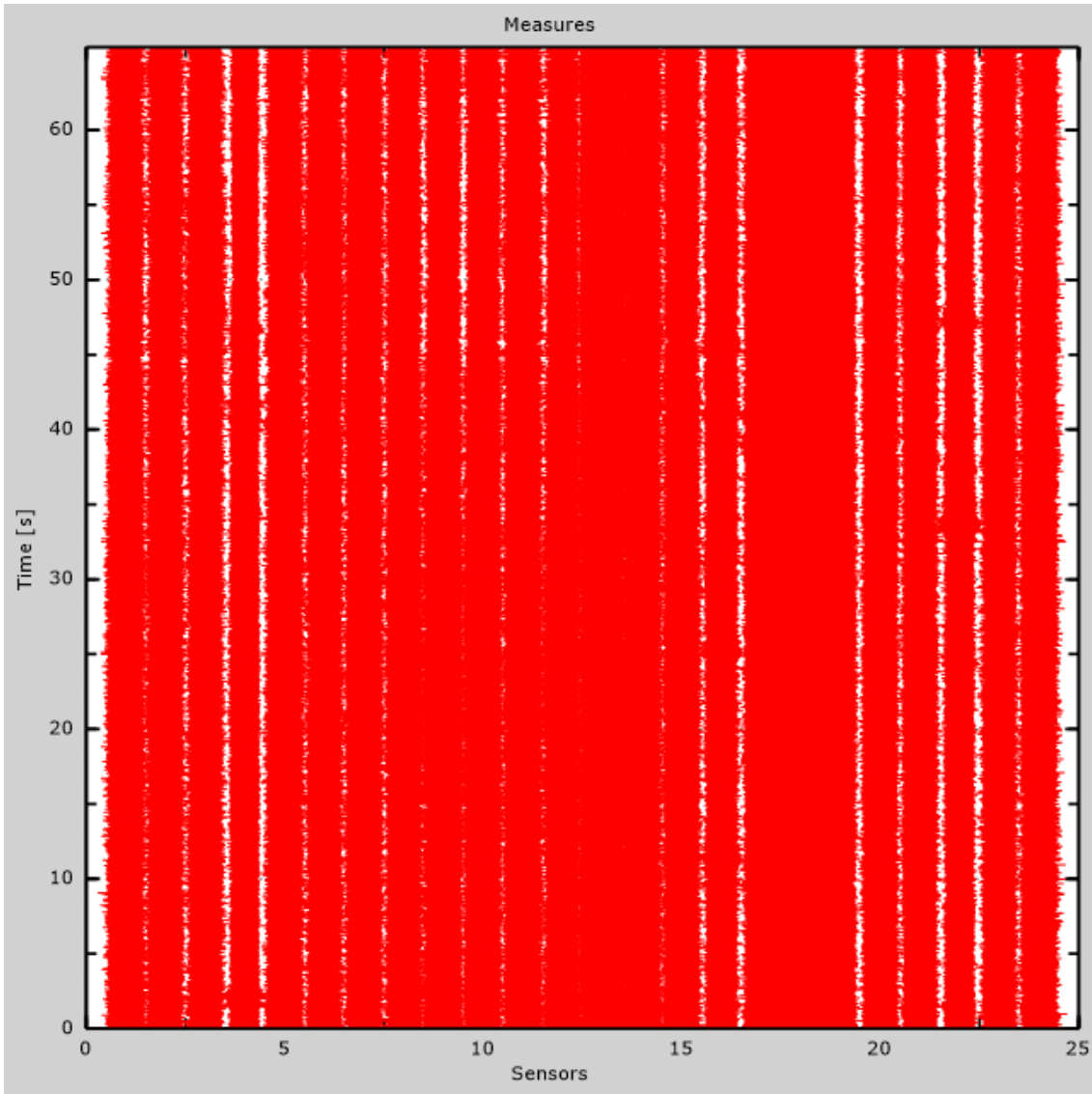


Figure 3: Experimental traces

## 4 - ESAC analysis

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-4\ESAC\ULJK4421.dat  
Number of sensors ..... 12  
Number of time samples ..... 327680  
Acquisition timestep ..... 2ms  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 655358ms  
Window duration ..... 10s  
Overlap ..... 0s  
Smoothing ..... 0.1  
Cleaning threshold ..... 0sd  
Number of iterations ..... 2

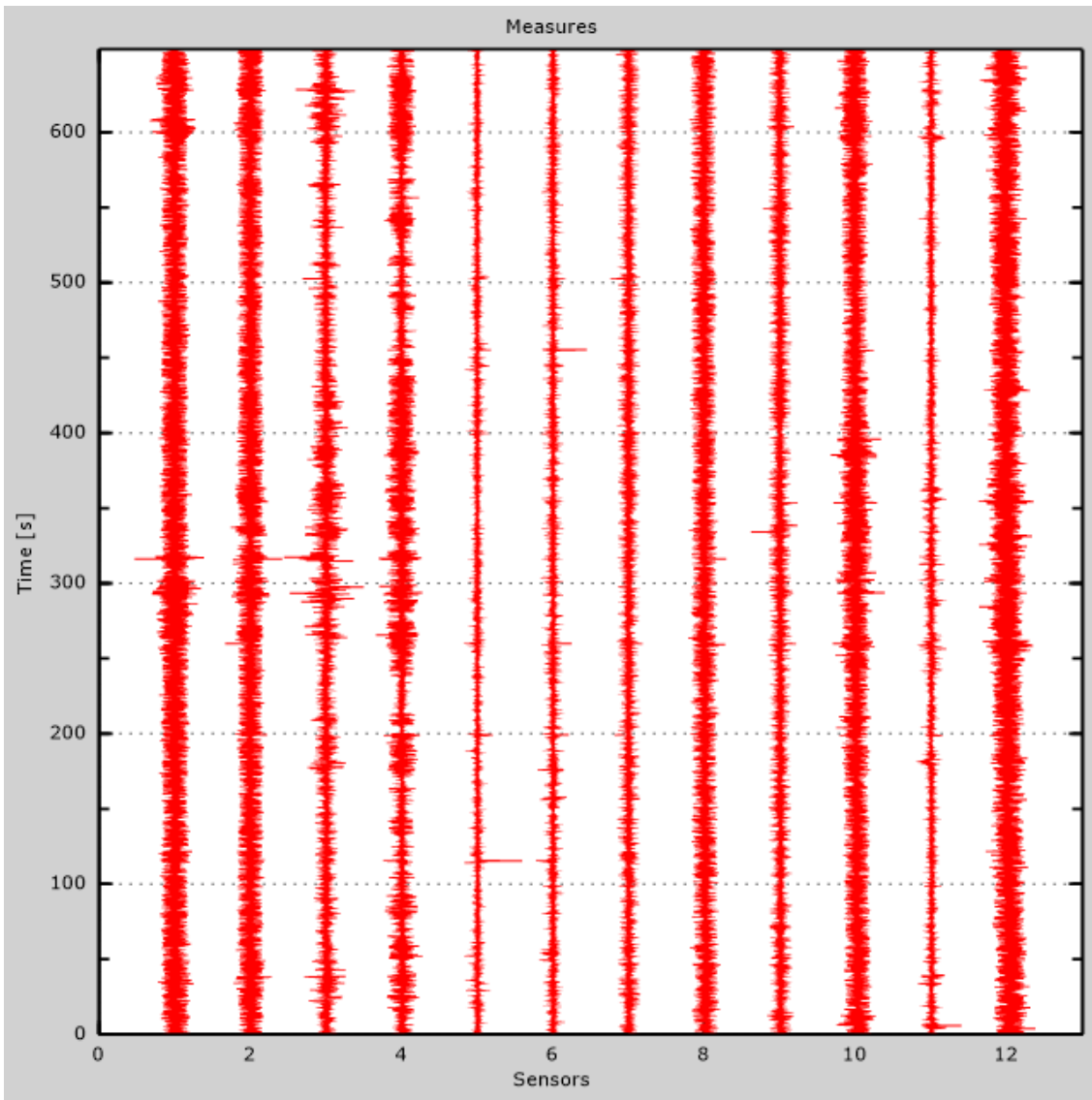


Figure 4: Experimental traces

Table 1: Geophones positions

X [m]	Y [m]
0	0
0	-4
0	-8
0	-12
0	-16
0	-20
5	-20
10	-20
15	-20
20	-20
25	-20

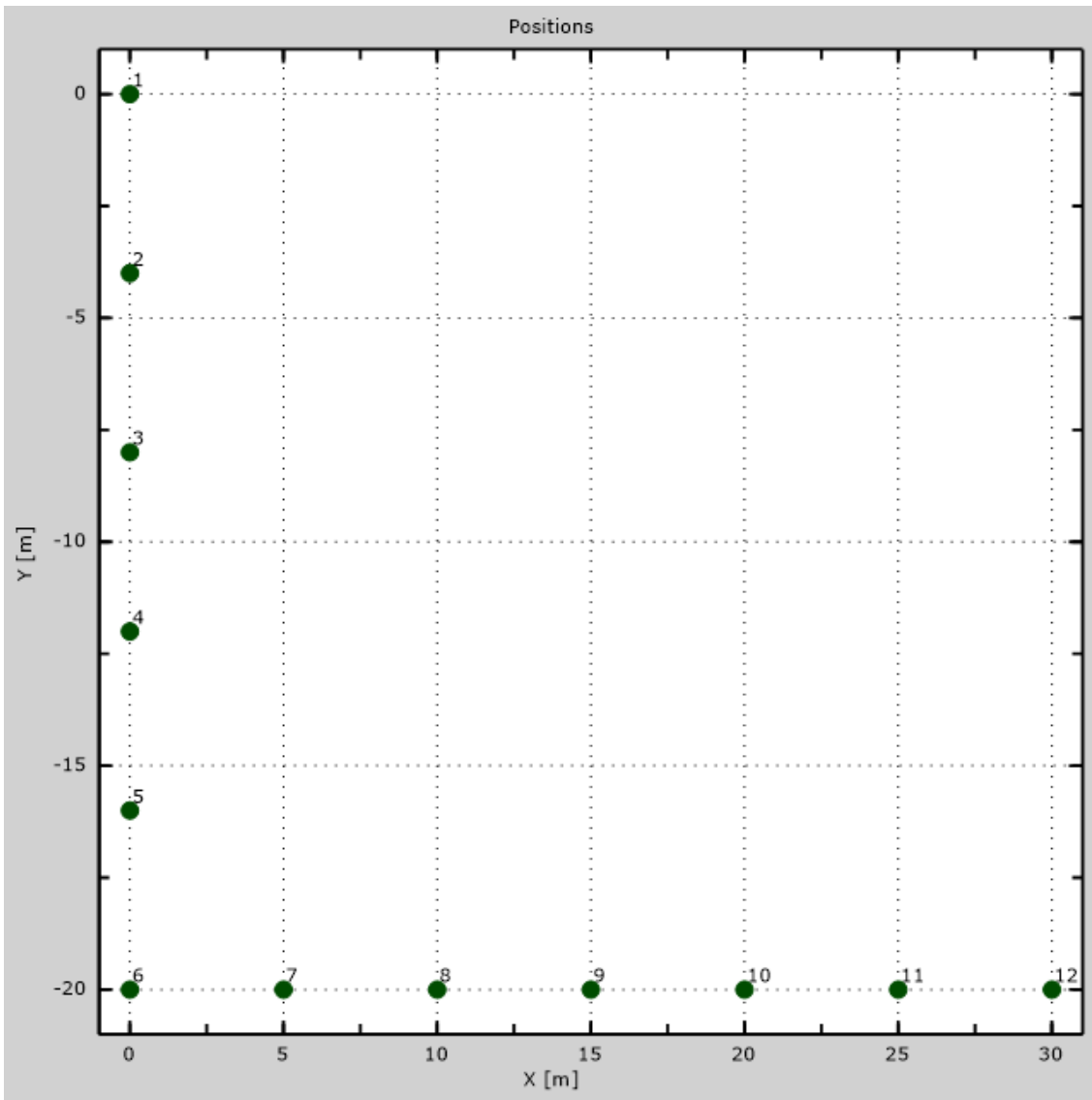


Figure 5: Geophones positions

## 5 - Dispersion curve

Table 2:Dispersion curve

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
10.0852	893.499	888.725	898.274
11.4217	817.108	812.334	821.883
12.1054	747.879	743.105	752.653
13.1932	614.195	607.033	621.357
14.2189	542.578	535.417	549.74
15.5864	478.123	459.026	497.221
16.5188	413.669	365.924	461.413
17.8242	427.992	404.12	451.864
18.6633	418.443	392.184	444.702
19.2849	327.729	260.887	394.571
20.093	301.469	284.759	318.18
22.2065	277.597	268.048	287.146
23.6972	279.984	272.823	287.146
29.0119	270.436	263.274	277.597
33.6428	258.5	251.338	265.661
37.6832	270.436	260.887	279.984
42.2831	308.631	303.857	313.406
48.5924	306.244	299.082	313.406
54.6219	327.729	320.567	334.89

59.0664	330.116	313.406	346.827
62.019	334.89	313.406	356.375
65.8729	361.15	356.375	365.924
68.608	351.601	346.827	356.375

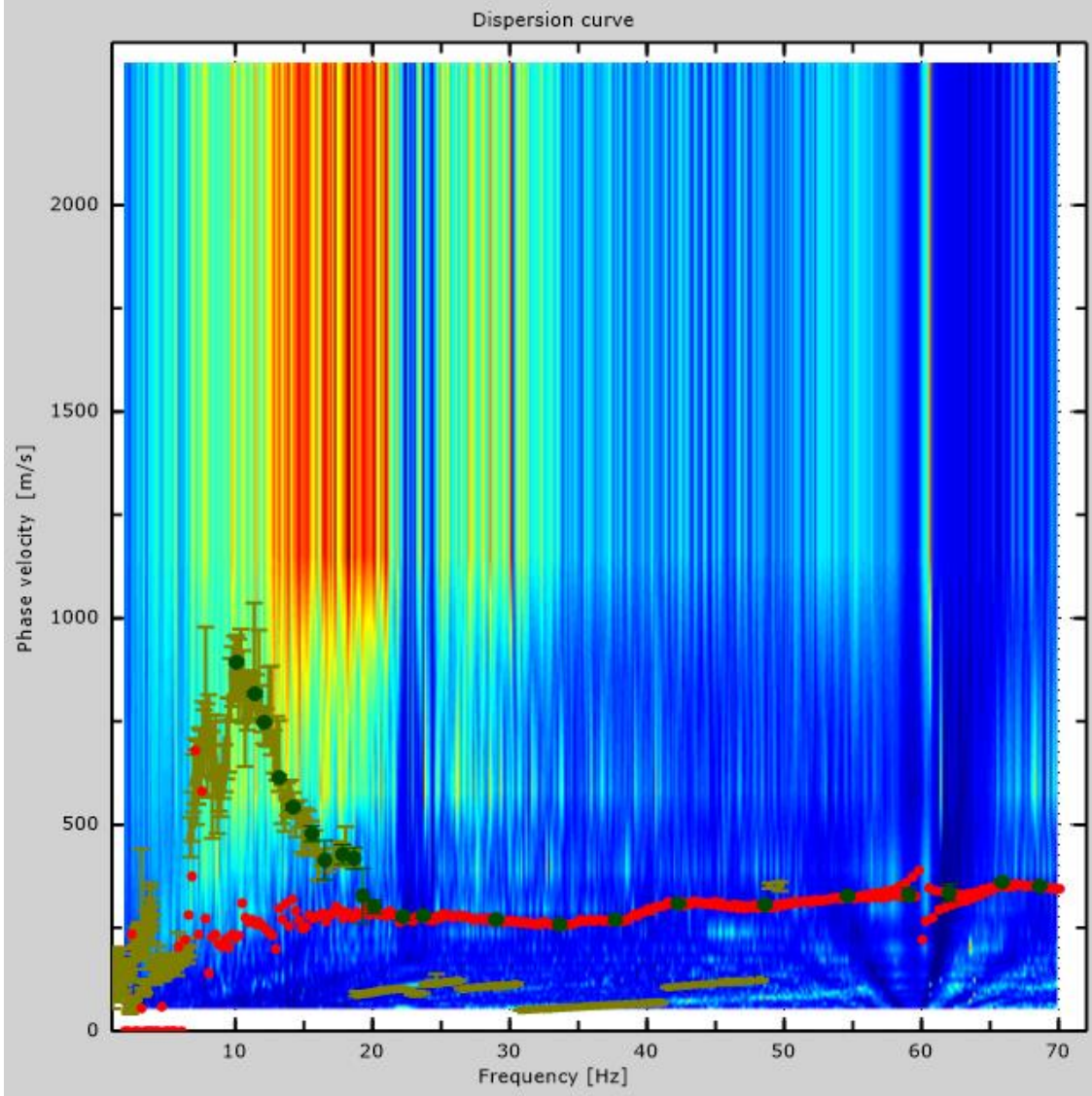


Figure 6: Dispersion curve

## 6 - Field profile

Number of layers (half-space excluded).....	9
Receivers spacing.....	1.5m
Number of receivers.....	12
Number of modes.....	1

### Layer 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1876
Poisson .....	0.34
Vs [m/s].....	321
Vp [m/s] .....	652
Vs min [m/s] .....	195
Vs max [m/s].....	482
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	321

### Layer 2

h [m].....	3
z [m].....	-5
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1756
Poisson .....	0.47
Vs [m/s].....	299
Vp [m/s] .....	1257
Vs min [m/s] .....	150
Vs max [m/s].....	449
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	299

### Layer 3

h [m].....	3
z [m].....	-8
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1843
Poisson .....	0.47
Vs [m/s].....	364
Vp [m/s] .....	1530



Vs min [m/s] .....	182
Vs max [m/s].....	728
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	364

### Layer 4

h [m].....	4
z [m] .....	-12
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1954
Poisson .....	0.47
Vs [m/s].....	460
Vp [m/s] .....	1933
Vs min [m/s] .....	230
Vs max [m/s].....	919
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	460

### Layer 5

h [m].....	4
z [m] .....	-16
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2090
Poisson .....	0.25
Vs [m/s].....	593
Vp [m/s] .....	1027
Vs min [m/s] .....	301
Vs max [m/s].....	890
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	593

### Layer 6

h [m].....	5
z [m] .....	-21
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2156
Poisson .....	0.25
Vs [m/s].....	682
Vp [m/s] .....	1181
Vs min [m/s] .....	341
Vs max [m/s].....	1365
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	

Vs fin.[m/s] .....682

### Layer 7

h [m].....5

z [m].....-26

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2368

Poisson .....0.25

Vs [m/s].....993

Vp [m/s] .....1720

Vs min [m/s] .....415

Vs max [m/s].....1490

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....993

### Layer 8

h [m].....6

z [m].....-32

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2368

Poisson .....0.25

Vs [m/s].....993

Vp [m/s] .....1720

Vs min [m/s] .....454

Vs max [m/s].....1490

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....993

### Layer 9

h [m].....0

z [m].....-00

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2368

Poisson .....0.25

Vs [m/s].....993

Vp [m/s] .....1720

Vs min [m/s] .....496

Vs max [m/s].....1986

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....993

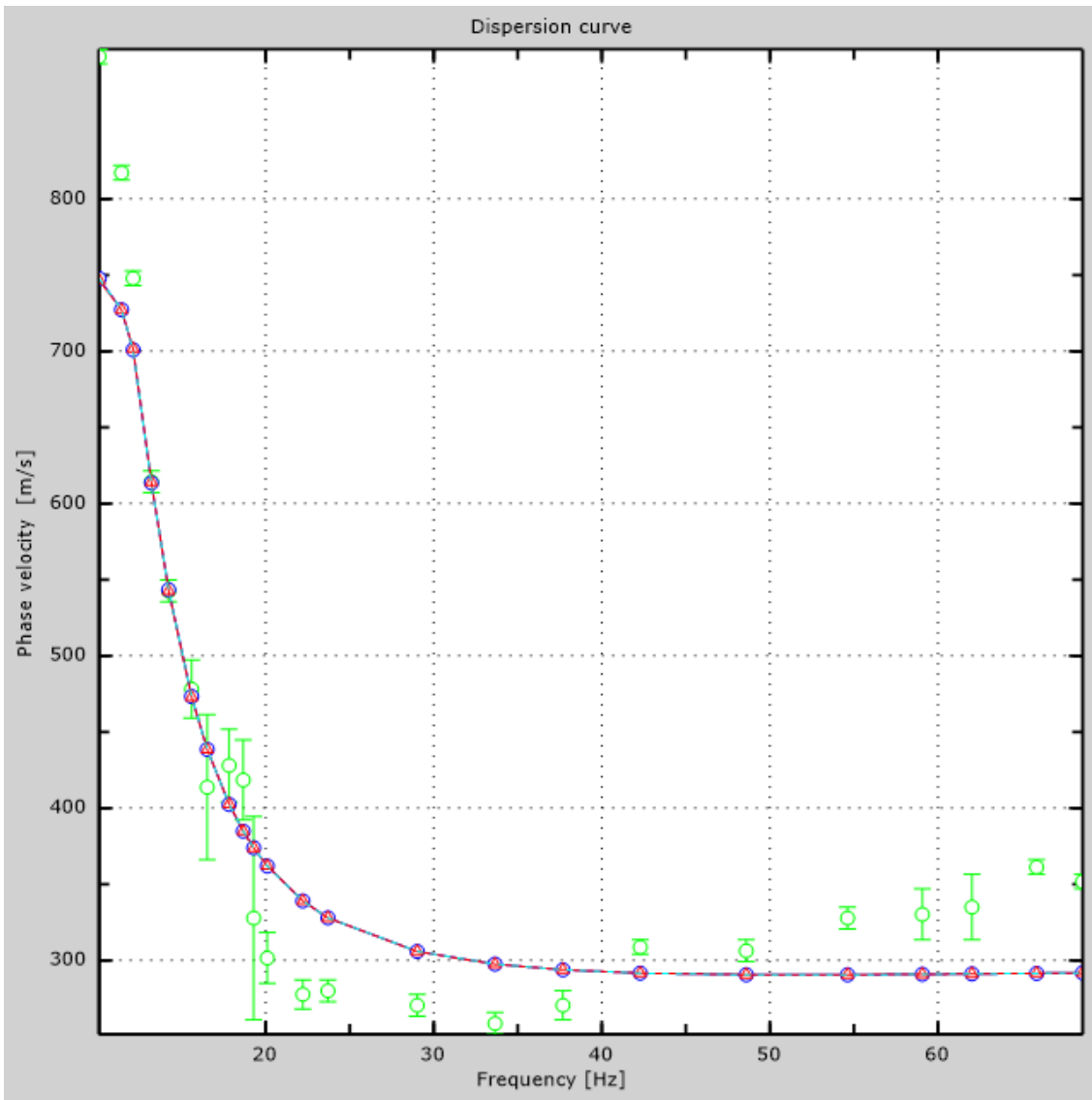


Figure 7: Numerical velocities - experimental points (green), Rayleigh modes (cyan), apparent curve (blue), numerical curve (red)

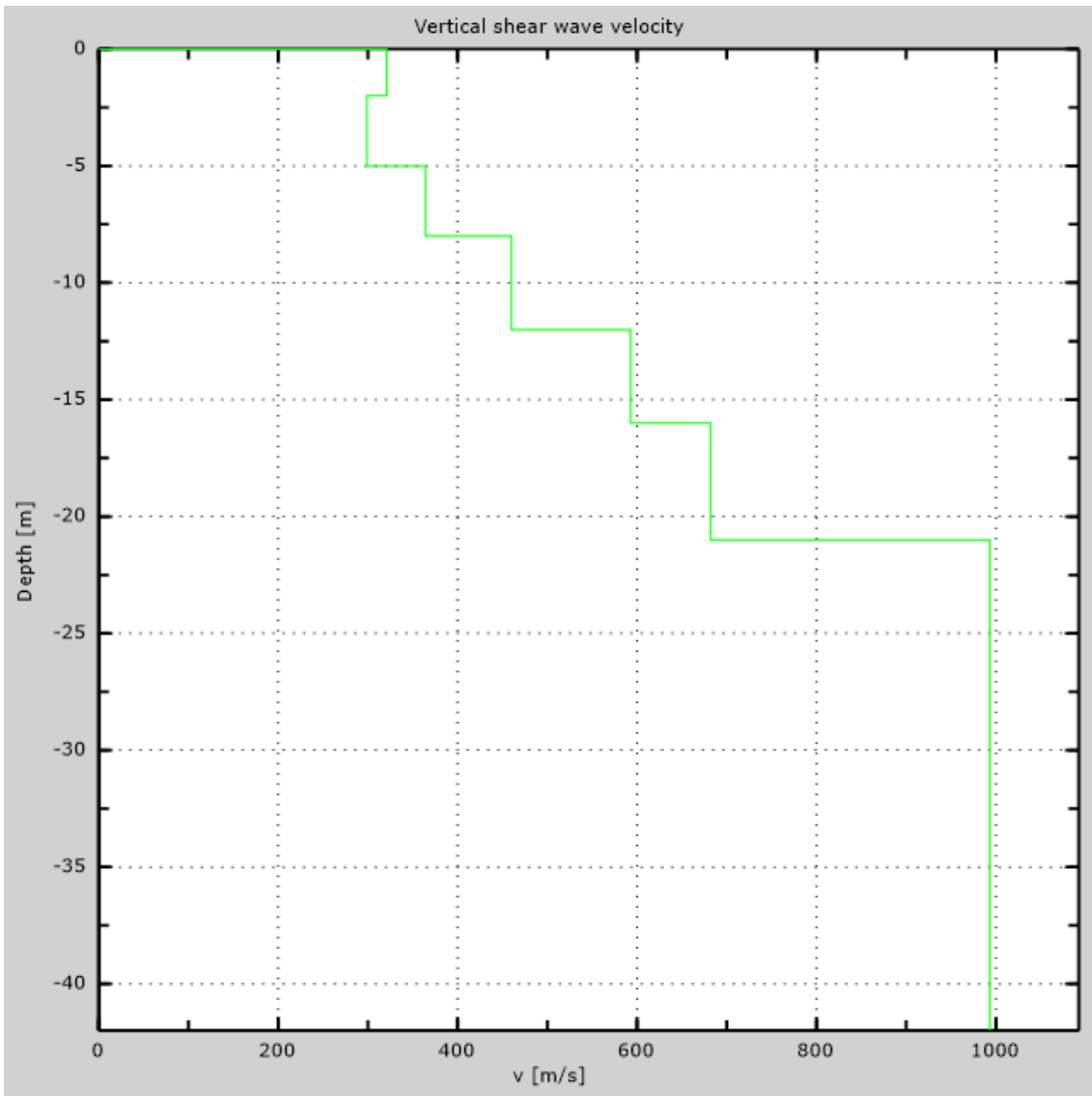


Figure 8: Numerical Vs profile

## 7 - Final results

Reference plane  $z=0$  [m] .....0

$V_{s30}$  [m/s] .....532

You are using the definitions included in DM 14 gennaio 2008

The site does belongs to classes A, B, C, D, E or S1 (alluvional soil, gravel, sand, silt, clay, rock).

The site is not susceptible to liquefaction or there is not sensitive clay.

The geotechnic unit 6 is the bed rock

**Soil type** .....**S2**

# Appendix

## Type of ground

Type A: Rock or other rock-like geological formation, including at most 3 m of weaker material at the surface

Type B: Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least 30 m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth,  $V_{s30}$  between 360 m/s and 800 m/s

Type C: Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel or stiff clay with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  between 180 m/s and 360 m/s

Type D: Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  lower than 180 m/s

Type E: A soil profile consisting of a surface alluvium layer with  $v_s$  values of type C or D and thickness lower than 20 m, underlain by stiffer material with  $v_s > 800$  m/s

Type S1: Deposits of soils with  $V_{s30} < 100$  m/s (or  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), which include a layer of fine-grained and low consistency soil with a thickness greater than 8 m, or a layer of peat or highly organic clay with a thickness greater than 3 m.

Type S2: Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S1

# MASW Analysis Report

Author: Jorge Andrés Arízaga Altamirano, María Gabriela Ulloa Palacios  
Site: Mazar, base aguas abajo  
Date: 07/04/2018

Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Experimental data

Traces file name

G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-4\MASW\LM-4.3D\_V2\U  
LJJ5827\_3D\_V2.dat

Number of sensors ..... 12

Sensors distance: ..... 0m

Number of time samples ..... 8232

Acquisition timestep ..... 0.25ms

Number of sensors used for the analysis..... 12

The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms

The interval considered for the analysis ends at ..... 2057.75ms

Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)



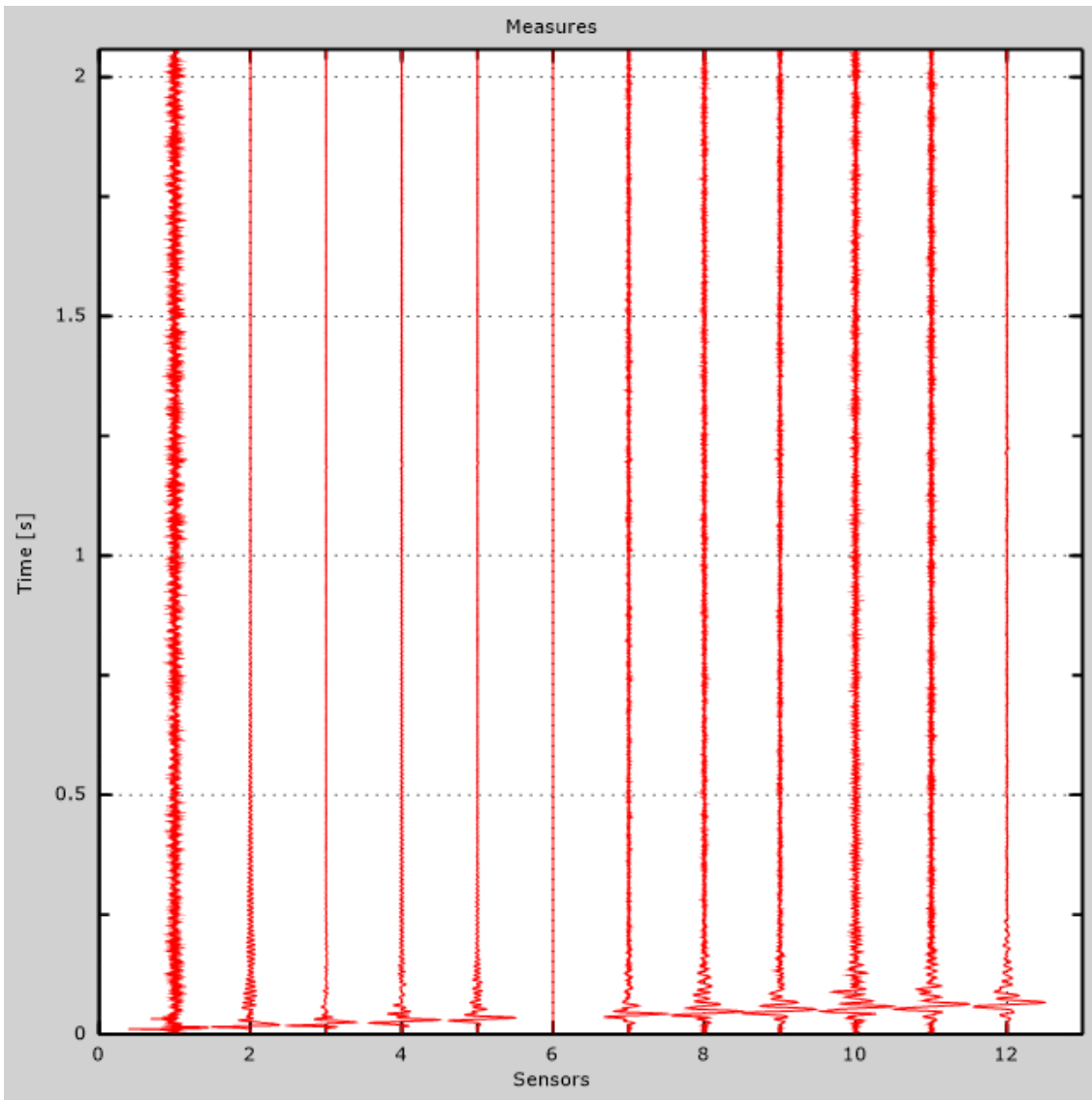


Figure 1: Experimental traces

## 2 - Analysis results

Final frequency ..... 70Hz  
Initial frequency ..... 2Hz

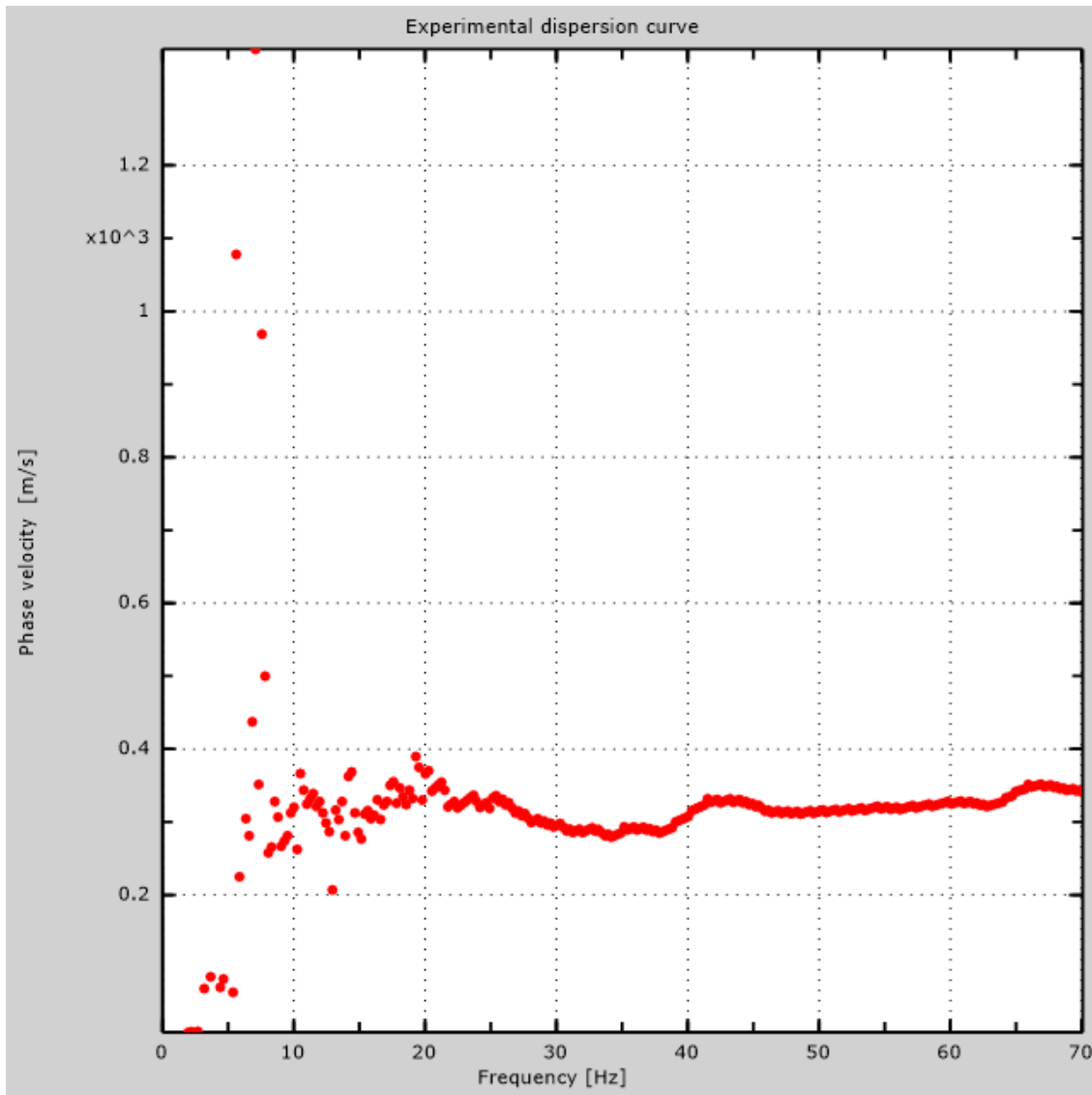


Figure 2: Experimental dispersion curve

### 3 - Analysis results (P)

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-4\REMI\ULJK0613.dat  
Number of sensors ..... 24  
Number of time samples ..... 3.26787e-312  
Acquisition timestep ..... 2ms  
Number of sensors used for the analysis..... 24  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 65534ms  
Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)

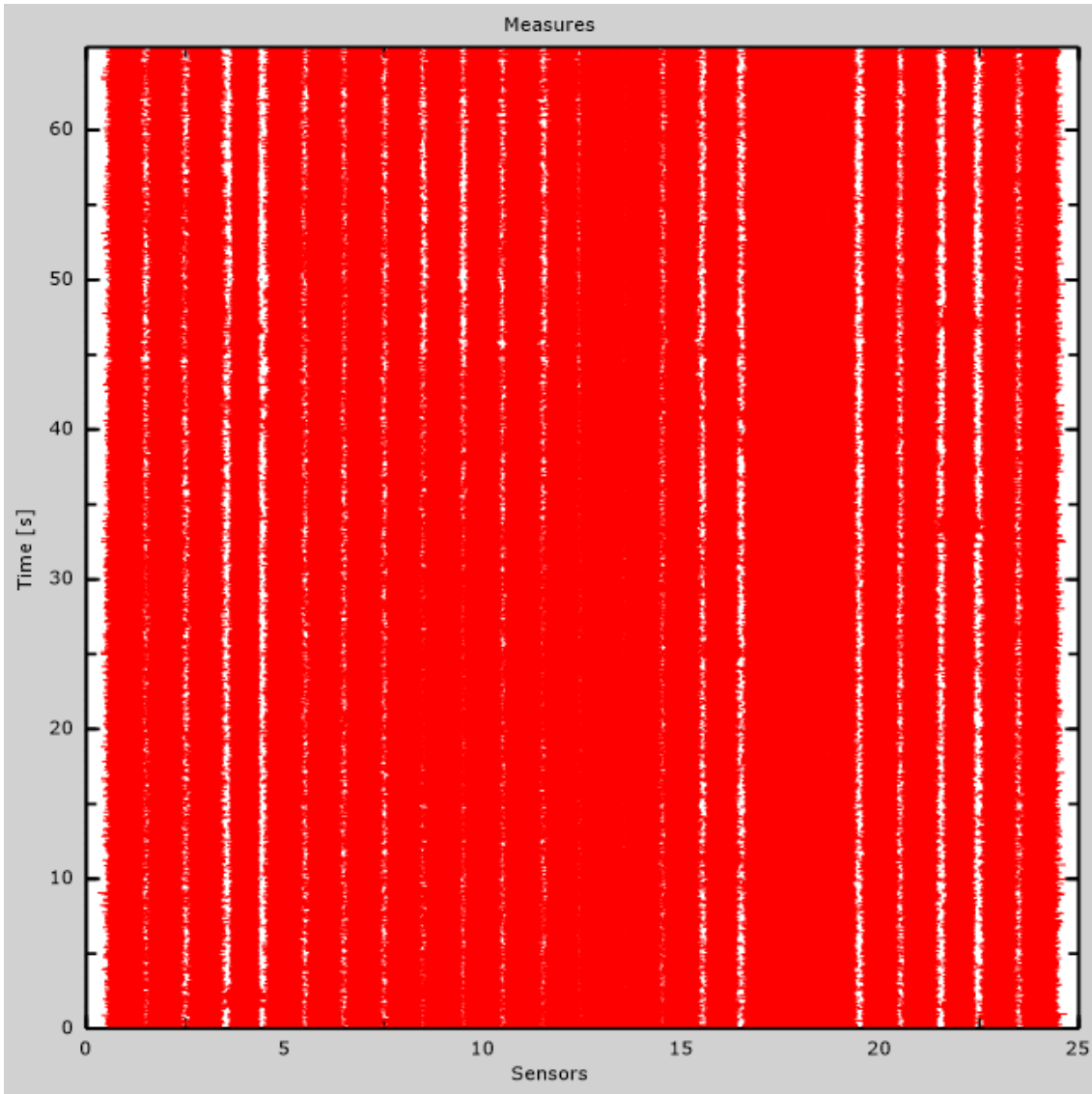


Figure 3: Experimental traces

## 4 - ESAC analysis

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-4\ESAC\ULJK4421.dat  
Number of sensors ..... 12  
Number of time samples ..... 327680  
Acquisition timestep ..... 2ms  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 655358ms  
Window duration ..... 10s  
Overlap ..... 0s  
Smoothing ..... 0.1  
Cleaning threshold ..... 0sd  
Number of iterations ..... 2

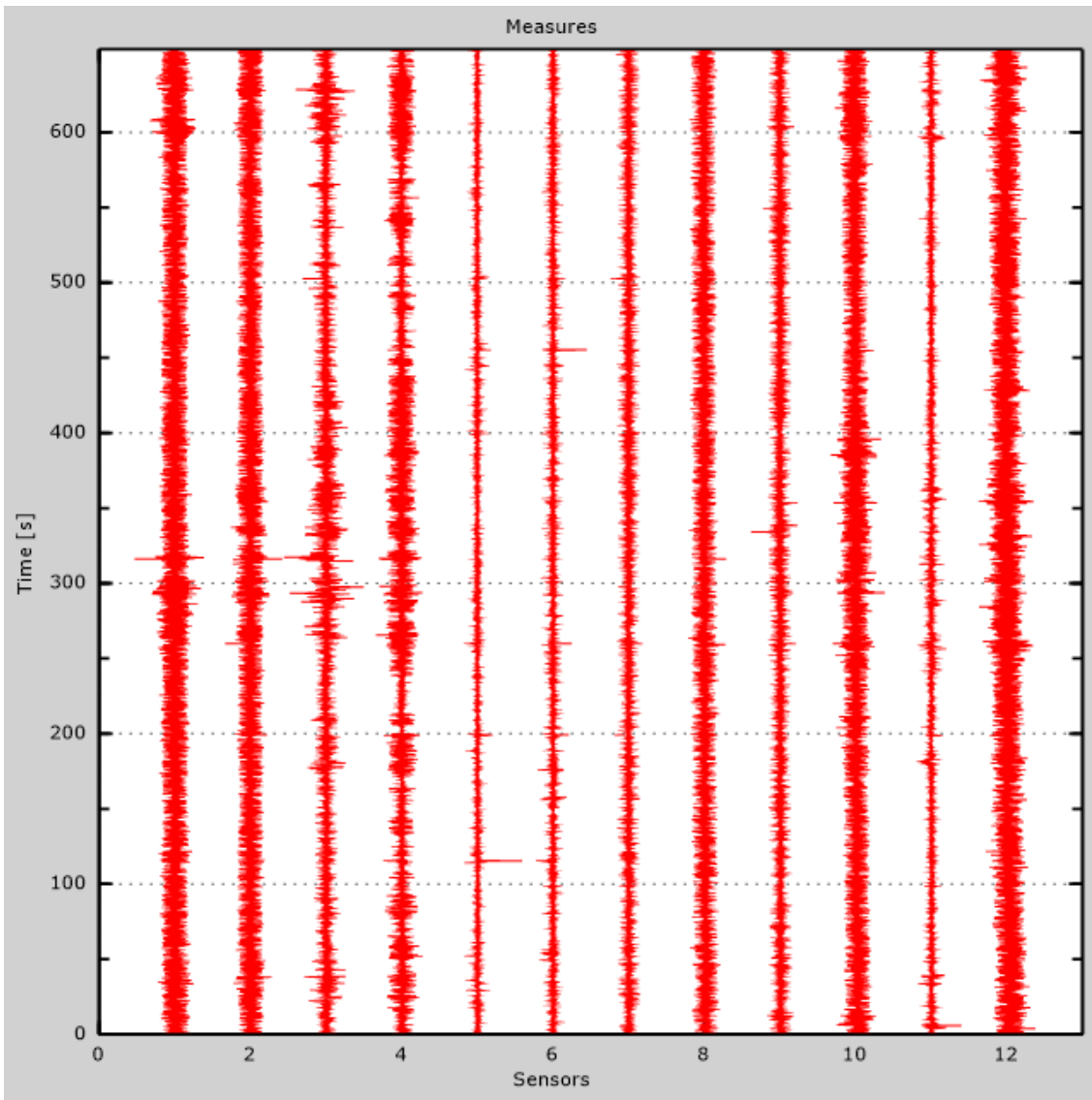


Figure 4: Experimental traces

Table 1: Geophones positions

X [m]	Y [m]
0	0
0	-4
0	-8
0	-12
0	-16
0	-20
5	-20
10	-20
15	-20
20	-20
25	-20

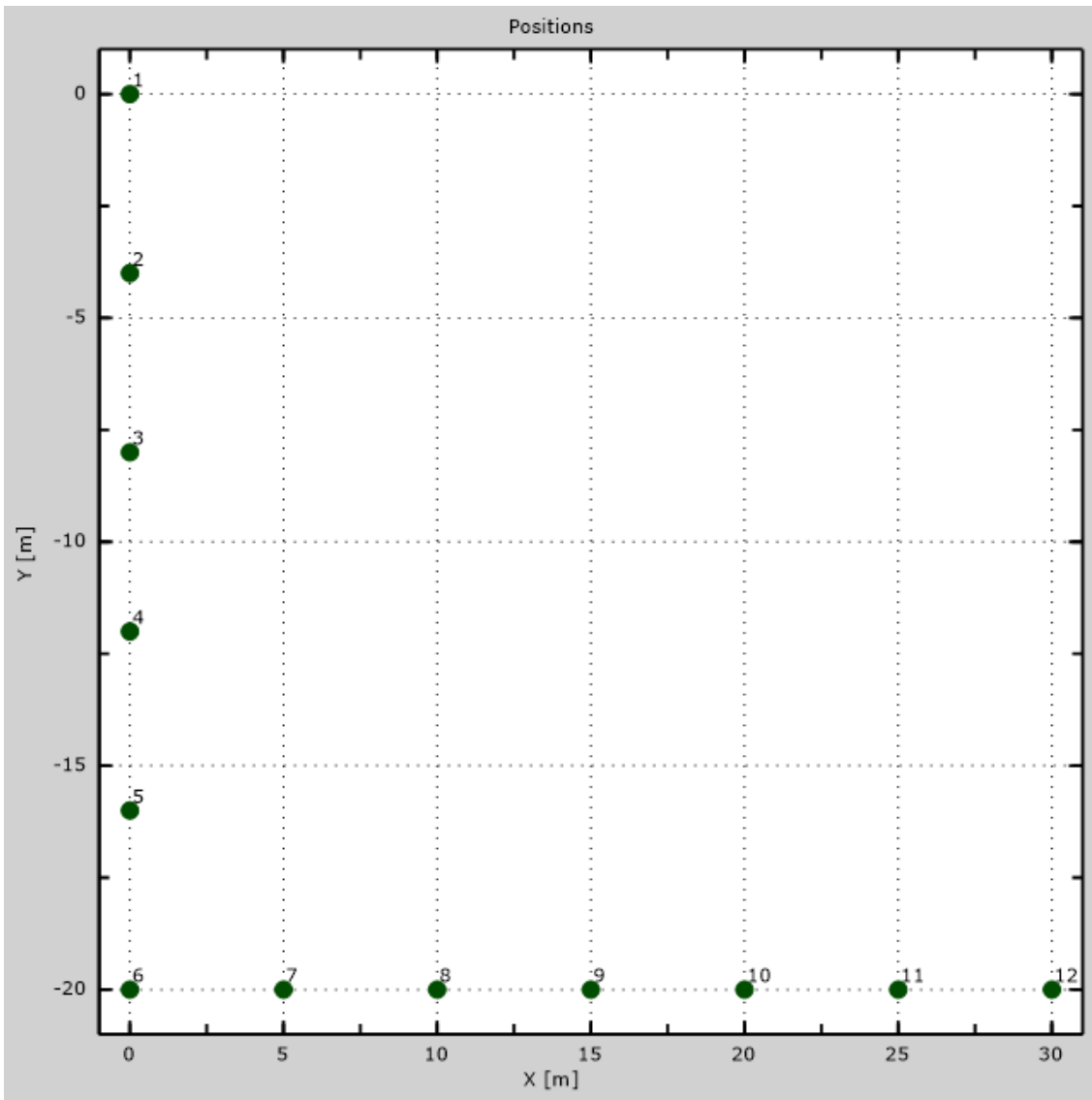


Figure 5: Geophones positions



## 5 - Dispersion curve

Table 2:Dispersion curve

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
9.94907	892.716	879.518	905.913
10.3821	862.55	836.156	888.945
10.9449	813.532	804.105	822.958
11.9408	758.857	749.431	768.284
13.0233	640.082	609.917	670.247
14.0191	564.669	547.701	581.637
14.9717	515.65	496.797	534.503
17.2232	419.498	402.53	436.466
19.9944	370.48	361.053	379.907
23.3717	334.659	329.003	340.315
26.316	321.461	317.691	325.232
28.8706	298.837	289.411	308.264
30.6025	293.182	283.755	302.608
33.4169	285.64	278.099	293.182
36.0582	291.296	287.526	295.067
37.7393	283.755	276.214	291.296
41.0855	325.232	321.461	329.003
44.5175	327.117	319.576	334.659
47.5204	315.805	310.149	321.461

50.5663	315.805	308.264	323.347
54.6847	323.347	317.691	329.003
59.0695	321.906	316.995	326.817
63.6182	324.853	322.888	326.817
67.8708	346.46	340.567	352.354

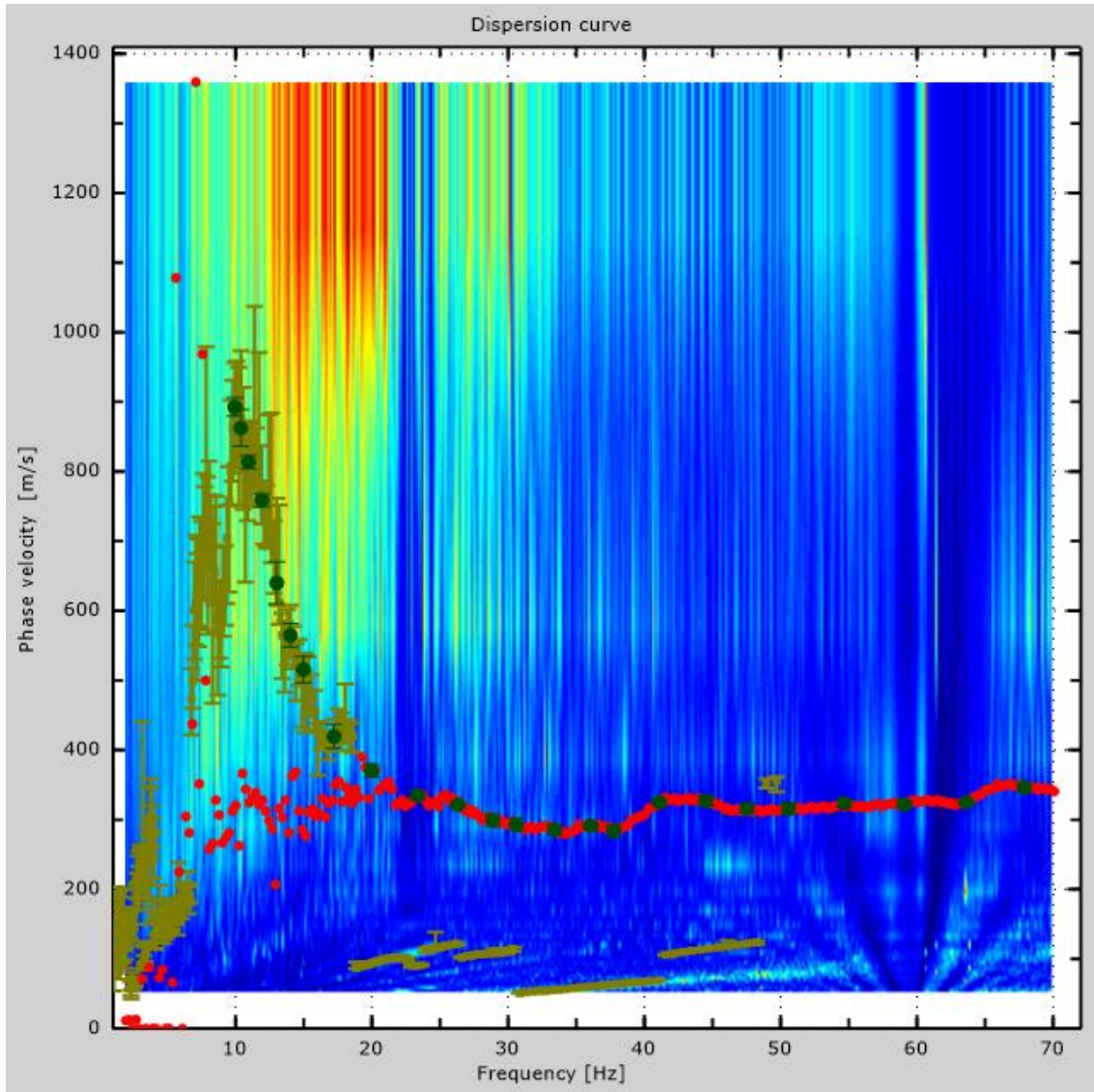


Figure 6: Dispersion curve

## 6 - Field profile

Number of layers (half-space excluded).....	9
Receivers spacing.....	1.5m
Number of receivers.....	12
Number of modes.....	1

### Layer 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1869
Poisson .....	0.36
Vs [m/s].....	385
Vp [m/s] .....	823
Vs min [m/s] .....	192
Vs max [m/s].....	770
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	385

### Layer 2

h [m].....	3
z [m].....	-5
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1780
Poisson .....	0.47
Vs [m/s].....	317
Vp [m/s] .....	1332
Vs min [m/s] .....	159
Vs max [m/s].....	635
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	317

### Layer 3

h [m].....	3
z [m].....	-8
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1853
Poisson .....	0.47
Vs [m/s].....	372
Vp [m/s] .....	1564

Vs min [m/s] .....	186
Vs max [m/s].....	558
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	372

### Layer 4

h [m].....	4
z [m] .....	-12
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1960
Poisson .....	0.47
Vs [m/s].....	466
Vp [m/s] .....	1959
Vs min [m/s] .....	233
Vs max [m/s].....	699
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	466

### Layer 5

h [m].....	4
z [m] .....	-16
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2064
Poisson .....	0.25
Vs [m/s].....	573
Vp [m/s] .....	992
Vs min [m/s] .....	286
Vs max [m/s].....	860
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	573

### Layer 6

h [m].....	5
z [m] .....	-21
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2178
Poisson .....	0.25
Vs [m/s].....	711
Vp [m/s] .....	1231
Vs min [m/s] .....	356
Vs max [m/s].....	1067
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	

Vs fin.[m/s] ..... 711

### Layer 7

h [m] ..... 5

z [m] ..... -26

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2367

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 992

Vp [m/s] ..... 1718

Vs min [m/s] ..... 422

Vs max [m/s] ..... 1488

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 992

### Layer 8

h [m] ..... 6

z [m] ..... -32

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2367

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 992

Vp [m/s] ..... 1718

Vs min [m/s] ..... 452

Vs max [m/s] ..... 1488

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 992

### Layer 9

h [m] ..... 0

z [m] ..... -00

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2367

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 992

Vp [m/s] ..... 1718

Vs min [m/s] ..... 496

Vs max [m/s] ..... 1984

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 992

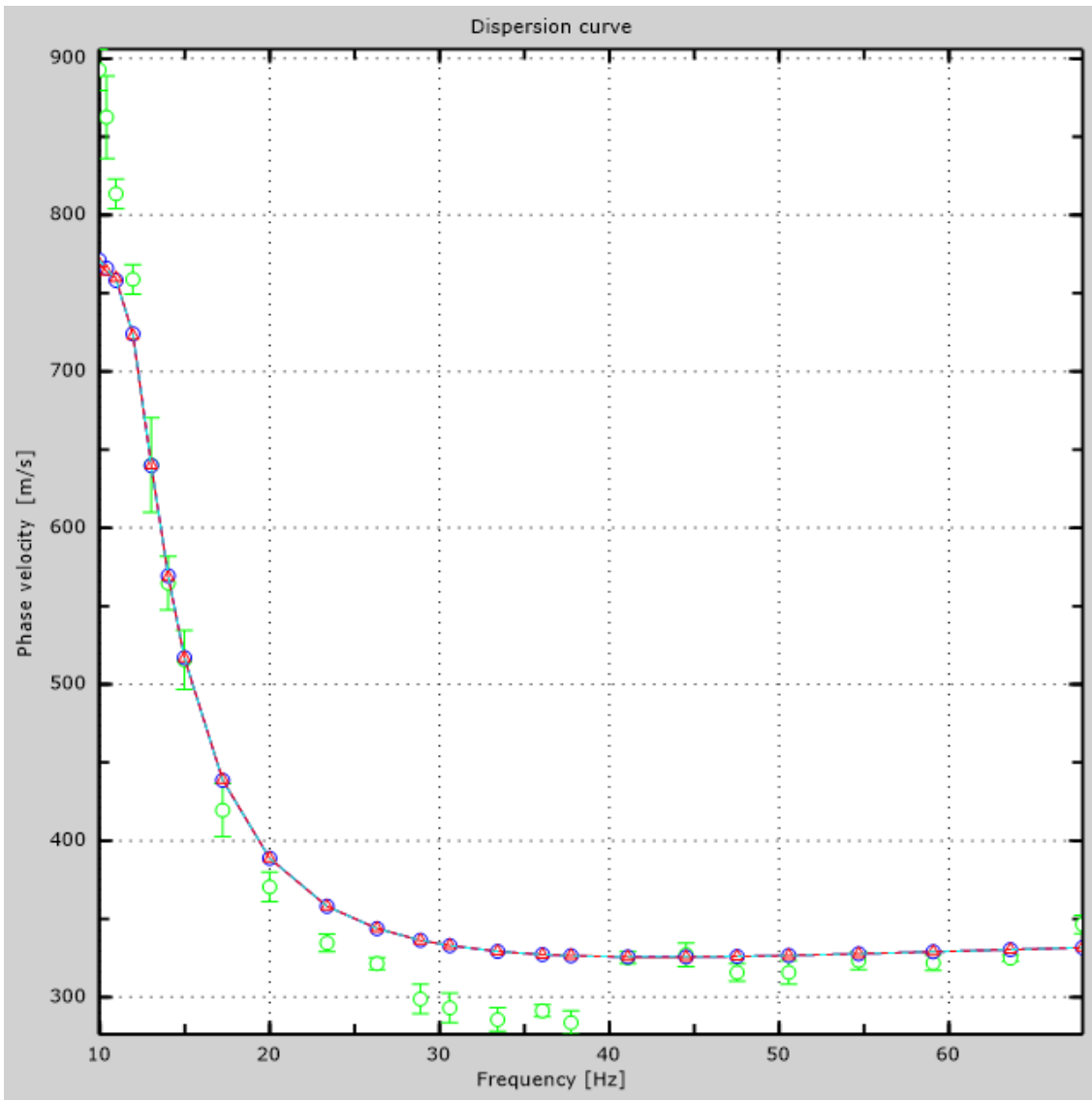


Figure 7: Numerical velocities - experimental points (green), Rayleigh modes (cyan), apparent curve (blue), numerical curve (red)

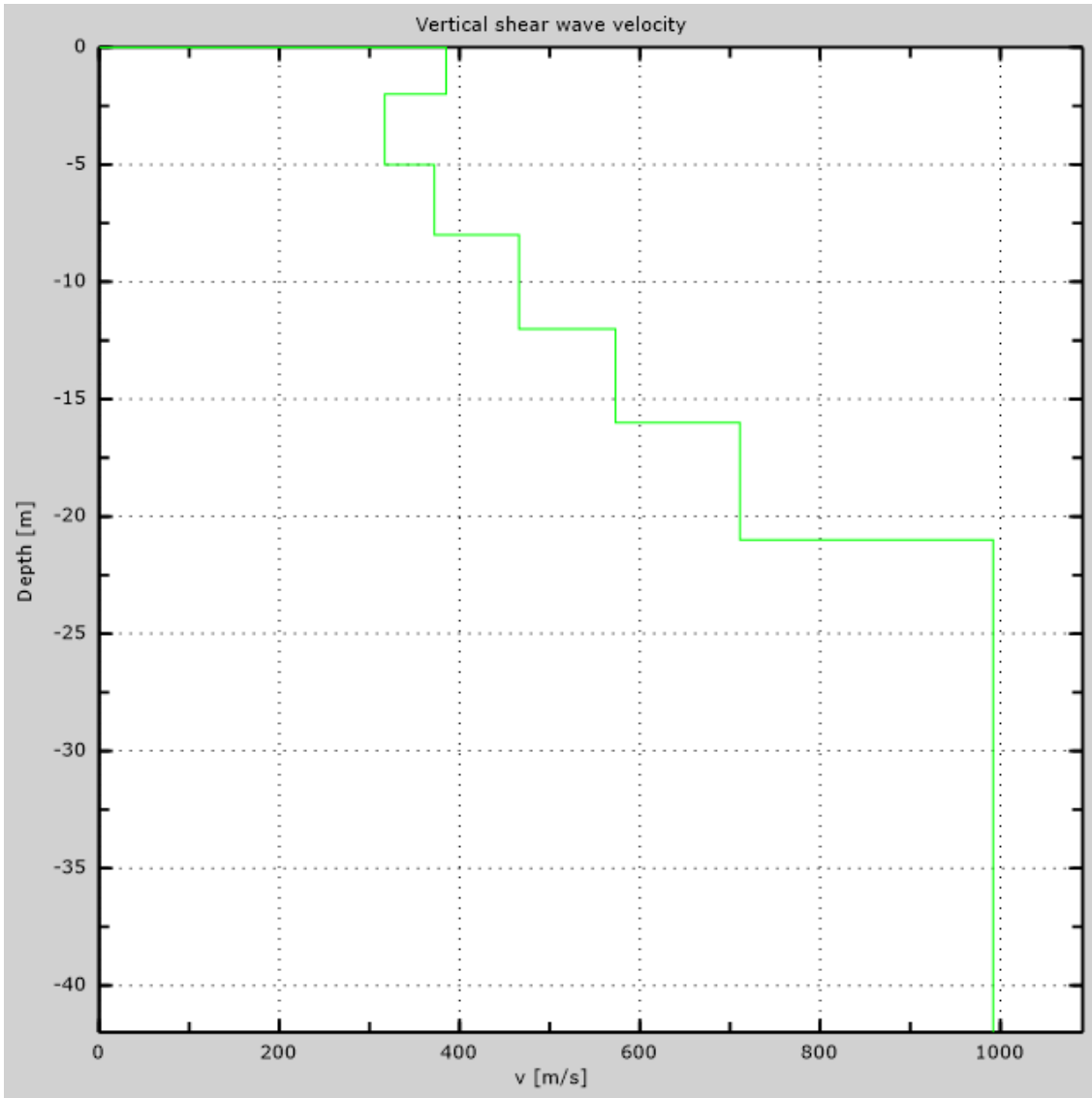


Figure 8: Numerical Vs profile

## 7 - Final results

Reference plane  $z=0$  [m] .....0

Vs30 [m/s] .....551

You are using the definitions included in DM 14 gennaio 2008

The site does belongs to classes A, B, C, D, E or S1 (alluvional soil, gravel, sand, silt, clay, rock).

The site is not susceptible to liquefaction or there is not sensitive clay.

The geotechnic unit 6 is the bed rock

**Soil type** .....**S2**



# Appendix

## Type of ground

Type A: Rock or other rock-like geological formation, including at most 3 m of weaker material at the surface

Type B: Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least 30 m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth,  $V_{s30}$  between 360 m/s and 800 m/s

Type C: Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel or stiff clay with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  between 180 m/s and 360 m/s

Type D: Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  lower than 180 m/s

Type E: A soil profile consisting of a surface alluvium layer with  $v_s$  values of type C or D and thickness lower than 20 m, underlain by stiffer material with  $v_s > 800$  m/s

Type S1: Deposits of soils with  $V_{s30} < 100$  m/s (or  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), which include a layer of fine-grained and low consistency soil with a thickness greater than 8 m, or a layer of peat or highly organic clay with a thickness greater than 3 m.

Type S2: Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S1

# MASW Analysis Report

Author: Jorge Andrés Arízaga Altamirano, María Gabriela Ulloa Palacios  
Site: Mazar, base aguas abajo  
Date: 06/04/2018

Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Experimental data

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-4\MASW\ULJK0002\_4.dat  
Number of sensors ..... 18  
Sensors distance: ..... 1.5m  
Number of time samples ..... 8232  
Acquisition timestep ..... 0.25ms  
Number of sensors used for the analysis ..... 18  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 2057.75ms  
Sensors are reverted (the last one in the file is the first one for the analysis)

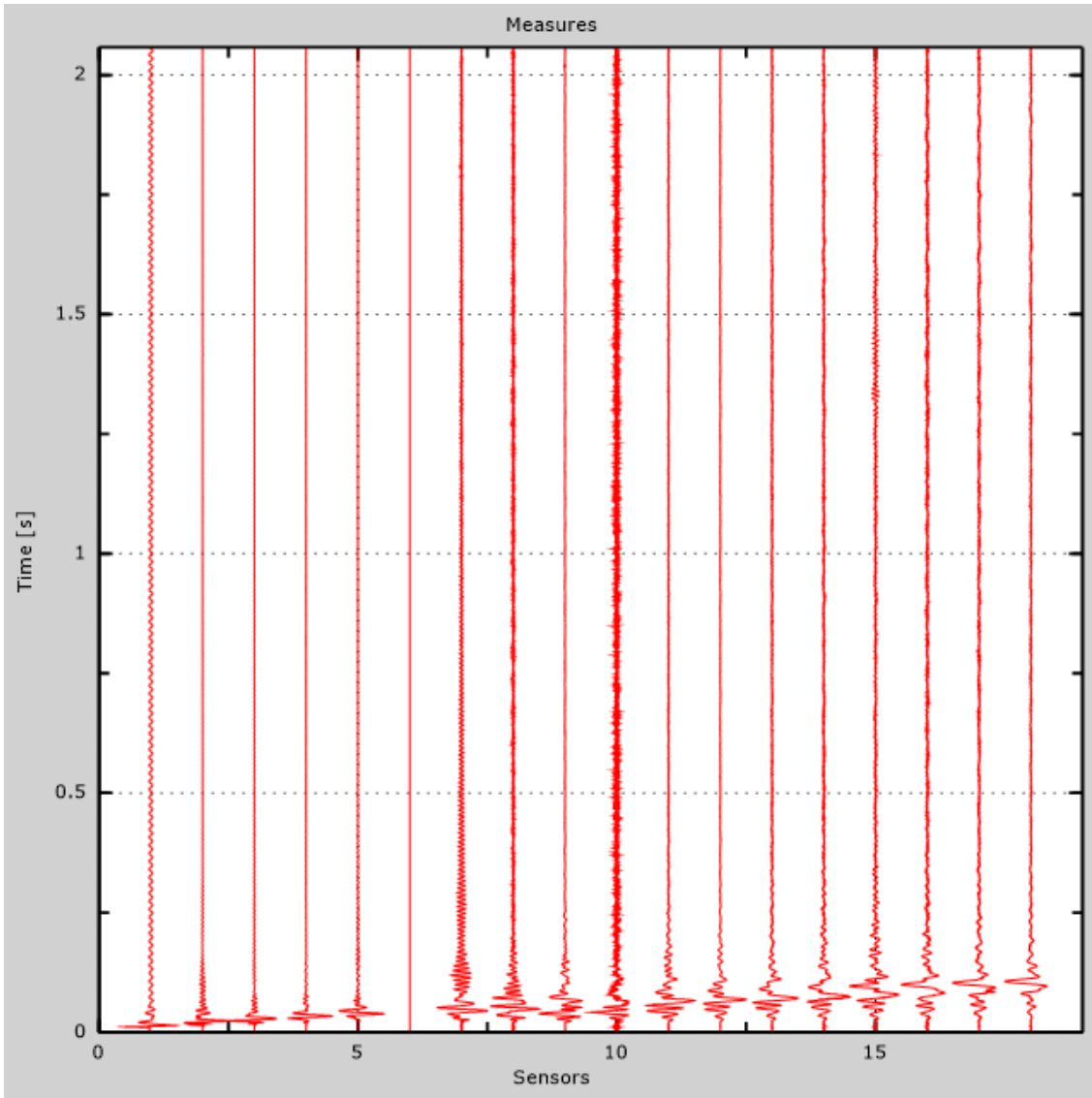


Figure 1: Experimental traces

## 2 - Analysis results

Final frequency ..... 70Hz  
Initial frequency ..... 2Hz

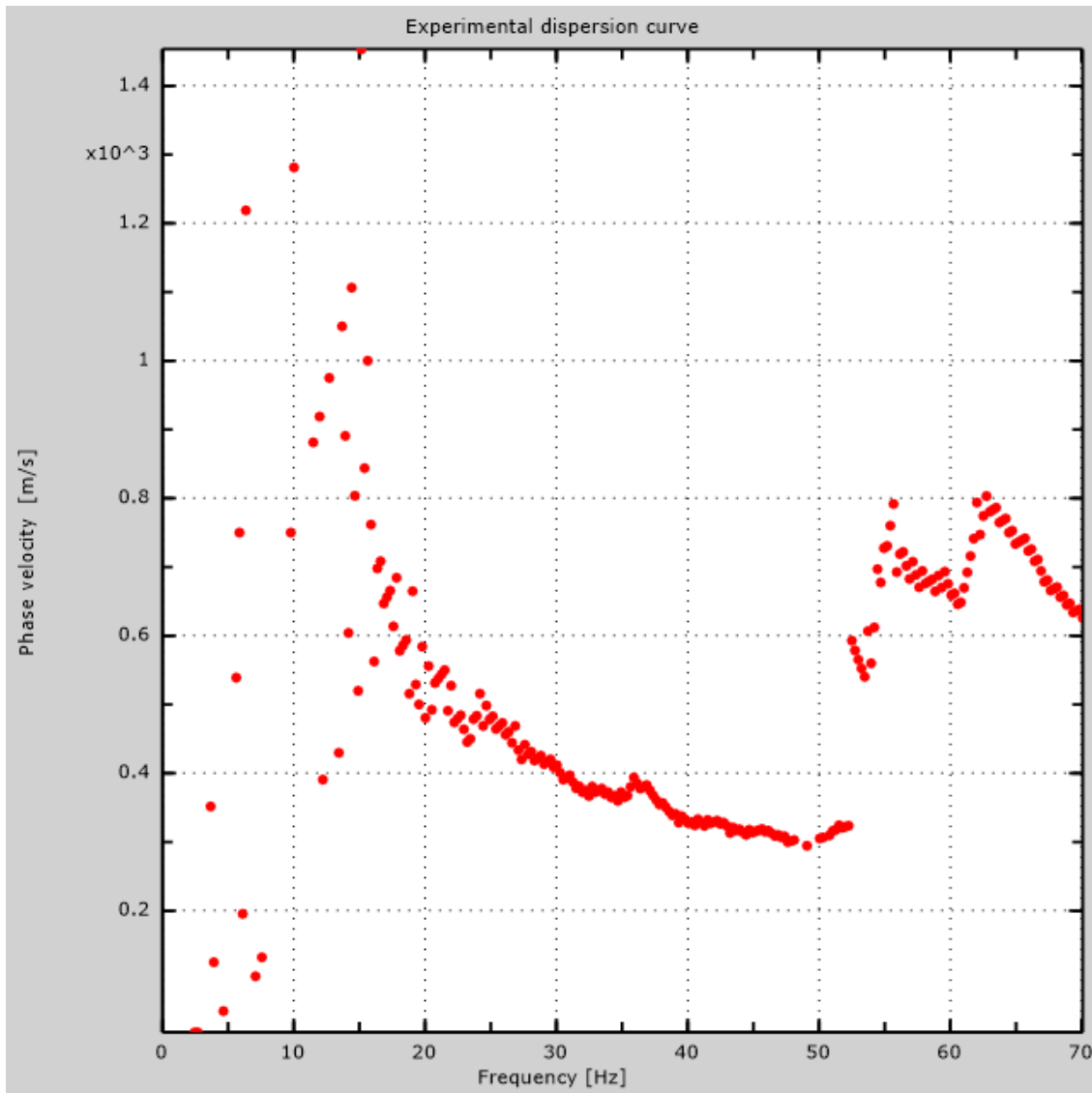


Figure 2: Experimental dispersion curve

### 3 - Analysis results (P)

Traces file name.....  
Number of sensors .....24  
Number of time samples .....3.26787e-312  
Acquisition timestep .....2ms  
Number of sensors used for the analysis.....24  
The interval considered for the analysis starts at .....0ms  
The interval considered for the analysis ends at .....65534ms  
Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)

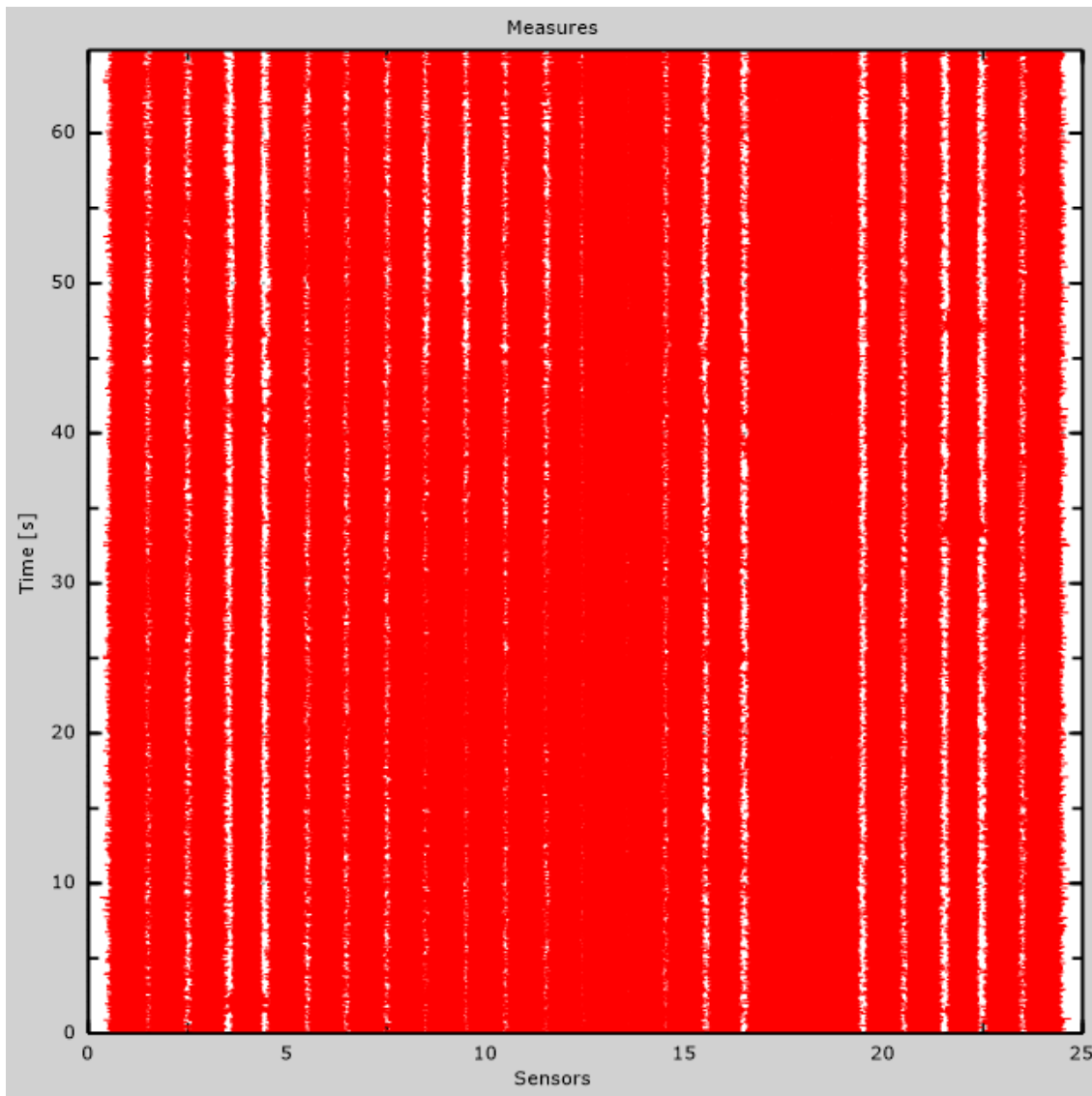


Figure 3: Experimental traces

## 4 - ESAC analysis

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-4\ESAC\ULJK4314.dat

Number of sensors .....	12
Number of time samples .....	327680
Acquisition timestep .....	2ms
The interval considered for the analysis starts at .....	0ms
The interval considered for the analysis ends at .....	655358ms
Window duration .....	10s
Overlap.....	0s
Smoothing .....	0.1
Cleaning threshold .....	0sd
Number of iterations .....	2



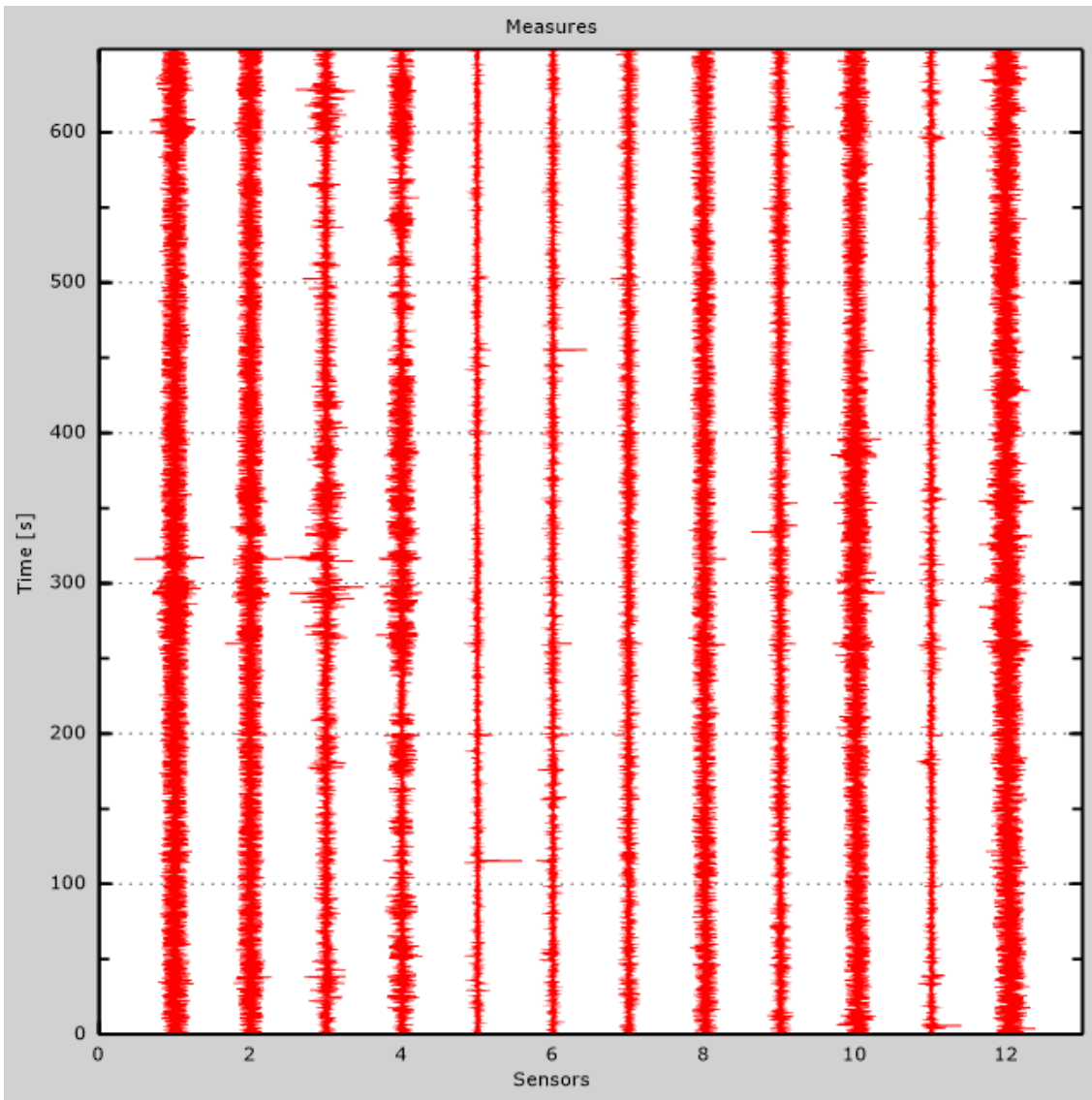


Figure 4: Experimental traces

Table 1: Geophones positions

X [m]	Y [m]
0	0
0	-4
0	-8
0	-12
0	-16
0	-20
5	-20
10	-20
15	-20
20	-20
25	-20

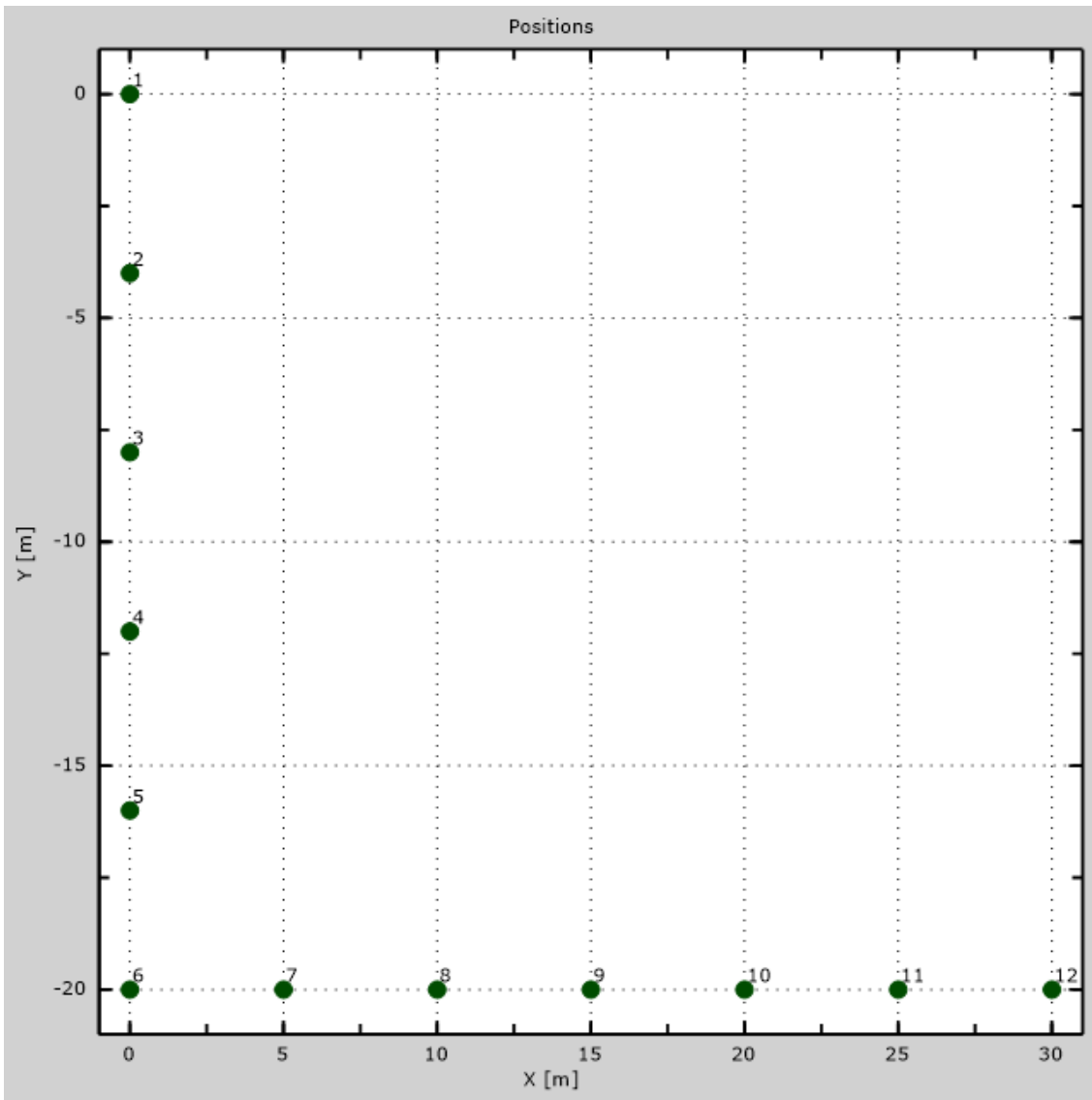


Figure 5: Geophones positions

## 5 - Dispersion curve

Table 2:Dispersion curve

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
10.0403	890.725	867.564	913.886
11.2327	824.138	809.662	838.613
12.4677	719.915	690.964	748.866
13.6176	554.895	543.314	566.475
15.7469	459.357	439.091	479.622
17.7485	430.406	413.035	447.776
22.2201	473.832	456.462	491.203
26.3936	459.357	447.776	470.937
30.0135	413.035	398.56	427.511
34.6981	366.714	355.133	378.294
37.9773	355.133	343.553	366.714
41.0861	326.183	314.602	337.763
44.4931	314.602	300.127	329.078
47.3038	305.917	294.337	317.497
49.0073	297.232	291.441	303.022
51.9458	320.392	311.707	329.078

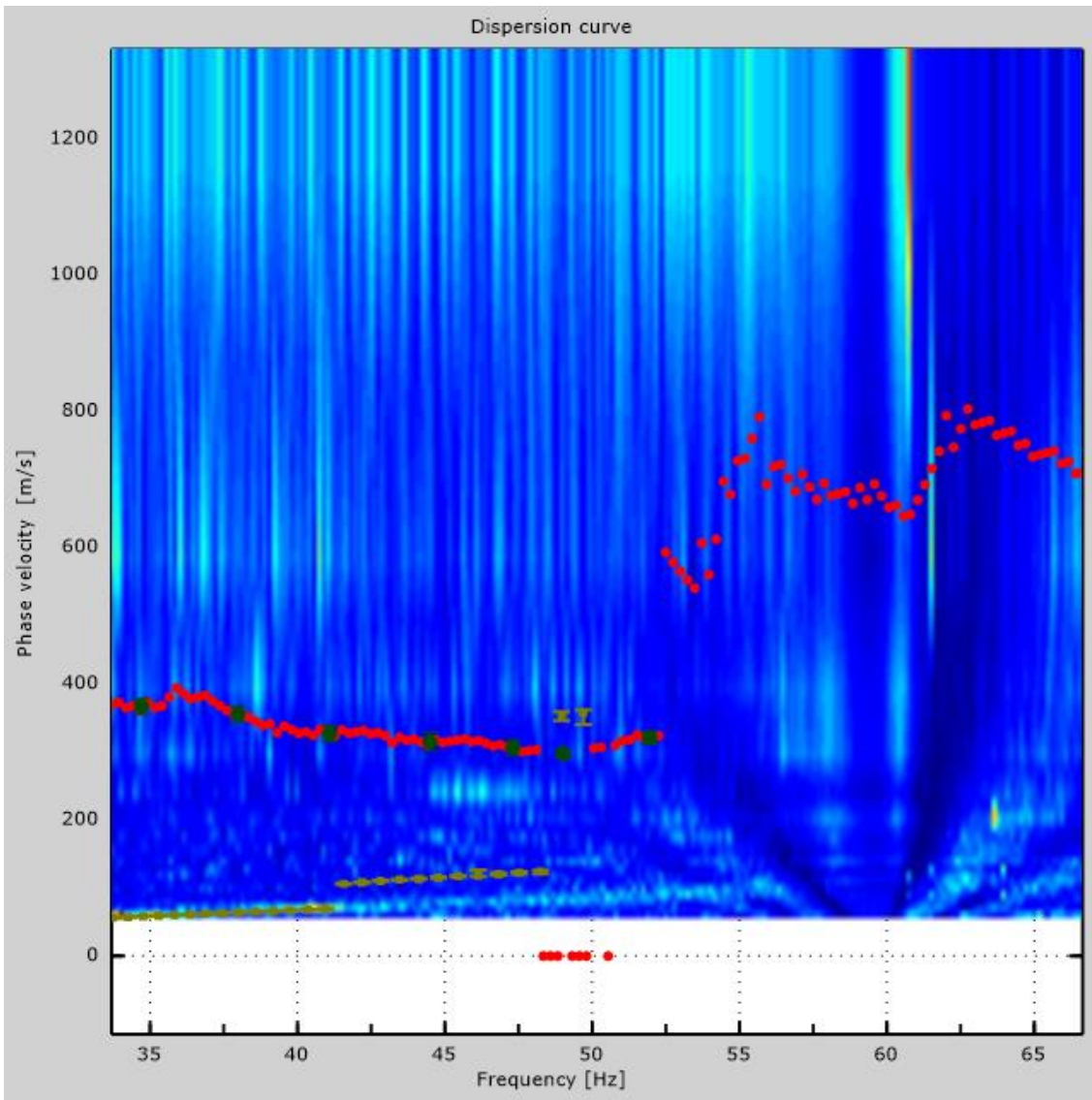


Figure 6: Dispersion curve

## 6 - Field profile

Number of layers (half-space excluded).....	9
Receivers spacing.....	1.5m
Number of receivers.....	18
Number of modes.....	1

### Layer 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1798
Poisson .....	0.36
Vs [m/s].....	330
Vp [m/s] .....	706
Vs min [m/s] .....	165
Vs max [m/s].....	661
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	330

### Layer 2

h [m].....	3
z [m].....	-5
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1798
Poisson .....	0.43
Vs [m/s].....	330
Vp [m/s] .....	942
Vs min [m/s] .....	197
Vs max [m/s].....	495
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	330

### Layer 3

h [m].....	3
z [m].....	-8
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1972
Poisson .....	0.43
Vs [m/s].....	478
Vp [m/s] .....	1364

Vs min [m/s] .....	255
Vs max [m/s].....	717
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	478

### Layer 4

h [m].....	4
z [m] .....	-12
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1972
Poisson .....	0.46
Vs [m/s].....	478
Vp [m/s] .....	1756
Vs min [m/s] .....	239
Vs max [m/s].....	717
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	478

### Layer 5

h [m].....	4
z [m] .....	-16
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2102
Poisson .....	0.47
Vs [m/s].....	617
Vp [m/s] .....	2593
Vs min [m/s] .....	308
Vs max [m/s].....	926
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	617

### Layer 6

h [m].....	6
z [m] .....	-22
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2102
Poisson .....	0.47
Vs [m/s].....	617
Vp [m/s] .....	2593
Vs min [m/s] .....	308
Vs max [m/s].....	926
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	

Vs fin.[m/s] .....617

### Layer 7

h [m].....4

z [m].....-26

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2366

Poisson .....0.25

Vs [m/s].....990

Vp [m/s] .....1715

Vs min [m/s] .....400

Vs max [m/s].....1485

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....990

### Layer 8

h [m].....6

z [m].....-32

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2366

Poisson .....0.25

Vs [m/s].....990

Vp [m/s] .....1715

Vs min [m/s] .....458

Vs max [m/s].....1485

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....990

### Layer 9

h [m].....0

z [m].....-00

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2366

Poisson .....0.25

Vs [m/s].....990

Vp [m/s] .....1715

Vs min [m/s] .....495

Vs max [m/s].....1979

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....990



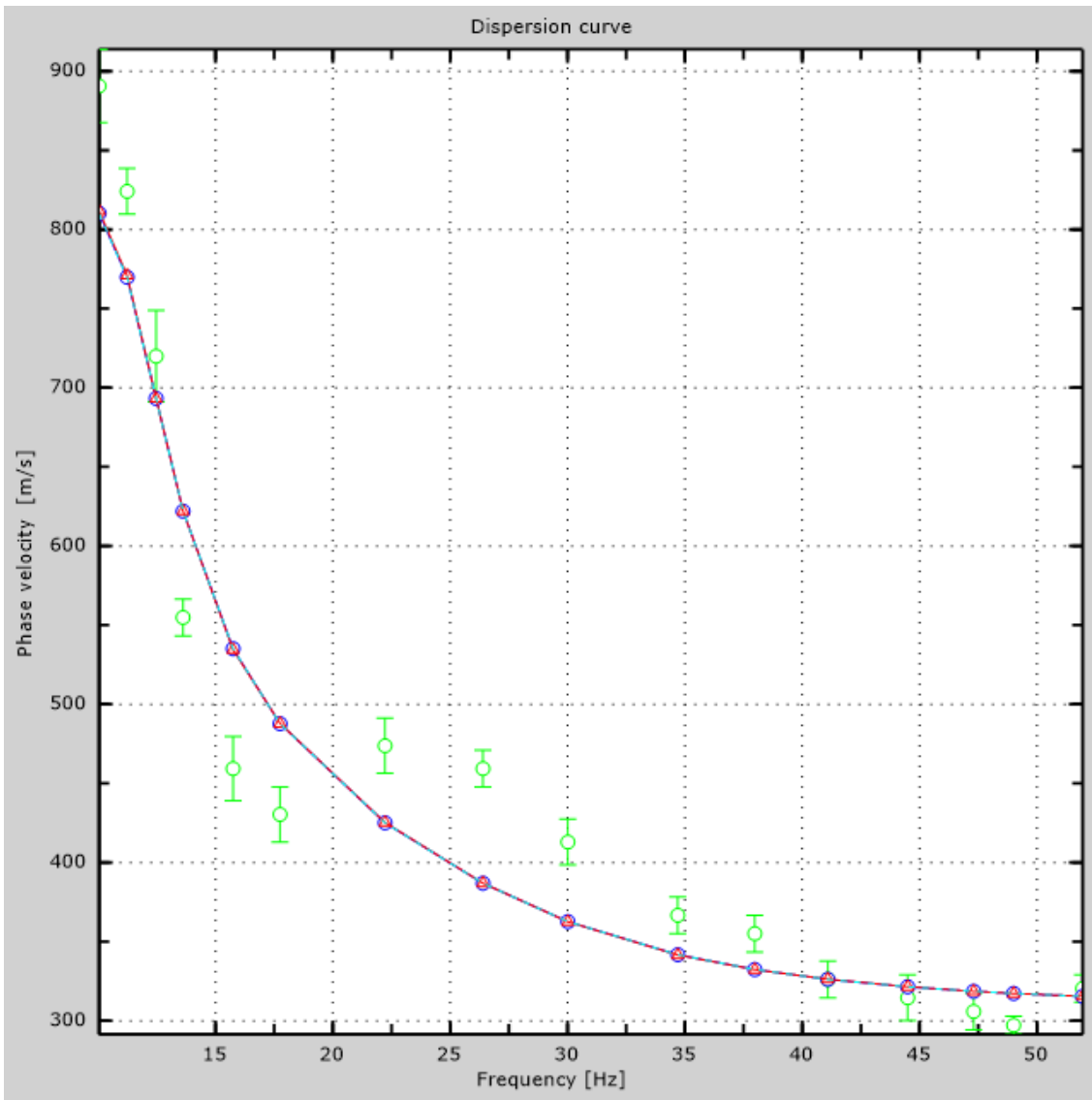


Figure 7: Numerical velocities - experimental points (green), Rayleigh modes (cyan), apparent curve (blue), numerical curve (red)

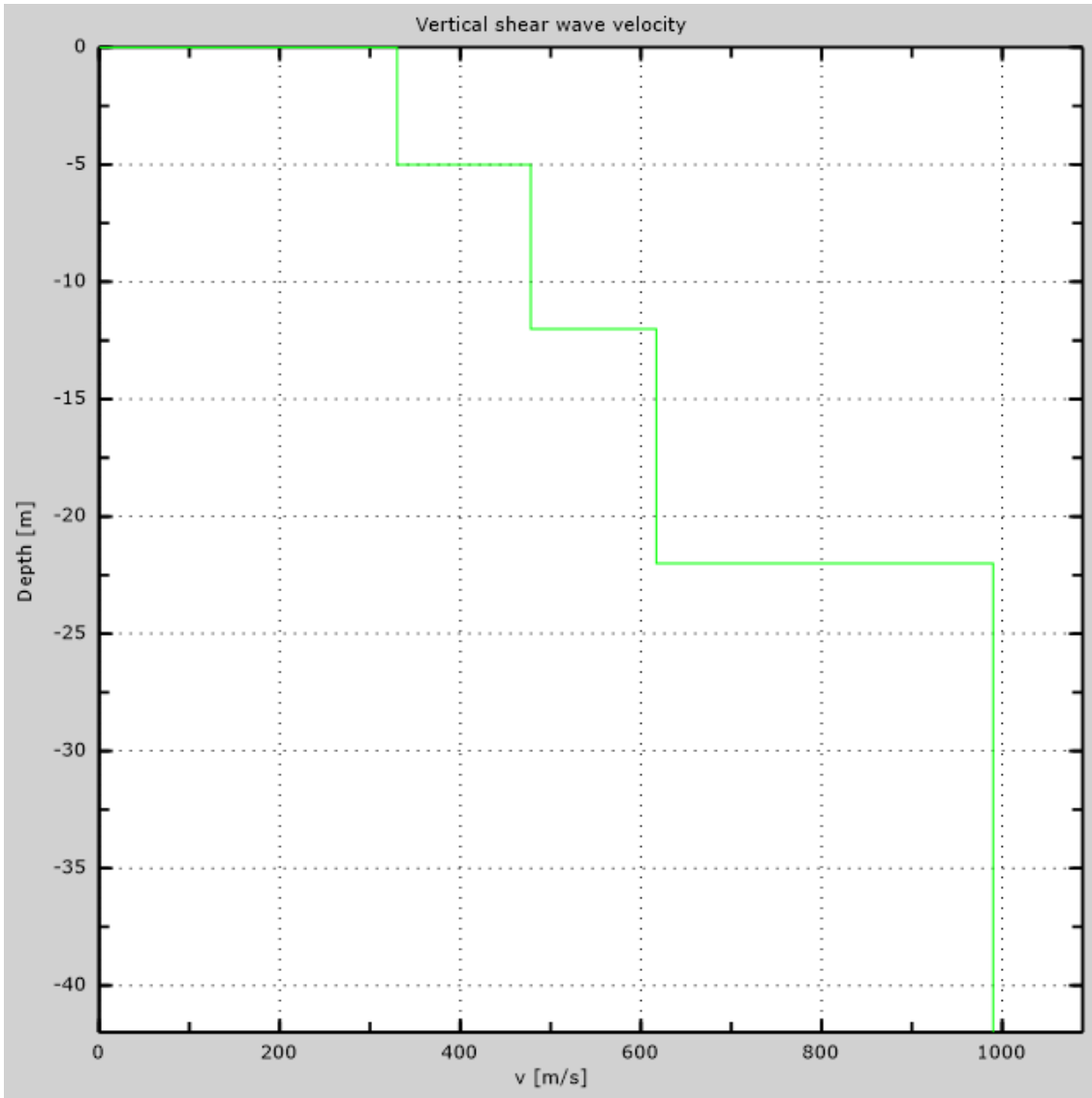


Figure 8: Numerical Vs profile

## 7 - Final results

Reference plane  $z=0$  [m] .....0

$V_{s30}$  [m/s] .....554

You are using the definitions included in DM 14 gennaio 2008

The site does belongs to classes A, B, C, D, E or S1 (alluvional soil, gravel, sand, silt, clay, rock).

The site is not susceptible to liquefaction or there is not sensitive clay.

The geotechnic unit 6 is the bed rock

**Soil type** .....**S2**

# Appendix

## Type of ground

Type A: Rock or other rock-like geological formation, including at most 3 m of weaker material at the surface

Type B: Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least 30 m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth,  $V_{s30}$  between 360 m/s and 800 m/s

Type C: Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel or stiff clay with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  between 180 m/s and 360 m/s

Type D: Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  lower than 180 m/s

Type E: A soil profile consisting of a surface alluvium layer with  $v_s$  values of type C or D and thickness lower than 20 m, underlain by stiffer material with  $v_s > 800$  m/s

Type S1: Deposits of soils with  $V_{s30} < 100$  m/s (or  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), which include a layer of fine-grained and low consistency soil with a thickness greater than 8 m, or a layer of peat or highly organic clay with a thickness greater than 3 m.

Type S2: Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S1

# MASW Analysis Report

Author: Jorge Andrés Arízaga Altamirano, María Gabriela Ulloa Palacios  
Site: Mazar, via de acceso  
Date: 06/04/2018

Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Experimental data

Traces file name

G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-5\MASW\ULJM2155\_3D.d

at

Number of sensors ..... 12

Sensors distance: ..... 1.5m

Number of time samples ..... 8232

Acquisition timestep ..... 0.25ms

Number of sensors used for the analysis..... 12

The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms

The interval considered for the analysis ends at ..... 2057.75ms

Sensors are reverted (the last one in the file is the first one for the analysis)

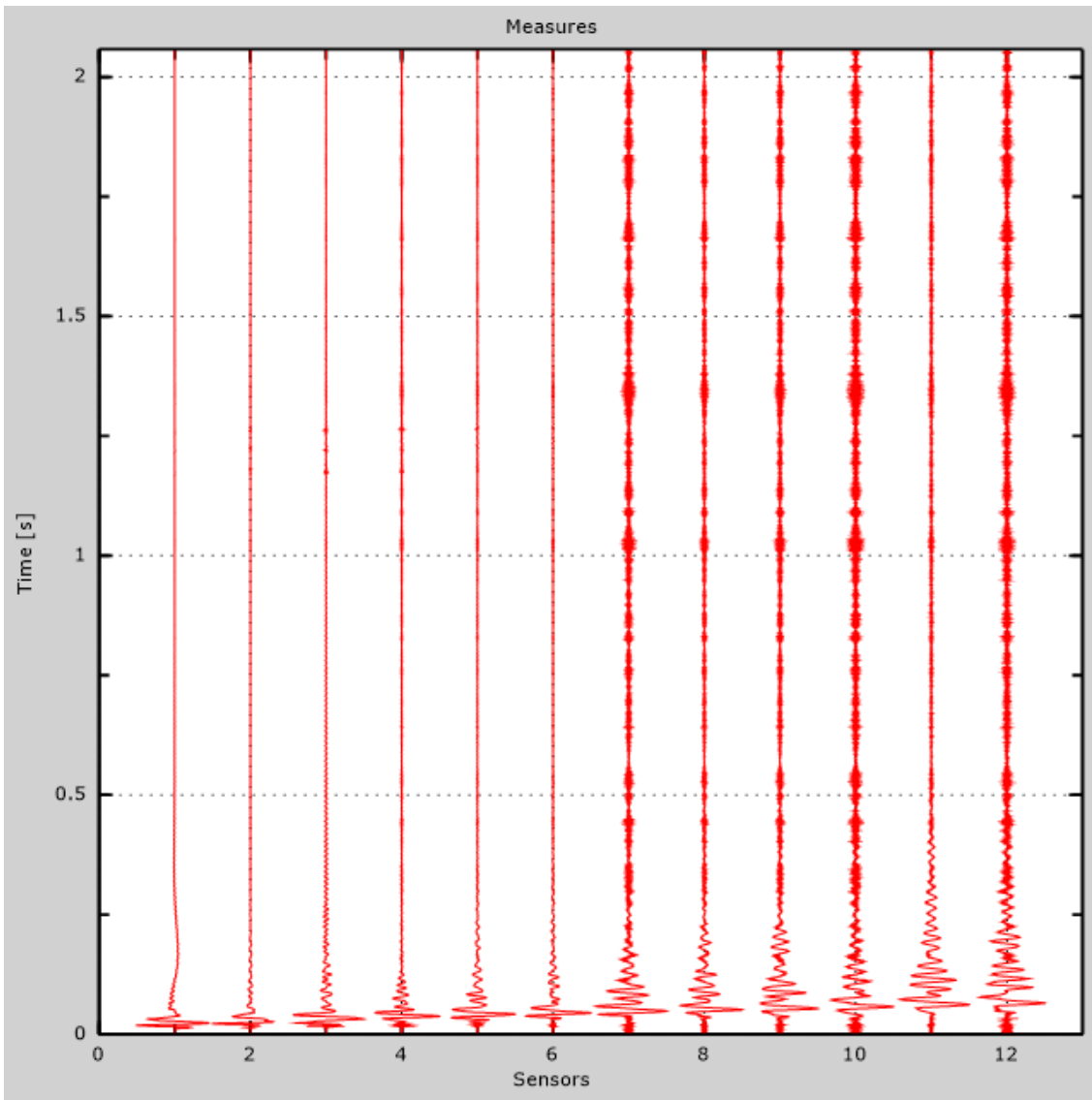


Figure 1: Experimental traces

## 2 - Analysis results

Final frequency ..... 70Hz  
Initial frequency ..... 2Hz

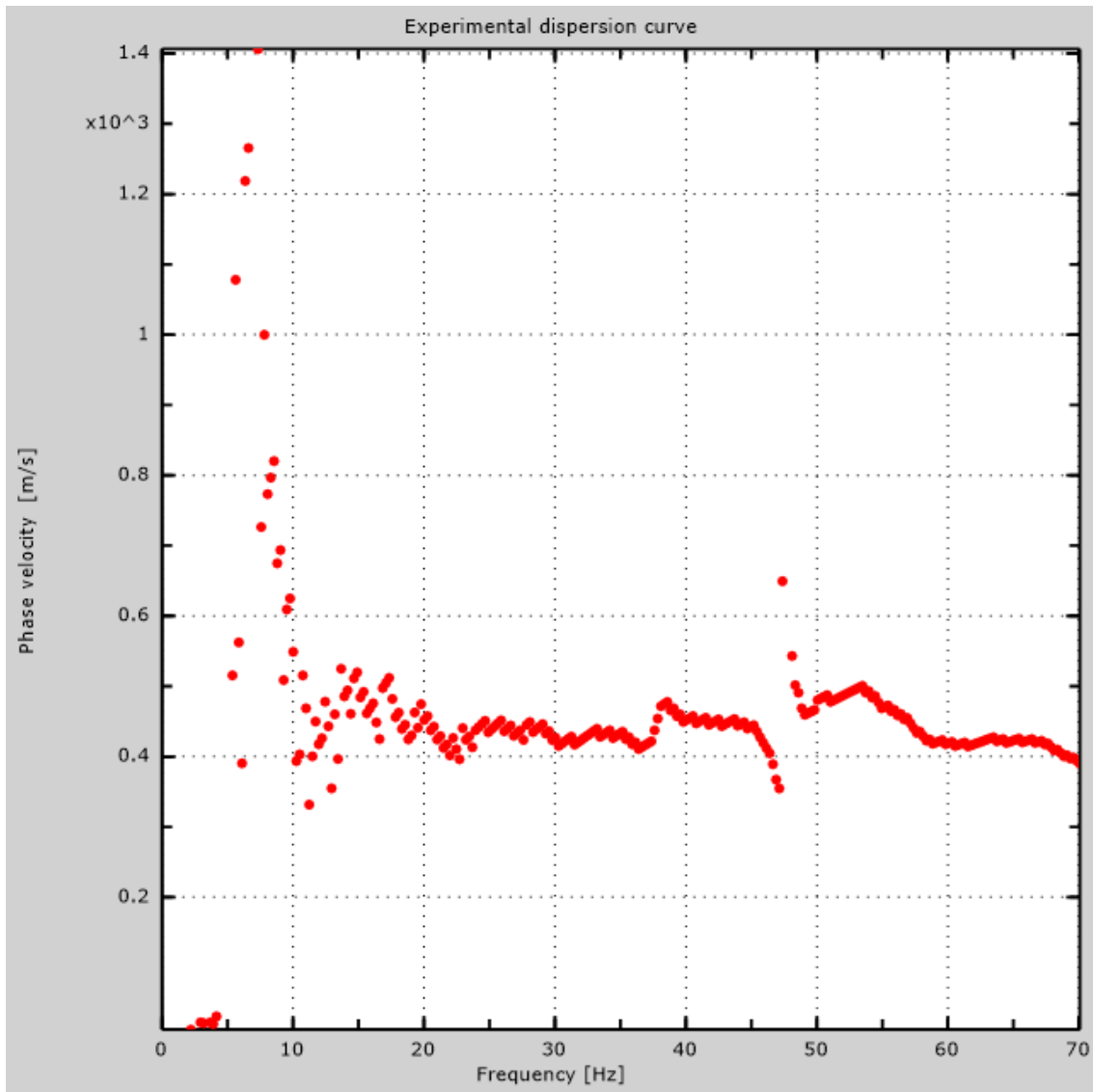


Figure 2: Experimental dispersion curve



### 3 - Analysis results (P)

Traces file name

G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-5\REMI\ULJM3242.dat

Number of sensors ..... 24

Number of time samples ..... 3.26787e-312

Acquisition timestep ..... 2ms

Number of sensors used for the analysis..... 24

The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms

The interval considered for the analysis ends at ..... 65534ms

Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)

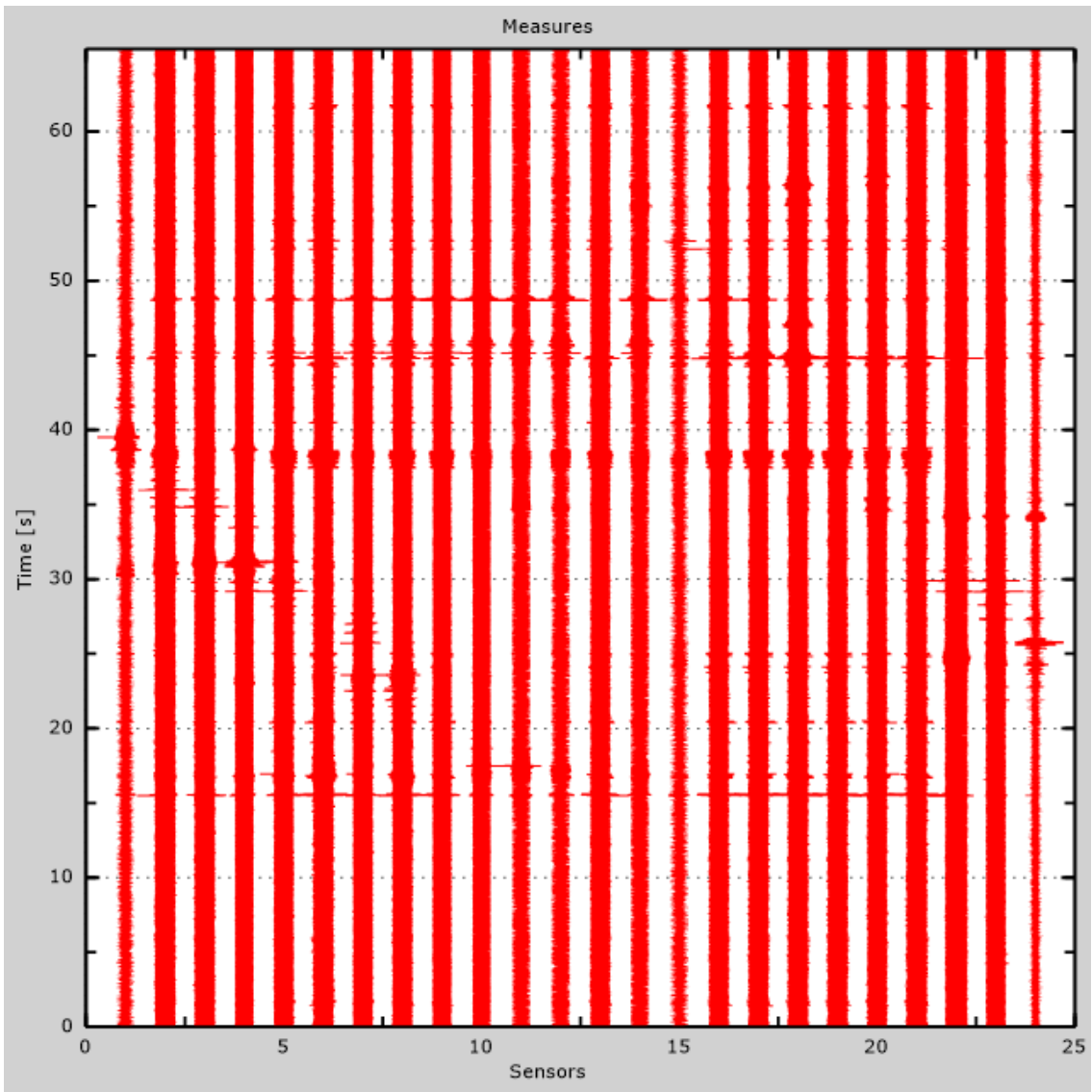


Figure 3: Experimental traces

## 4 - Dispersion curve

Table 1:Dispersion curve

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
8.90696	691.466	575.563	807.37
10.2301	553.274	481.948	624.599
11.6667	457.43	423.997	490.864
15.4472	481.948	446.286	517.611
18.6606	439.599	421.768	457.43
21.7984	410.623	399.478	421.768
24.0667	435.141	428.454	441.828
26.4484	439.599	432.912	446.286
28.5655	435.141	428.454	441.828
30.3045	417.31	410.623	423.997
31.5521	419.539	415.081	423.997
33.4423	432.912	428.454	437.37
35.635	428.454	421.768	435.141
37.3362	423.997	421.768	426.225
38.6216	477.49	470.804	484.177
40.9277	450.743	446.286	455.201
42.3643	455.201	448.515	461.888
43.8765	448.515	439.599	457.43
45.6155	430.683	423.997	437.37

46.674	388.334	386.105	390.563
47.1277	352.671	348.213	357.129
48.629	486.406	479.719	493.093
52.075	488.635	484.177	493.093
55.7083	464.117	457.43	470.804
58.7797	421.768	417.31	426.225
60.9522	417.31	410.623	423.997
62.9748	419.539	412.852	426.225

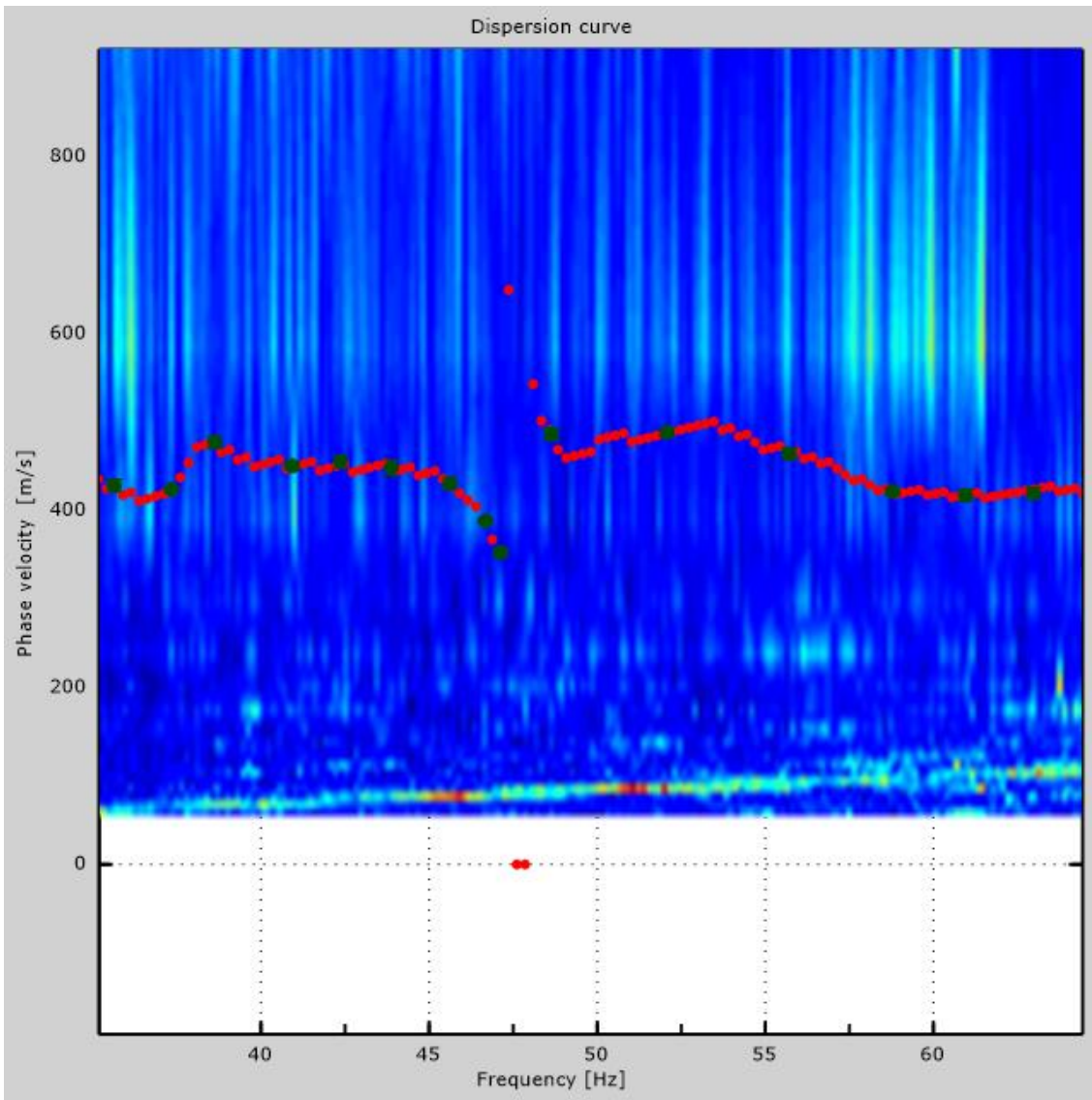


Figure 4: Dispersion curve

## 5 - Field profile

Number of layers (half-space excluded).....	9
Receivers spacing.....	1.5m
Number of receivers.....	12
Number of modes.....	1

### Layer 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1960
Poisson .....	0.2
Vs [m/s].....	466
Vp [m/s] .....	761
Vs min [m/s] .....	233
Vs max [m/s].....	932
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	466

### Layer 2

h [m].....	3
z [m].....	-5
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1960
Poisson .....	0.36
Vs [m/s].....	466
Vp [m/s] .....	996
Vs min [m/s] .....	258
Vs max [m/s].....	699
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	466

### Layer 3

h [m].....	3
z [m].....	-8
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1983
Poisson .....	0.41
Vs [m/s].....	488
Vp [m/s] .....	1249

Vs min [m/s] .....	244
Vs max [m/s].....	732
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	488

### Layer 4

h [m].....	4
z [m] .....	-12
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1983
Poisson .....	0.41
Vs [m/s].....	488
Vp [m/s] .....	1249
Vs min [m/s] .....	244
Vs max [m/s].....	732
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	488

### Layer 5

h [m].....	4
z [m] .....	-16
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2003
Poisson .....	0.25
Vs [m/s].....	508
Vp [m/s] .....	880
Vs min [m/s] .....	268
Vs max [m/s].....	762
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	508

### Layer 6

h [m].....	5
z [m] .....	-21
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2003
Poisson .....	0.25
Vs [m/s].....	508
Vp [m/s] .....	880
Vs min [m/s] .....	254
Vs max [m/s].....	762
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	

Vs fin.[m/s] ..... 508

### Layer 7

h [m] ..... 5

z [m] ..... -26

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2221

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 768

Vp [m/s] ..... 1330

Vs min [m/s] ..... 307

Vs max [m/s] ..... 1152

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 768

### Layer 8

h [m] ..... 6

z [m] ..... -32

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2221

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 768

Vp [m/s] ..... 1330

Vs min [m/s] ..... 384

Vs max [m/s] ..... 1537

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 768

### Layer 9

h [m] ..... 0

z [m] ..... -00

Density [kg/m<sup>3</sup>] ..... 2221

Poisson ..... 0.25

Vs [m/s] ..... 768

Vp [m/s] ..... 1330

Vs min [m/s] ..... 384

Vs max [m/s] ..... 1537

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] ..... 768



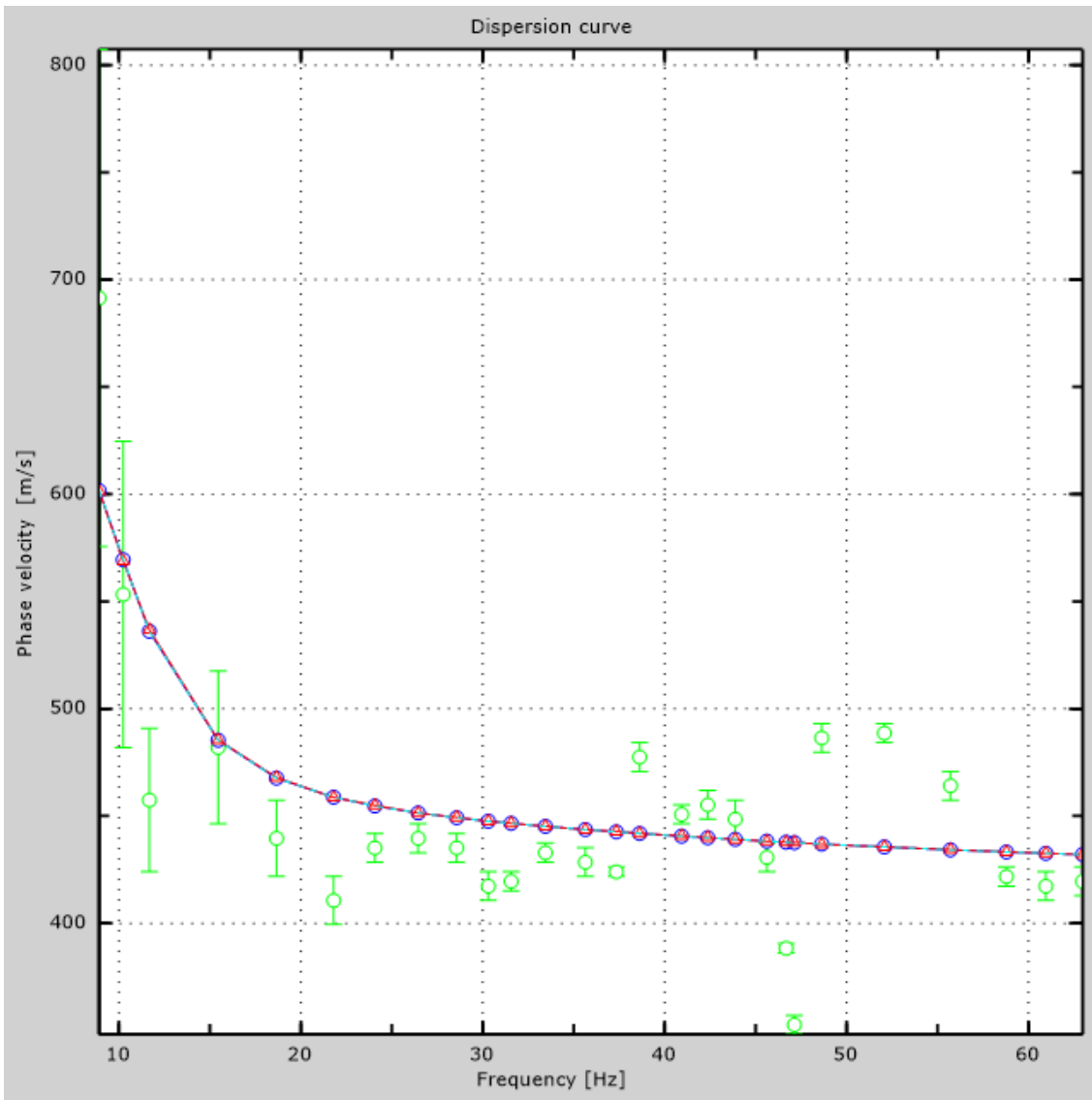


Figure 5: Numerical velocities - experimental points (green), Rayleigh modes (cyan), apparent curve (blue), numerical curve (red)

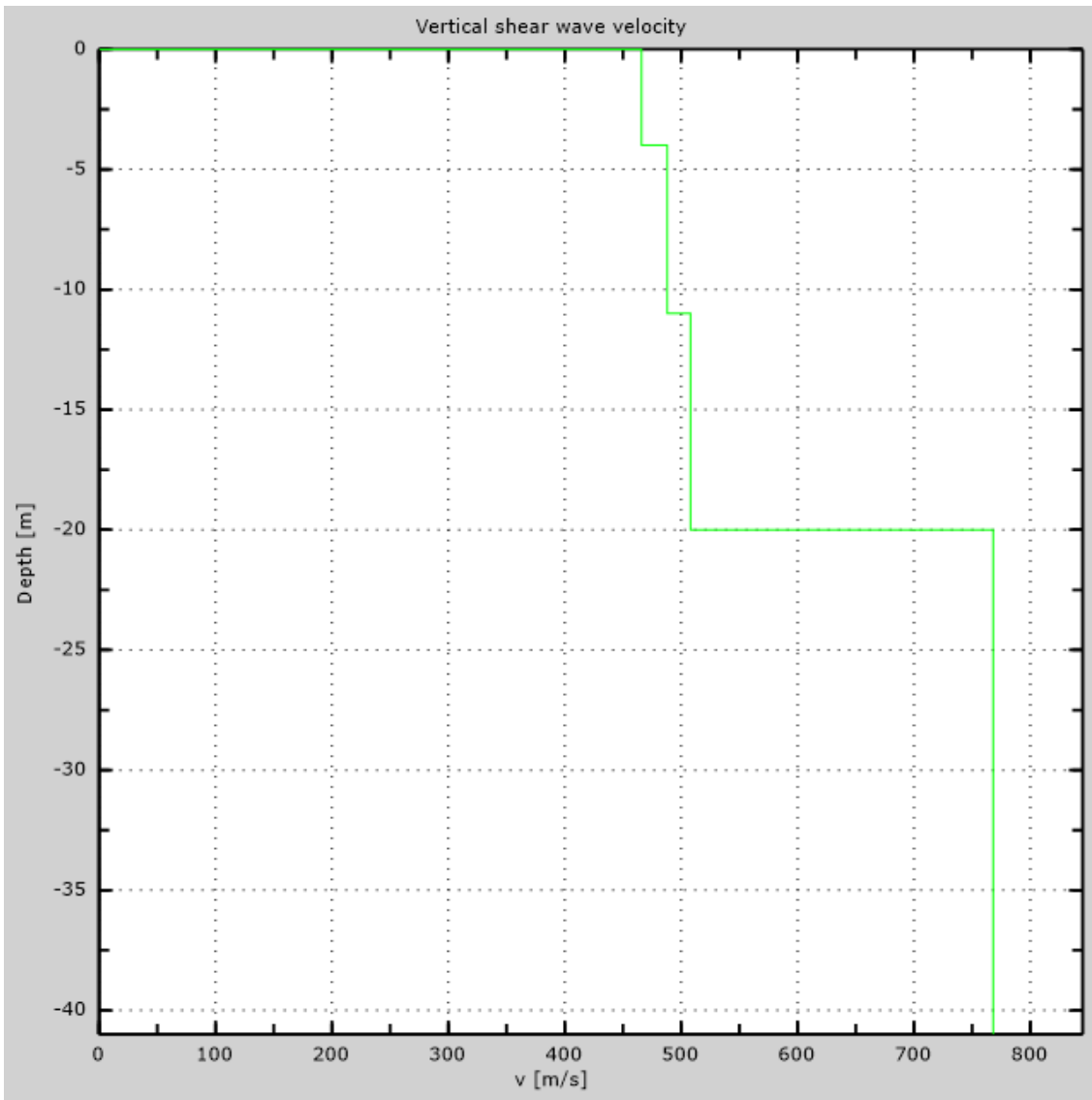


Figure 6: Numerical Vs profile

## 6 - Final results

Reference plane  $z=0$  [m] .....0

Vs30 [m/s] .....550

You are using the definitions included in DM 14 gennaio 2008

The site does belongs to classes A, B, C, D, E or S1 (alluvional soil, gravel, sand, silt, clay, rock).

The site is not susceptible to liquefaction or there is not sensitive clay.

The geotechnic unit 6 is the bed rock

**Soil type** .....**S2**

# Appendix

## Type of ground

Type A: Rock or other rock-like geological formation, including at most 3 m of weaker material at the surface

Type B: Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least 30 m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth,  $V_{s30}$  between 360 m/s and 800 m/s

Type C: Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel or stiff clay with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  between 180 m/s and 360 m/s

Type D: Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  lower than 180 m/s

Type E: A soil profile consisting of a surface alluvium layer with  $v_s$  values of type C or D and thickness lower than 20 m, underlain by stiffer material with  $v_s > 800$  m/s

Type S1: Deposits of soils with  $V_{s30} < 100$  m/s (or  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), which include a layer of fine-grained and low consistency soil with a thickness greater than 8 m, or a layer of peat or highly organic clay with a thickness greater than 3 m.

Type S2: Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S1

# MASW Analysis Report

Author: Jorge Andrés Arízaga Altamirano, María Gabriela Ulloa Palacios  
Site: Mazar, vía de acceso  
Date: 06/04/2018

Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Experimental data

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-5\MASW\ULJM2332\_4.dat  
Number of sensors ..... 18  
Sensors distance: ..... 1.5m  
Number of time samples ..... 8232  
Acquisition timestep ..... 0.25ms  
Number of sensors used for the analysis ..... 18  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 2057.75ms  
Sensors are reverted (the last one in the file is the first one for the analysis)

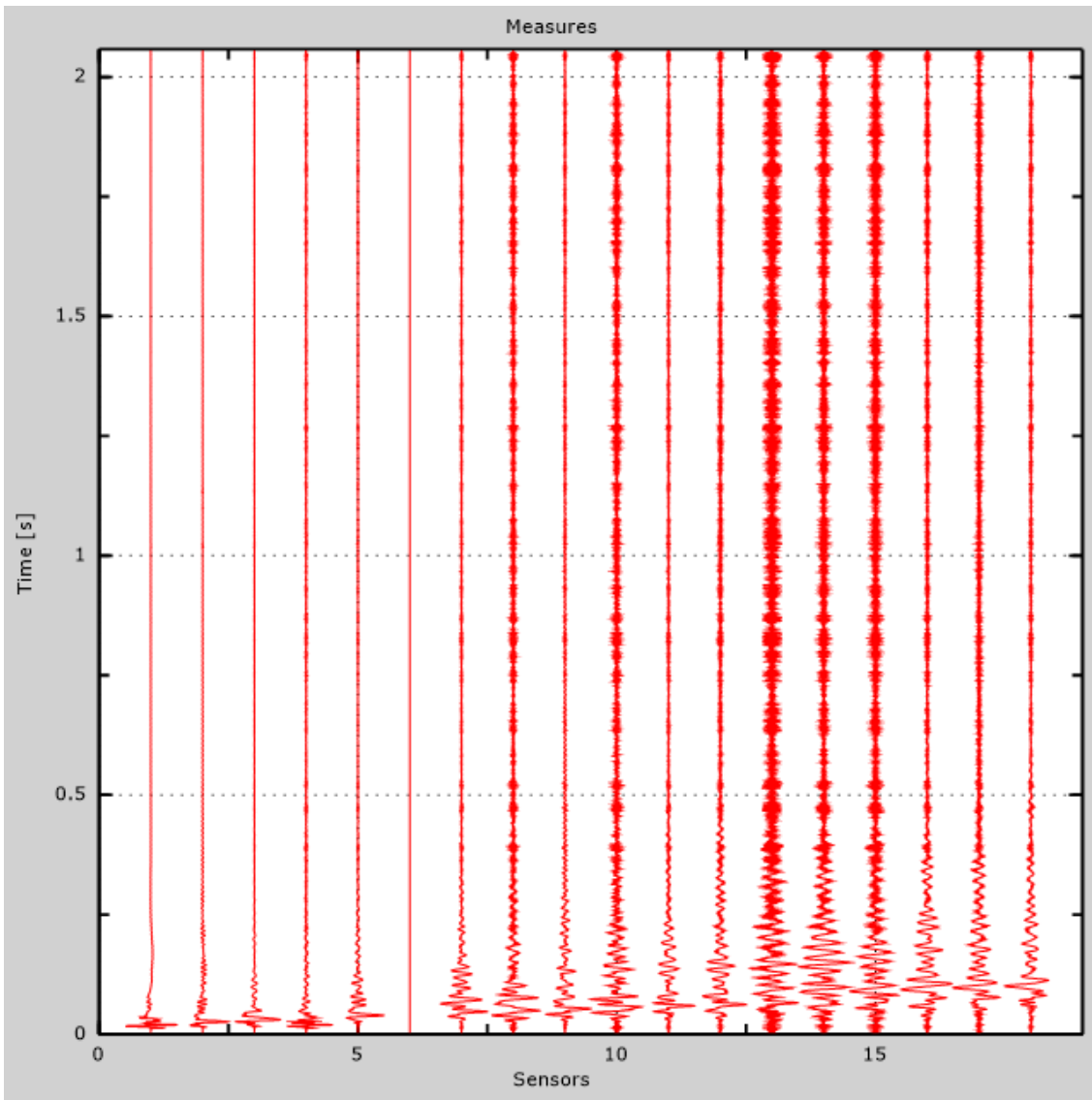


Figure 1: Experimental traces

## 2 - Analysis results

Final frequency ..... 70Hz  
Initial frequency ..... 2Hz

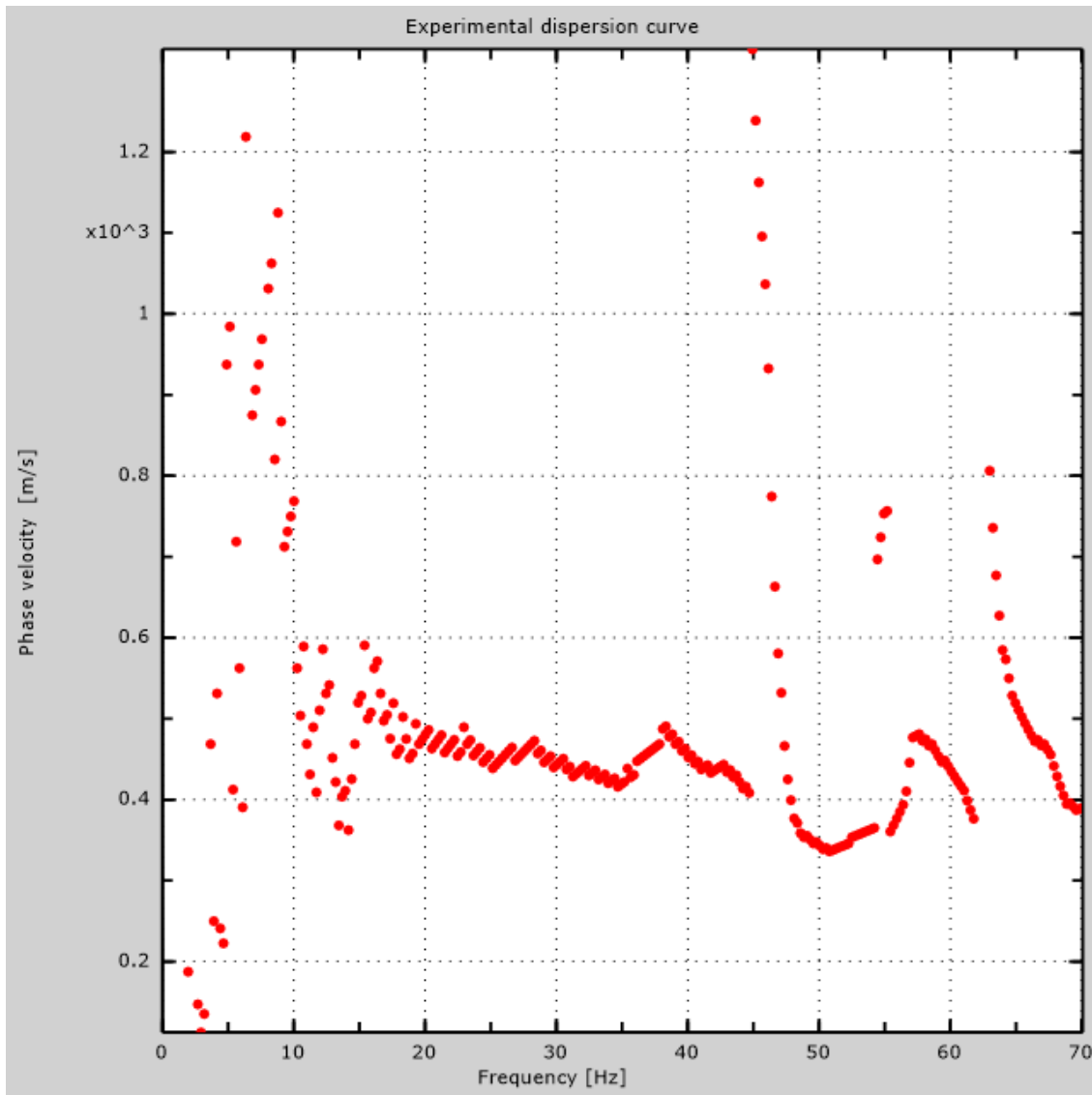


Figure 2: Experimental dispersion curve



### 3 - Analysis results (P)

Traces file name.....  
Number of sensors .....24  
Number of time samples .....3.26787e-312  
Acquisition timestep .....2ms  
Number of sensors used for the analysis.....24  
The interval considered for the analysis starts at .....0ms  
The interval considered for the analysis ends at .....65534ms  
Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)

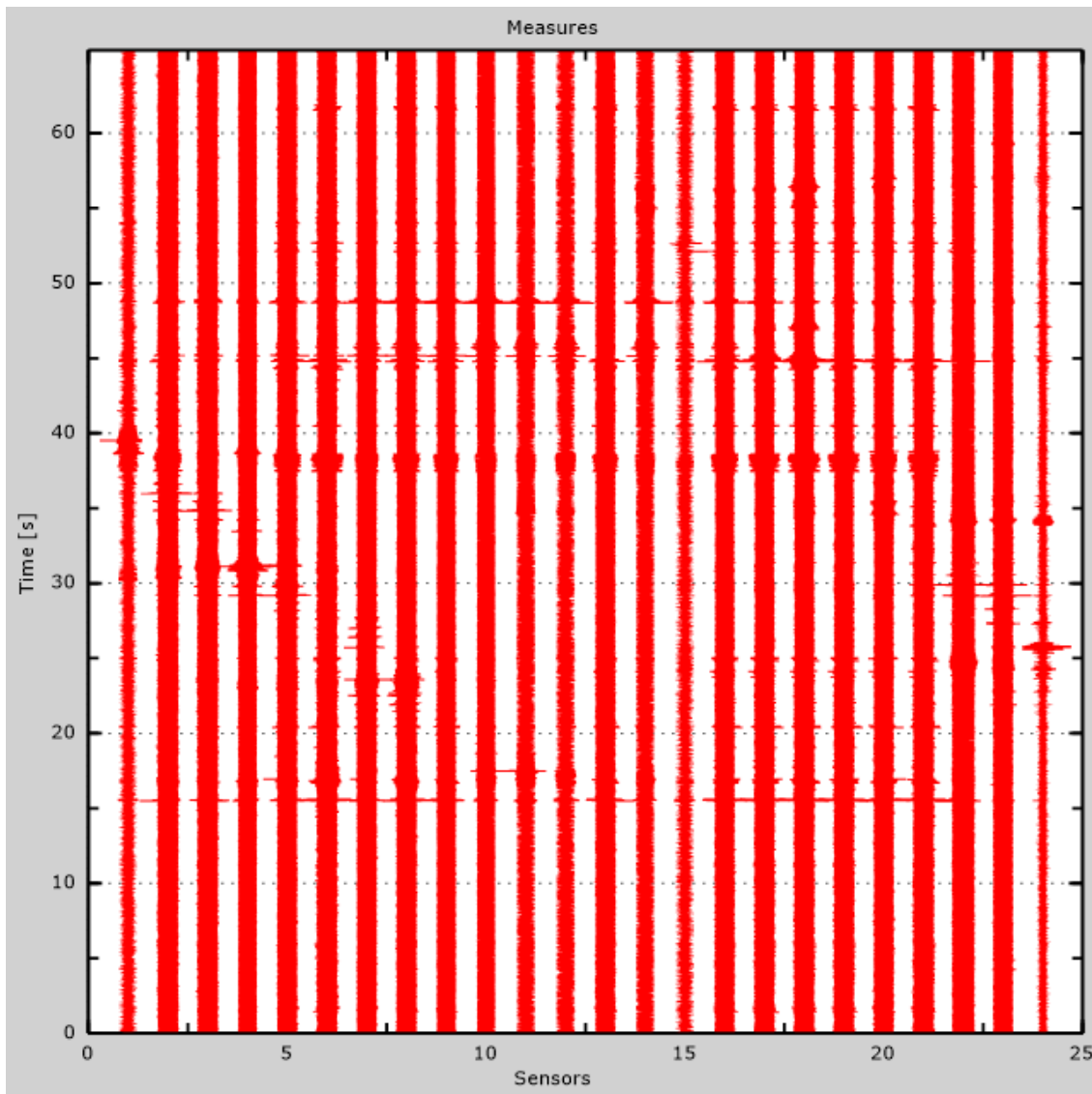


Figure 3: Experimental traces

## 4 - Dispersion curve

Table 1:Dispersion curve

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
8.0912	1034.16	923.5	1144.82
9.85235	785.175	706.791	863.559
12.1719	584.604	501.61	667.599
15.0499	526.969	471.639	582.299
17.3265	496.999	478.555	515.442
20.1185	478.555	471.639	485.472
23.7697	460.112	450.89	469.334
27.1202	453.196	446.28	460.112
30.2559	446.28	437.058	455.501
32.7472	432.447	423.226	441.669
35.0238	418.615	414.004	423.226
36.3293	448.86	447.196	450.525
37.7414	473.827	467.169	480.485
39.068	472.162	467.169	477.156
41.0791	437.209	435.545	438.873
43.0475	432.216	422.229	442.202
44.2885	415.571	412.242	418.9
46.4708	390.605	292.402	488.807
48.3964	368.967	367.302	370.631

49.7657	347.329	340.671	353.987
51.4345	339.007	334.013	344
52.975	360.645	358.98	362.309
54.0876	367.302	363.973	370.631

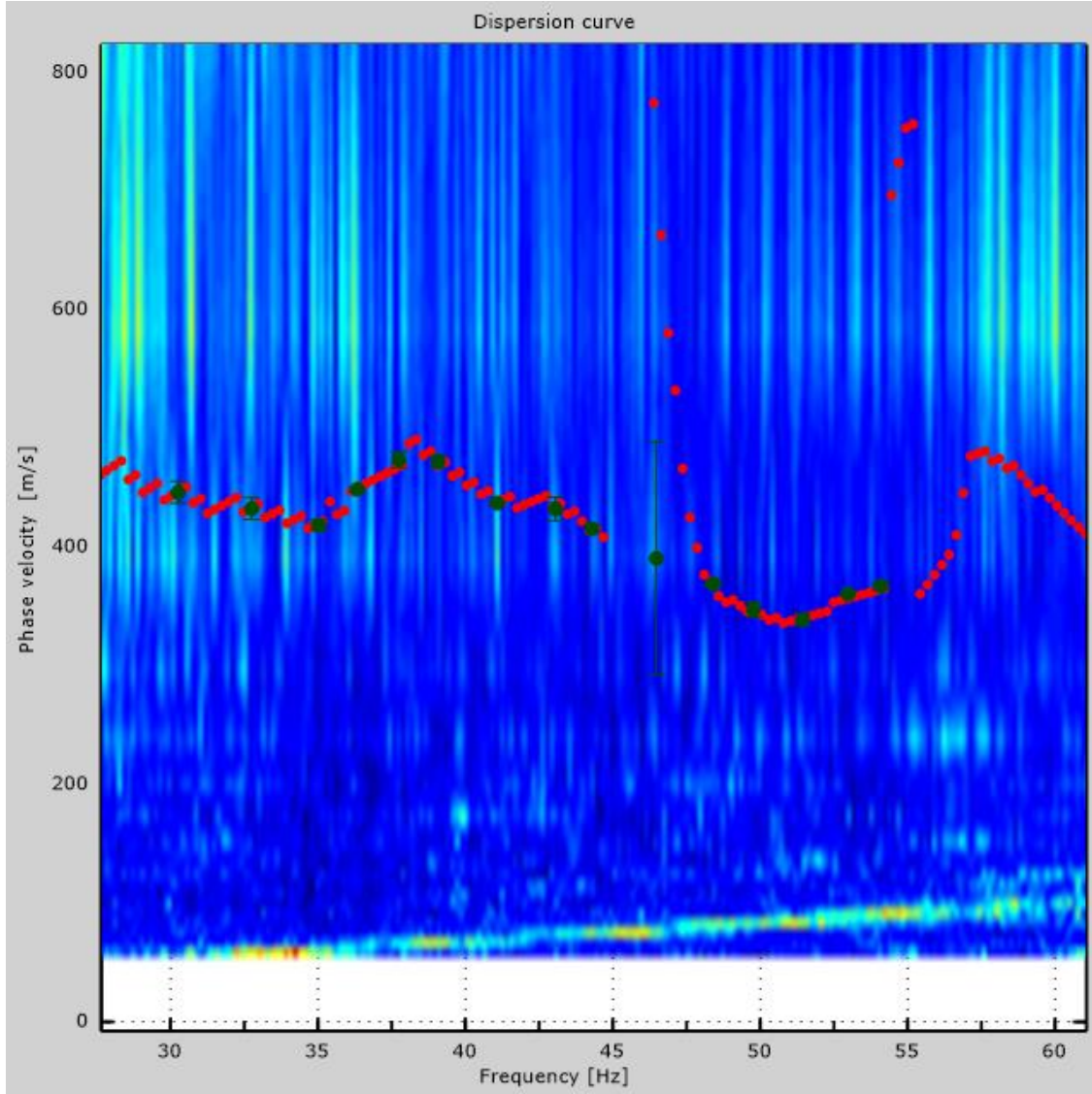


Figure 4: Dispersion curve

## 5 - Field profile

Number of layers (half-space excluded).....	9
Receivers spacing.....	1.5m
Number of receivers.....	18
Number of modes.....	1

### Layer 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1859
Poisson .....	0.25
Vs [m/s].....	377
Vp [m/s] .....	653
Vs min [m/s] .....	188
Vs max [m/s].....	753
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	377

### Layer 2

h [m].....	4
z [m].....	-6
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1925
Poisson .....	0.42
Vs [m/s].....	434
Vp [m/s] .....	1169
Vs min [m/s] .....	217
Vs max [m/s].....	651
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	434

### Layer 3

h [m].....	3
z [m].....	-9
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1999
Poisson .....	0.44
Vs [m/s].....	504
Vp [m/s] .....	1540

Vs min [m/s] .....	252
Vs max [m/s].....	756
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	504

### Layer 4

h [m].....	3
z [m] .....	-12
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2070
Poisson .....	0.48
Vs [m/s].....	580
Vp [m/s] .....	2957
Vs min [m/s] .....	266
Vs max [m/s].....	870
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	580

### Layer 5

h [m].....	5
z [m] .....	-17
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2070
Poisson .....	0.48
Vs [m/s].....	580
Vp [m/s] .....	2957
Vs min [m/s] .....	293
Vs max [m/s].....	870
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	580

### Layer 6

h [m].....	4
z [m] .....	-21
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2130
Poisson .....	0.25
Vs [m/s].....	650
Vp [m/s] .....	1126
Vs min [m/s] .....	325
Vs max [m/s].....	1299
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	

Vs fin.[m/s] .....650

### Layer 7

h [m].....5

z [m] .....-26

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2130

Poisson .....0.25

Vs [m/s].....650

Vp [m/s] .....1126

Vs min [m/s] .....325

Vs max [m/s].....975

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....650

### Layer 8

h [m].....6

z [m] .....-32

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2456

Poisson .....0.25

Vs [m/s].....1149

Vp [m/s] .....1990

Vs min [m/s] .....436

Vs max [m/s].....1724

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....1149

### Layer 9

h [m].....0

z [m] .....-00

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2456

Poisson .....0.25

Vs [m/s].....1149

Vp [m/s] .....1990

Vs min [m/s] .....575

Vs max [m/s].....2298

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....1149

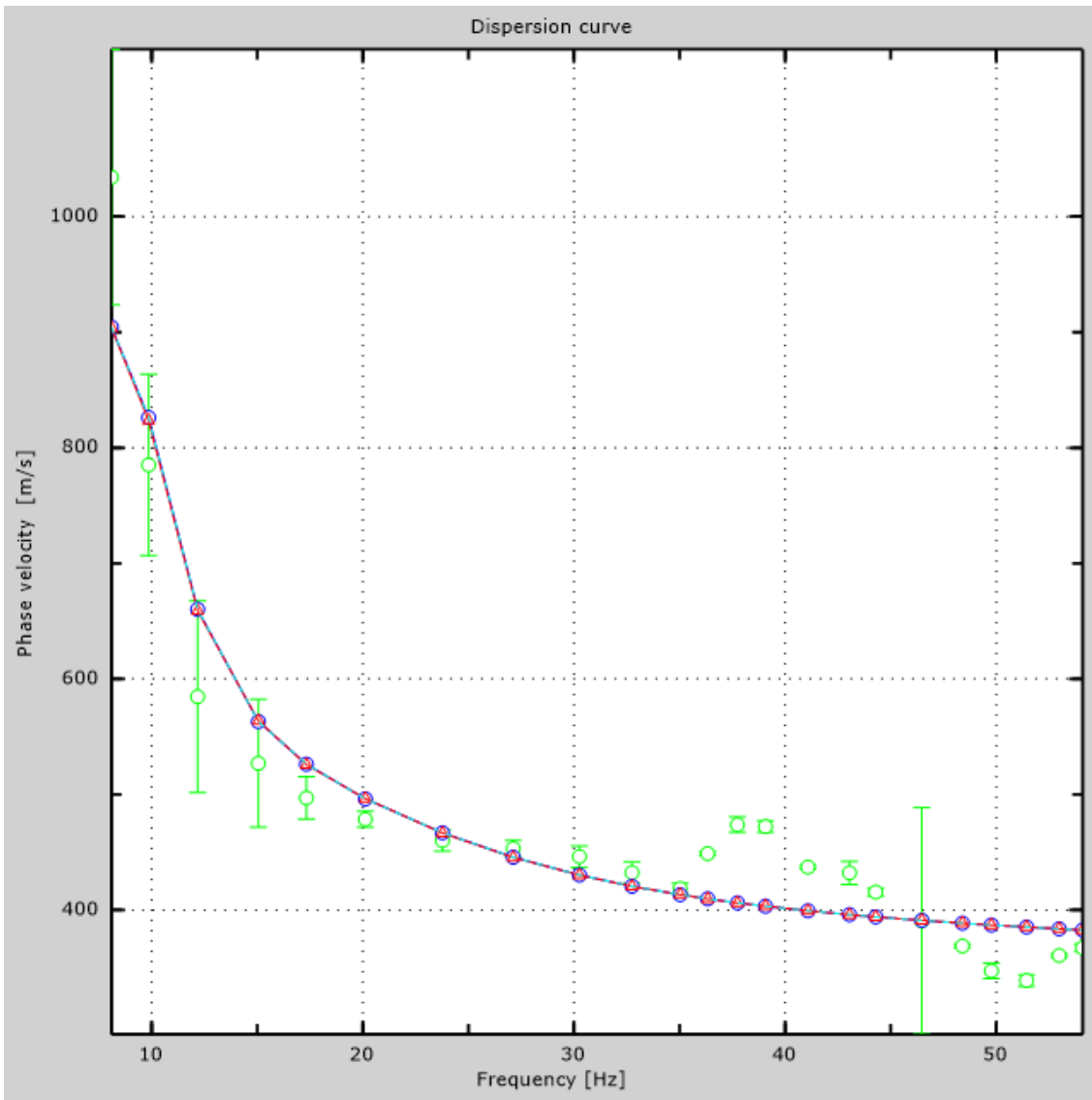


Figure 5: Numerical velocities - experimental points (green), Rayleigh modes (cyan), apparent curve (blue), numerical curve (red)



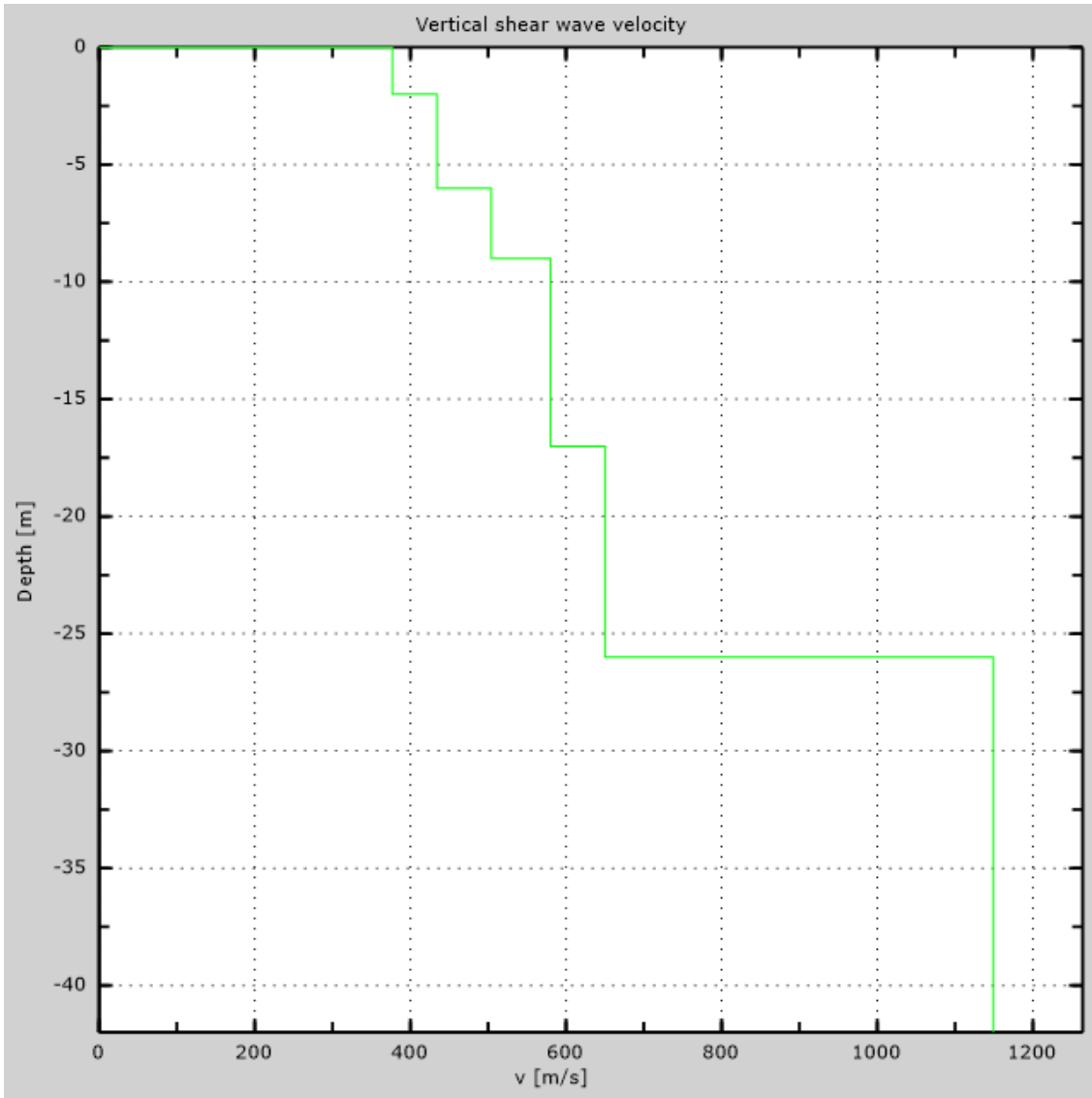


Figure 6: Numerical Vs profile

## 6 - Final results

Reference plane  $z=0$  [m] .....0

$V_{s30}$  [m/s] .....581

You are using the definitions included in DM 14 gennaio 2008

The site does belongs to classes A, B, C, D, E or S1 (alluvional soil, gravel, sand, silt, clay, rock).

The site is not susceptible to liquefaction or there is not sensitive clay.

The geotechnic unit 7 is the bed rock

**Soil type** .....**S2**

# Appendix

## Type of ground

Type A: Rock or other rock-like geological formation, including at most 3 m of weaker material at the surface

Type B: Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least 30 m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth,  $V_{s30}$  between 360 m/s and 800 m/s

Type C: Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel or stiff clay with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  between 180 m/s and 360 m/s

Type D: Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  lower than 180 m/s

Type E: A soil profile consisting of a surface alluvium layer with  $v_s$  values of type C or D and thickness lower than 20 m, underlain by stiffer material with  $v_s > 800$  m/s

Type S1: Deposits of soils with  $V_{s30} < 100$  m/s (or  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), which include a layer of fine-grained and low consistency soil with a thickness greater than 8 m, or a layer of peat or highly organic clay with a thickness greater than 3 m.

Type S2: Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S1

# MASW Analysis Report

Author: Jorge Andrés Arízaga Altamirano, María Gabriela Ulloa Palacios  
Site: Mazar, vía de acceso  
Date: 07//04/2018

Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Experimental data

Traces file name  
G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-6\MASW\ULJO0951.dat  
Number of sensors ..... 24  
Sensors distance: ..... 0m  
Number of time samples ..... 8232  
Acquisition timestep ..... 0.25ms  
Number of sensors used for the analysis ..... 24  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 2057.75ms  
Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)

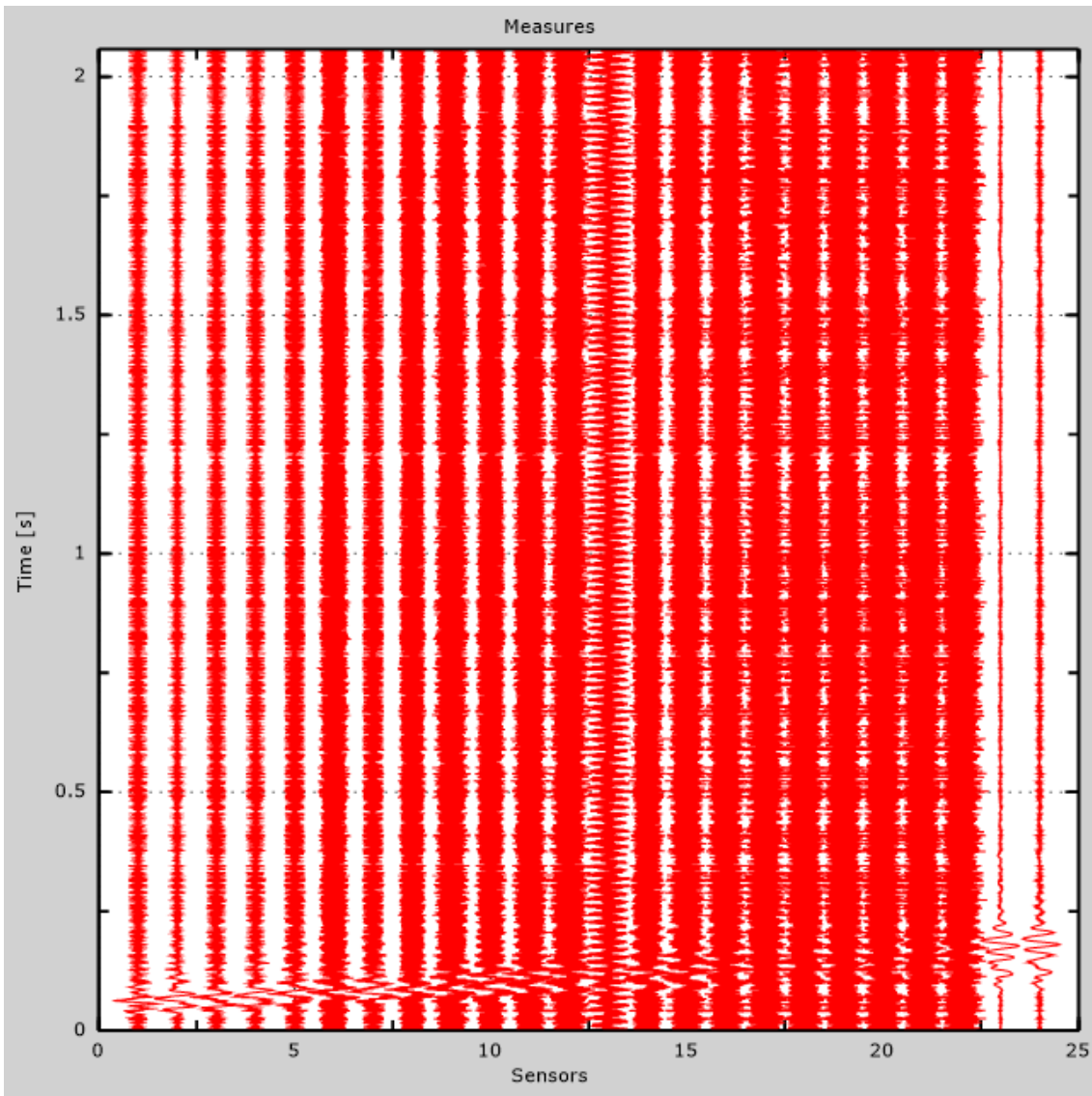


Figure 1: Experimental traces

## 2 - Analysis results

Final frequency ..... 70Hz  
Initial frequency ..... 2Hz

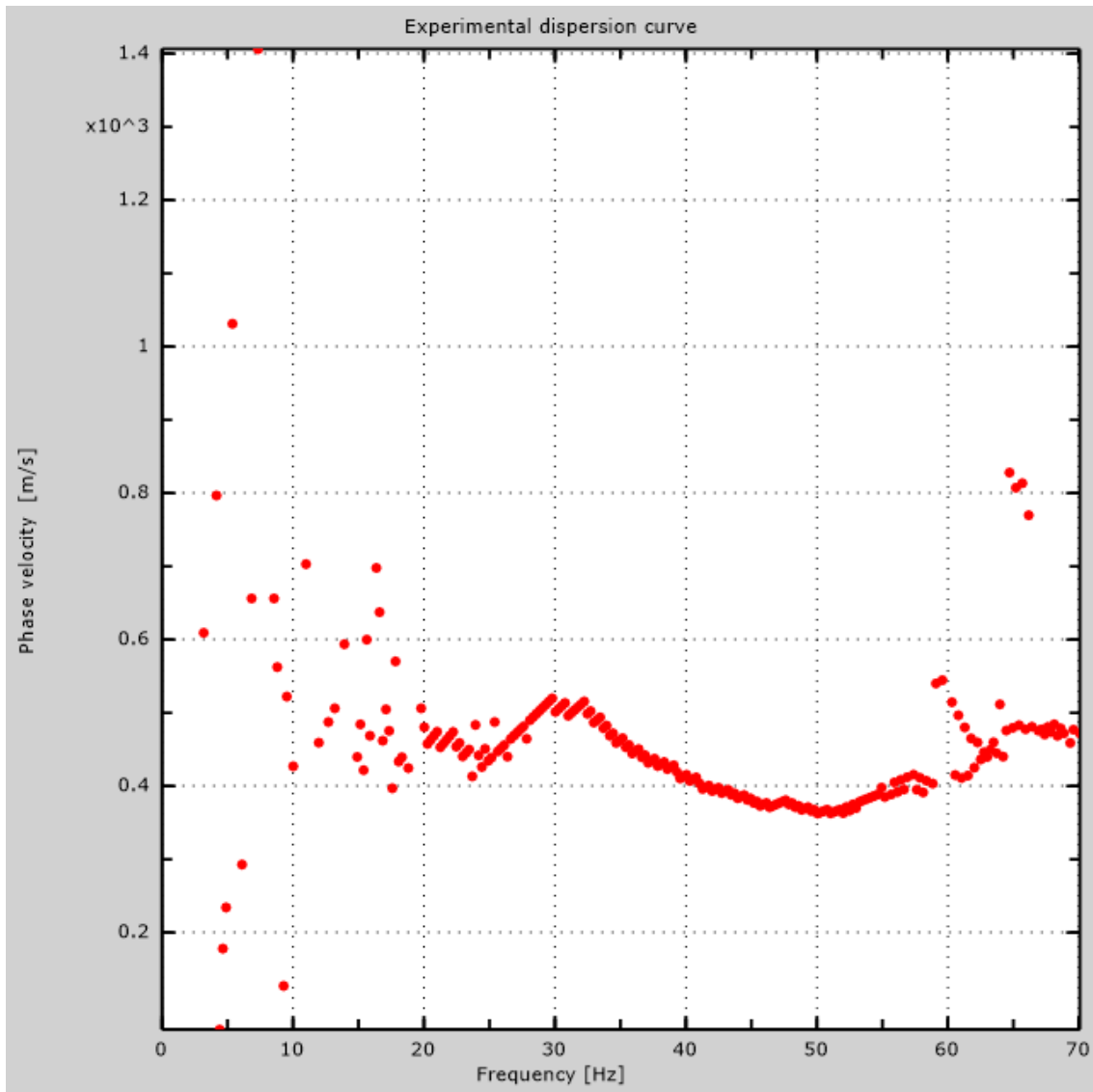


Figure 2: Experimental dispersion curve

### 3 - Analysis results (P)

Traces file name

G:\2017\TESIS\_MAZAR\_ARIZAGA\_ULLOA\MASW\LM-6\REMI\ULJO2043.dat

Number of sensors ..... 24

Number of time samples ..... 3.26787e-312

Acquisition timestep ..... 2ms

Number of sensors used for the analysis..... 24

The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms

The interval considered for the analysis ends at ..... 65534ms

Sensors are not reverted (the last one in the file is the last one for the analysis)



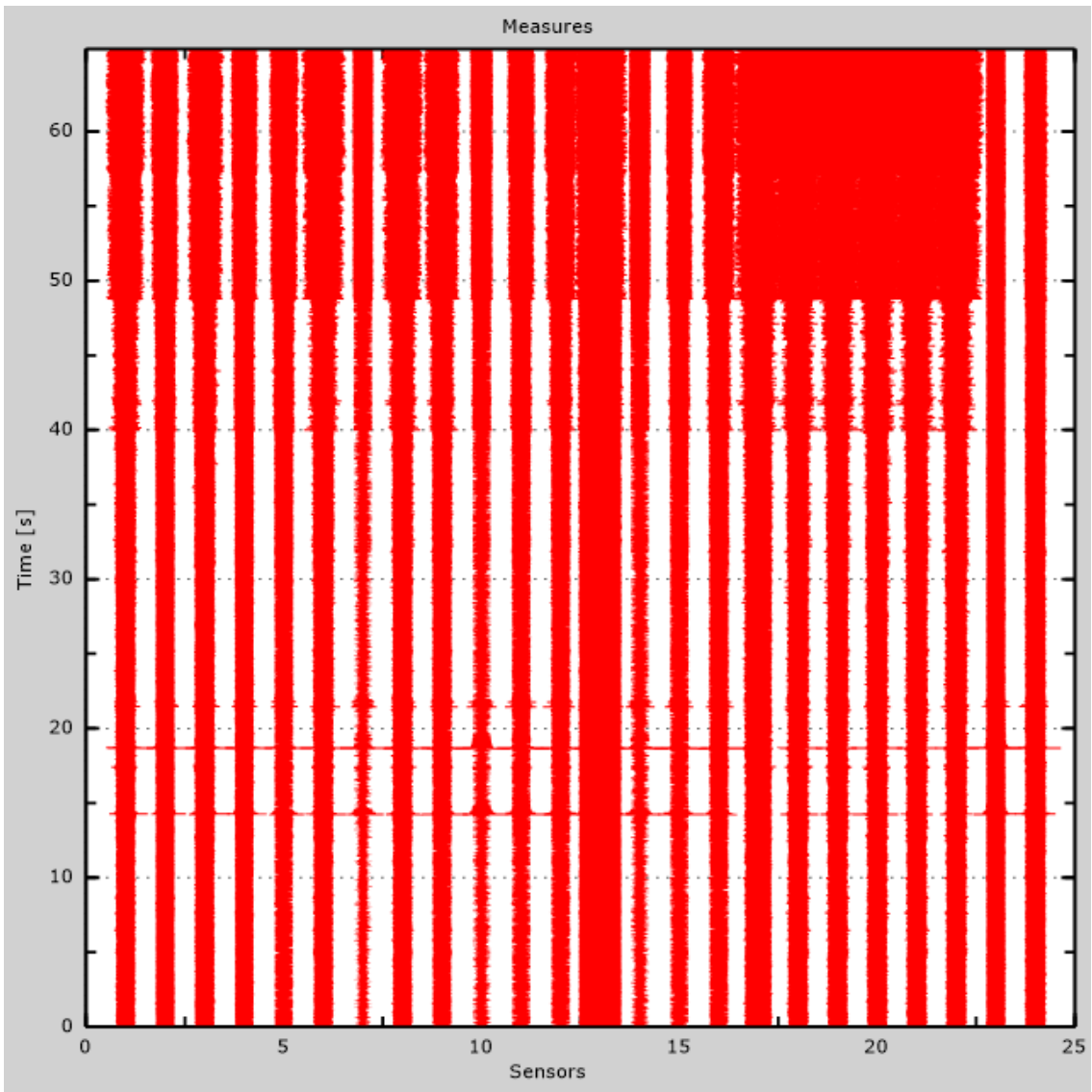


Figure 3: Experimental traces

## 4 - Dispersion curve

Table 1:Dispersion curve

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
11.0707	553.294	313.844	792.743
13.2369	504.92	350.125	659.716
15.1235	483.152	376.73	589.574
17.08	507.339	393.661	621.017
19.8051	502.502	429.941	575.062
22.2129	480.215	425.27	535.161
25.6703	451.162	432.364	469.96
27.6233	484.442	475.989	492.895
29.0769	509.003	501.773	516.233
31.7187	509.801	505.575	514.028
34.4125	475.744	468.514	482.974
36.6422	443.432	441.197	445.668
38.5712	424.685	417.966	431.404
41.7156	403.186	397.811	408.56
43.9493	387.546	383.075	392.017
46.1547	378.999	372.28	385.717
48.363	371.898	367.427	376.369
49.817	369.593	362.874	376.311
52.4824	371.898	362.956	380.84

55.2778	392.017	385.311	398.723
58.4359	405.657	381.242	430.073
61.0156	418.843	407.665	430.02
65.3312	488.141	479.2	497.083
68.1755	488.141	476.964	499.319

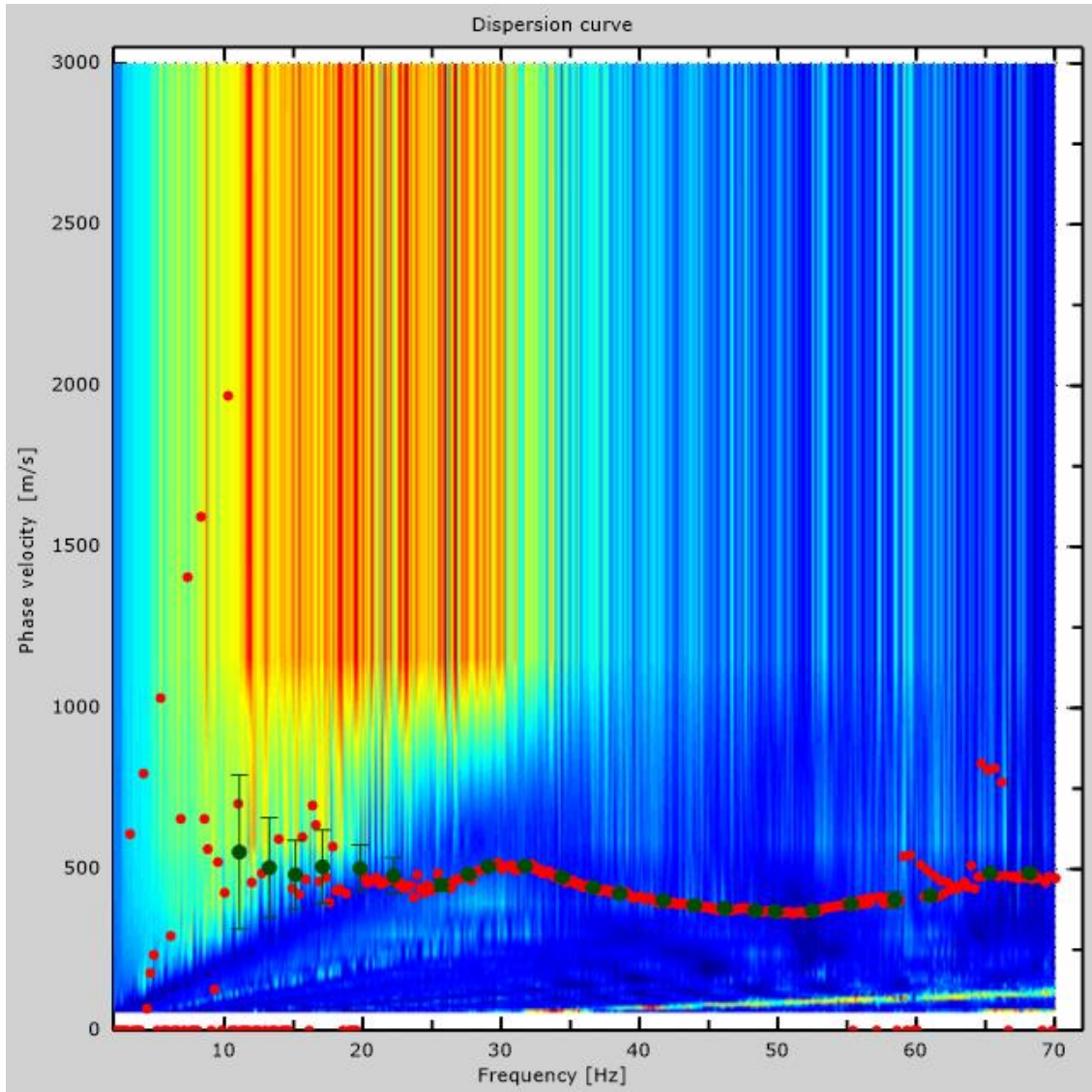


Figure 4: Dispersion curve

## 5 - Field profile

Number of layers (half-space excluded).....	9
Receivers spacing.....	1.5m
Number of receivers.....	24
Number of modes.....	1

### Layer 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1899
Poisson .....	0.2
Vs [m/s].....	411
Vp [m/s] .....	671
Vs min [m/s] .....	233
Vs max [m/s].....	617
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	411

### Layer 2

h [m].....	3
z [m].....	-5
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1922
Poisson .....	0.38
Vs [m/s].....	431
Vp [m/s] .....	980
Vs min [m/s] .....	215
Vs max [m/s].....	647
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	431

### Layer 3

h [m].....	3
z [m].....	-8
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2053
Poisson .....	0.38
Vs [m/s].....	561
Vp [m/s] .....	1275

Vs min [m/s] .....	283
Vs max [m/s].....	842
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	561

### Layer 4

h [m].....	4
z [m] .....	-12
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2053
Poisson .....	0.38
Vs [m/s].....	561
Vp [m/s] .....	1275
Vs min [m/s] .....	279
Vs max [m/s].....	842
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	561

### Layer 5

h [m].....	4
z [m] .....	-16
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2027
Poisson .....	0.38
Vs [m/s].....	533
Vp [m/s] .....	1212
Vs min [m/s] .....	34
Vs max [m/s].....	800
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	533

### Layer 6

h [m].....	5
z [m] .....	-21
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2065
Poisson .....	0.38
Vs [m/s].....	574
Vp [m/s] .....	1305
Vs min [m/s] .....	307
Vs max [m/s].....	861
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	

Vs fin.[m/s] .....574

### Layer 7

h [m].....5

z [m].....-26

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2078

Poisson .....0.38

Vs [m/s].....589

Vp [m/s] .....1339

Vs min [m/s] .....307

Vs max [m/s].....884

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....589

### Layer 8

h [m].....6

z [m].....-32

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2078

Poisson .....0.38

Vs [m/s].....589

Vp [m/s] .....1339

Vs min [m/s] .....307

Vs max [m/s].....884

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....589

### Layer 9

h [m].....0

z [m].....-00

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2078

Poisson .....0.38

Vs [m/s].....589

Vp [m/s] .....1339

Vs min [m/s] .....307

Vs max [m/s].....884

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....589

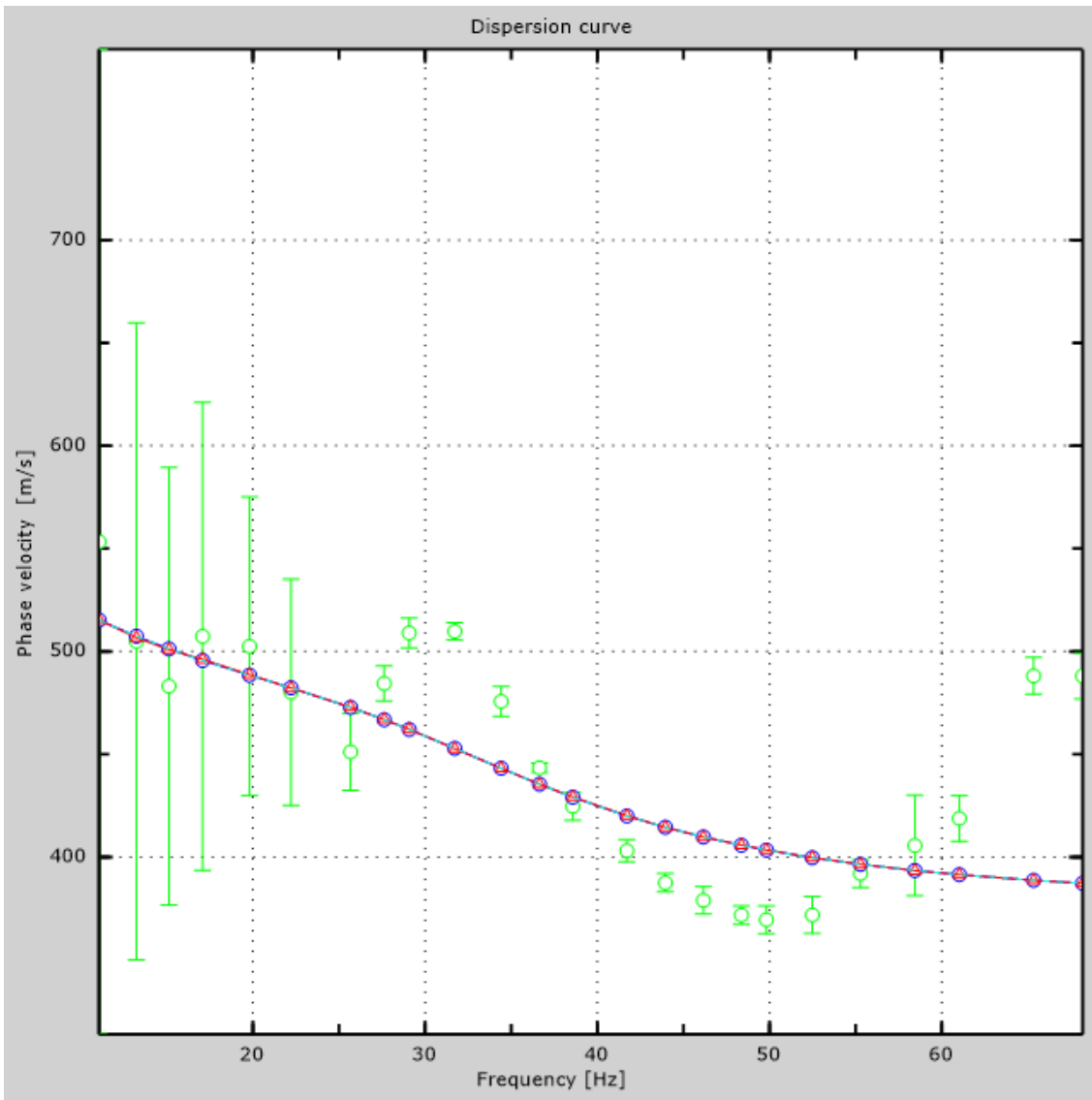


Figure 5: Numerical velocities - experimental points (green), Rayleigh modes (cyan), apparent curve (blue), numerical curve (red)

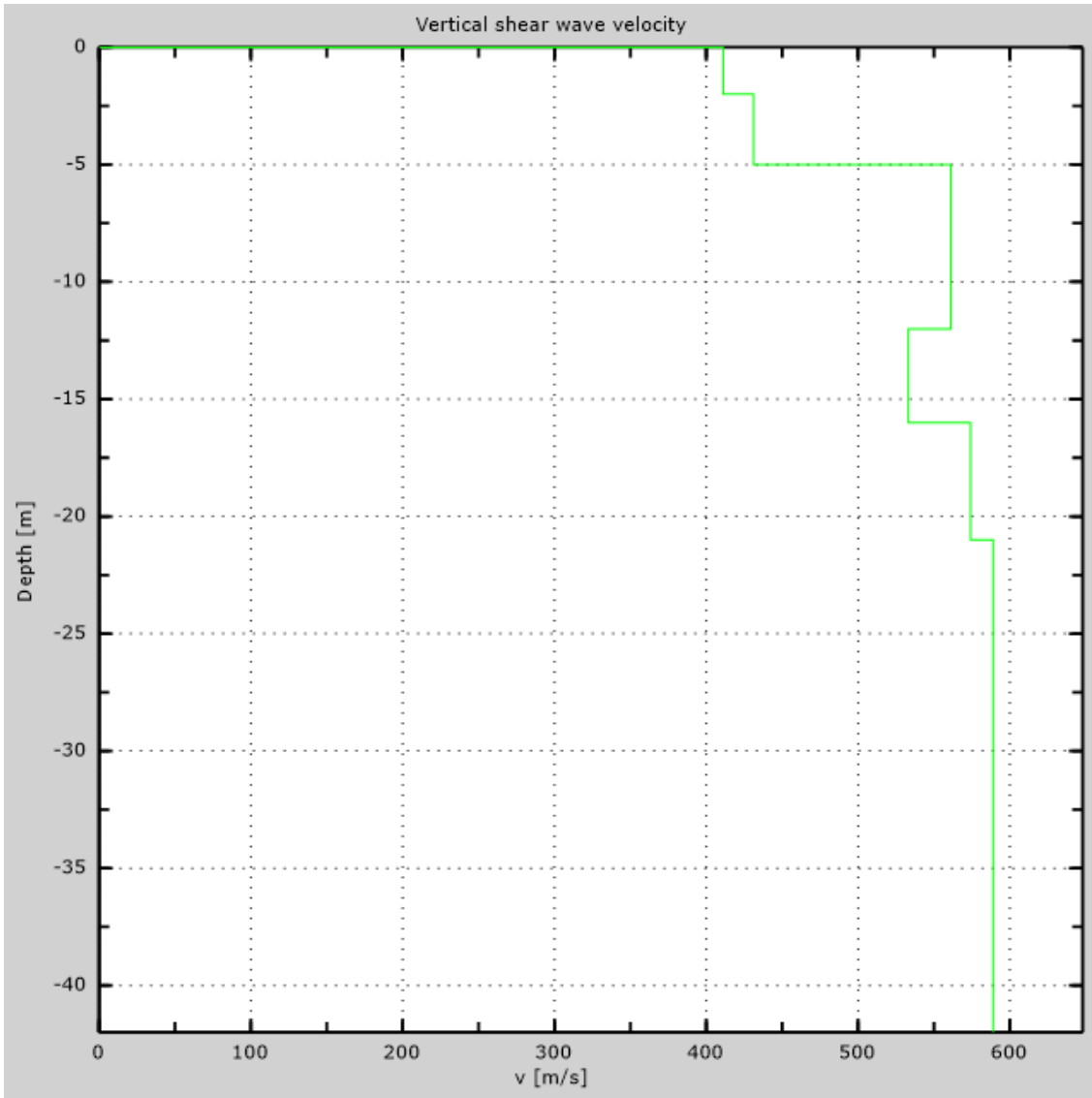


Figure 6: Numerical Vs profile



## 6 - Final results

Reference plane  $z=0$  [m] ..... 0

$V_{s30}$  [m/s] ..... 537

You are using the definitions included in DM 14 gennaio 2008

The site does belongs to classes A, B, C, D, E or S1 (alluvional soil, gravel, sand, silt, clay, rock).

The site is not susceptible to liquefaction or there is not sensitive clay.

The geotechnic unit 9 is the bed rock

**Soil type** ..... **B**

# Appendix

## Type of ground

Type A: Rock or other rock-like geological formation, including at most 3 m of weaker material at the surface

Type B: Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least 30 m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth,  $V_{s30}$  between 360 m/s and 800 m/s

Type C: Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel or stiff clay with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  between 180 m/s and 360 m/s

Type D: Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  lower than 180 m/s

Type E: A soil profile consisting of a surface alluvium layer with  $v_s$  values of type C or D and thickness lower than 20 m, underlain by stiffer material with  $v_s > 800$  m/s

Type S1: Deposits of soils with  $V_{s30} < 100$  m/s (or  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), which include a layer of fine-grained and low consistency soil with a thickness greater than 8 m, or a layer of peat or highly organic clay with a thickness greater than 3 m.

Type S2: Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S1

# MASW Analysis Report

Author: Jorge Andrés Arízaga Altamirano, María Gabriela Ulloa Palacios  
Site: Mazar, vía de acceso  
Date: 07/04/2018

Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Experimental data

Traces file name .....  
Number of sensors ..... 12  
Sensors distance: ..... 1.5m  
Number of time samples ..... 8232  
Acquisition timestep ..... 0.25ms  
Number of sensors used for the analysis ..... 12  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 2057.75ms  
Sensors are reverted (the last one in the file is the first one for the analysis)

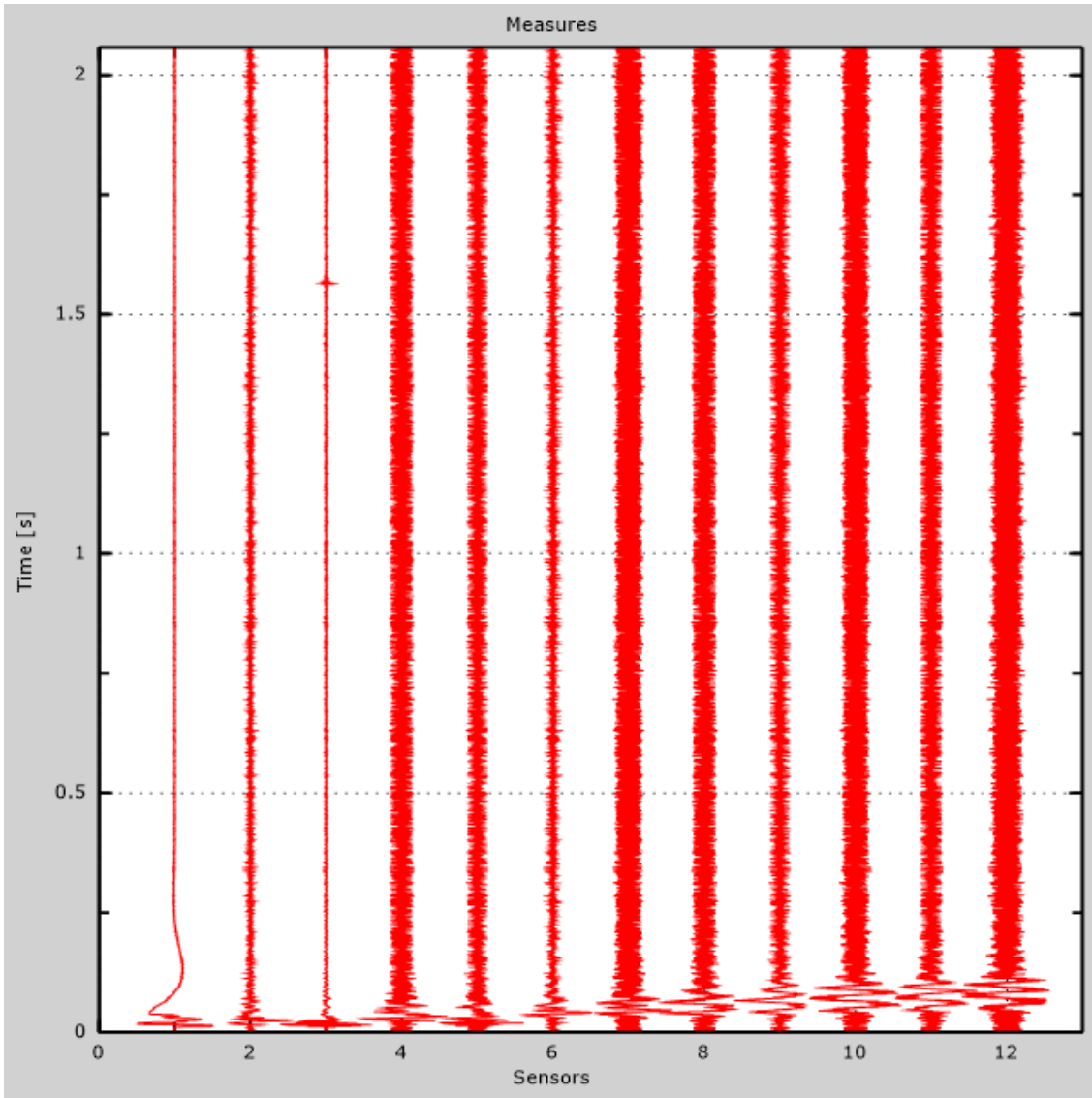


Figure 1: Experimental traces

## 2 - Analysis results

Final frequency ..... 70Hz  
Initial frequency ..... 2Hz

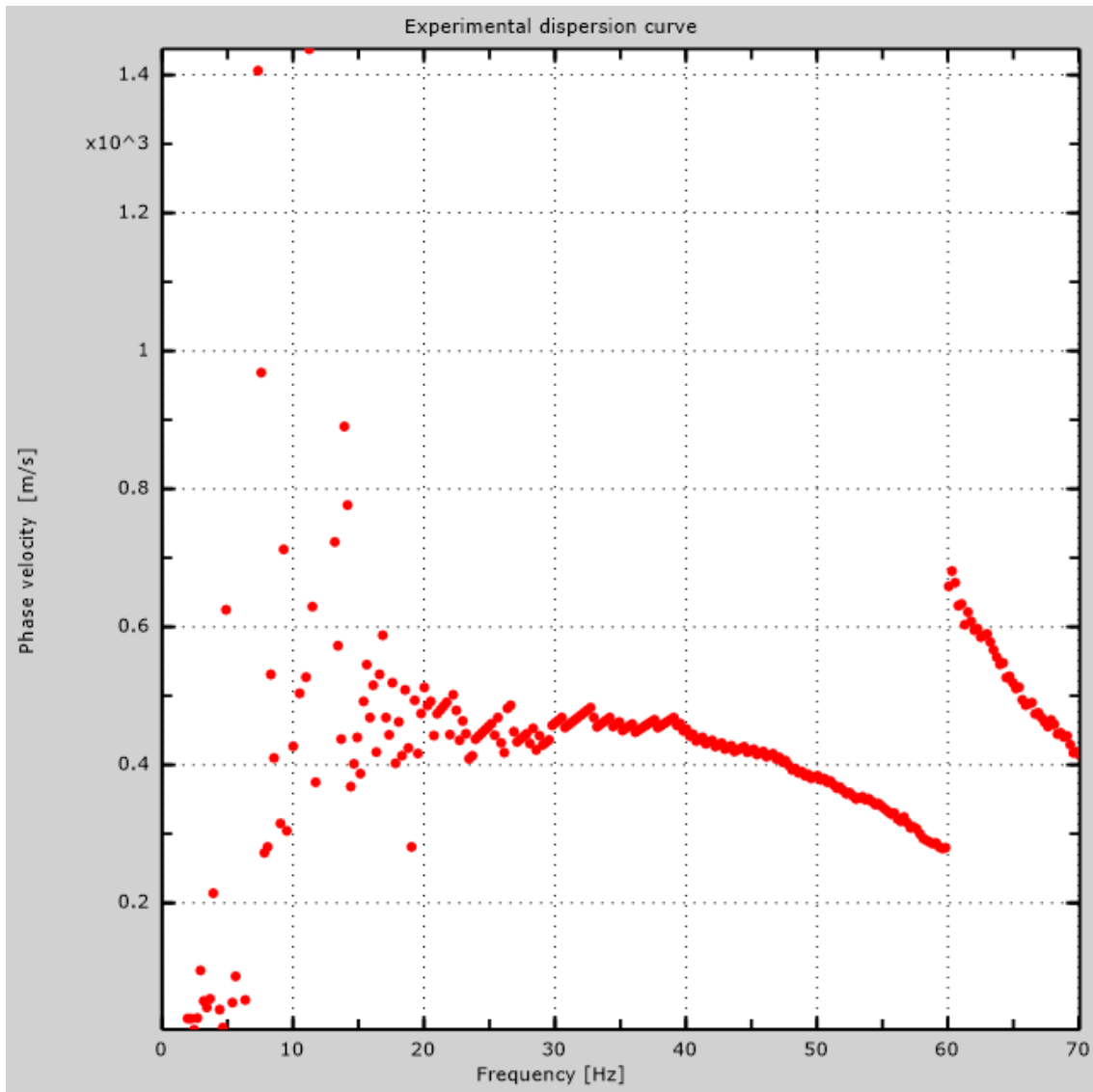


Figure 2: Experimental dispersion curve

### 3 - Analysis results (P)

Traces file name.....  
Number of sensors .....24  
Number of time samples .....3.26787e-312  
Acquisition timestep .....2ms  
Number of sensors used for the analysis.....24  
The interval considered for the analysis starts at .....0ms  
The interval considered for the analysis ends at .....65534ms  
Sensors are reverted (the last one in the file is the first one for the analysis)

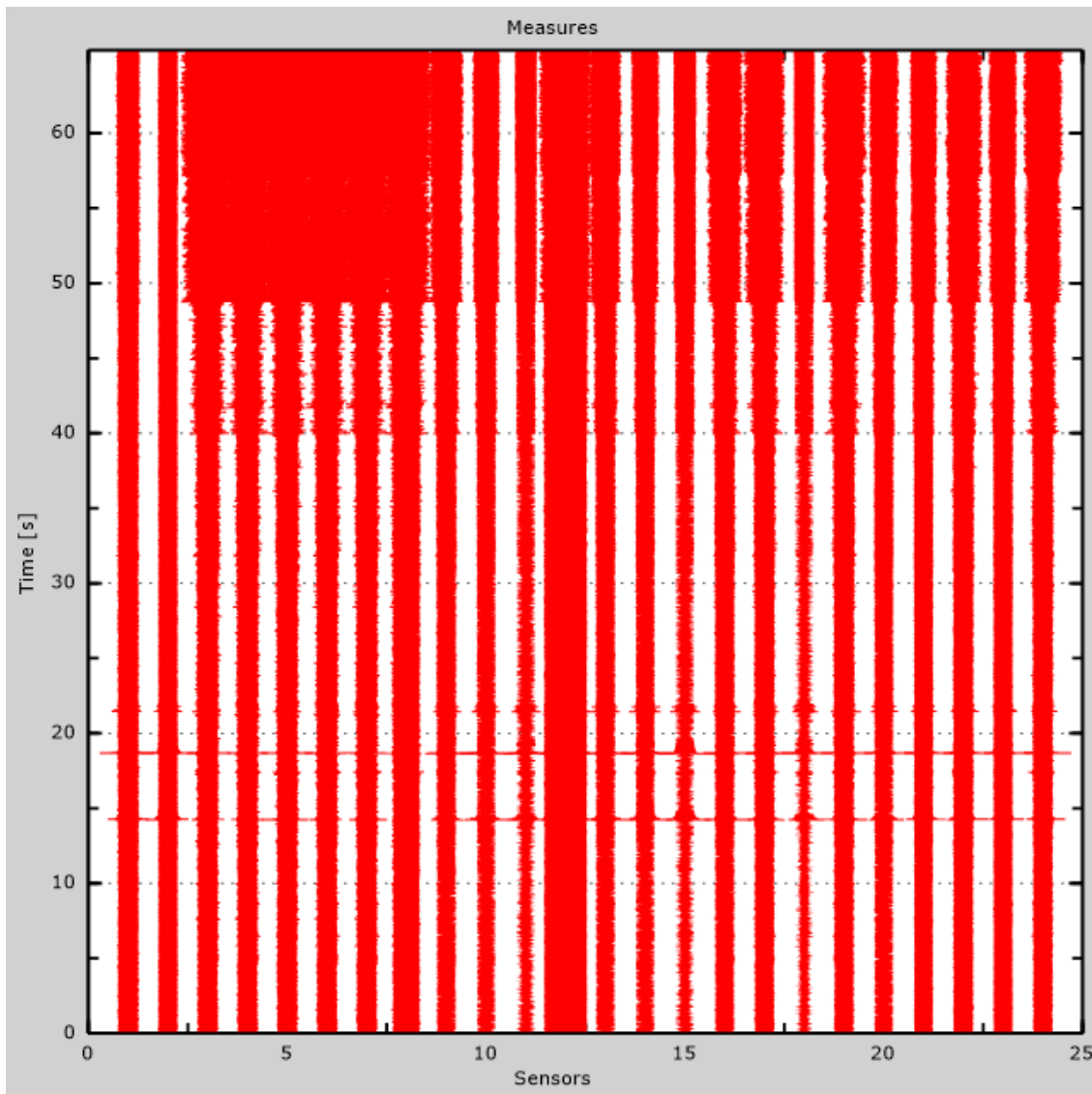


Figure 3: Experimental traces



## 4 - Dispersion curve

Table 1:Dispersion curve

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
11.6942	550.333	363.337	737.329
13.218	546.975	424.966	668.984
15.5863	547.792	480.044	615.539
18.5152	508.331	398.684	617.978
20.9785	477.161	452.657	501.666
23.023	463.182	452.432	473.932
25.2036	461.305	455.54	467.071
30.8372	456.981	451.215	462.747
34.1771	472.837	469.954	475.72
37.078	461.566	458.927	464.204
40.3157	443.096	440.457	445.734
43.9986	423.307	420.668	425.945
47.5601	406.156	399.56	412.752
50.3527	378.451	374.493	382.409
52.9429	353.385	350.746	356.023
55.4117	332.276	329.638	334.915
57.6781	308.529	304.571	312.487
59.8231	279.505	275.547	283.463

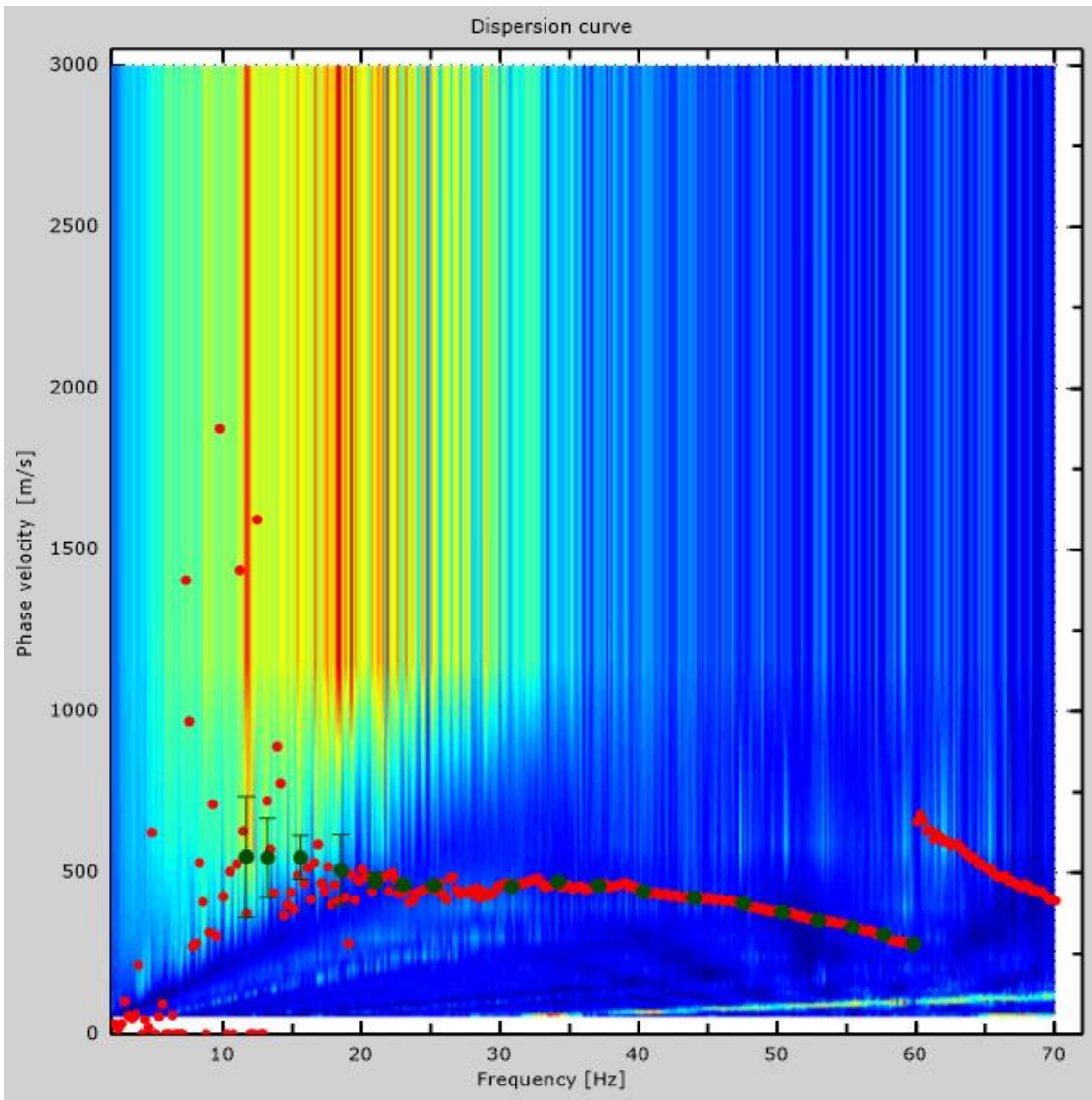


Figure 4: Dispersion curve

## 5 - Field profile

Number of layers (half-space excluded).....	9
Receivers spacing.....	1.5m
Number of receivers.....	12
Number of modes.....	1

### Layer 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1697
Poisson .....	0.37
Vs [m/s].....	262
Vp [m/s] .....	577
Vs min [m/s] .....	155
Vs max [m/s].....	393
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	262

### Layer 2

h [m].....	3
z [m].....	-5
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1944
Poisson .....	0.37
Vs [m/s].....	451
Vp [m/s] .....	993
Vs min [m/s] .....	226
Vs max [m/s].....	677
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	451

### Layer 3

h [m].....	3
z [m].....	-8
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1988
Poisson .....	0.39
Vs [m/s].....	493
Vp [m/s] .....	1161

Vs min [m/s] .....	254
Vs max [m/s].....	740
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	493

### Layer 4

h [m].....	4
z [m] .....	-12
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2025
Poisson .....	0.39
Vs [m/s].....	531
Vp [m/s] .....	1250
Vs min [m/s] .....	265
Vs max [m/s].....	797
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	531

### Layer 5

h [m].....	4
z [m] .....	-16
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2097
Poisson .....	0.39
Vs [m/s].....	611
Vp [m/s] .....	1439
Vs min [m/s] .....	304
Vs max [m/s].....	917
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	611

### Layer 6

h [m].....	5
z [m] .....	-21
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2097
Poisson .....	0.39
Vs [m/s].....	611
Vp [m/s] .....	1439
Vs min [m/s] .....	306
Vs max [m/s].....	917
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	

Vs fin.[m/s] .....611

### Layer 7

h [m] .....5

z [m] .....-26

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2097

Poisson .....0.39

Vs [m/s] .....611

Vp [m/s] .....1439

Vs min [m/s] .....306

Vs max [m/s] .....1223

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....611

### Layer 8

h [m] .....6

z [m] .....-32

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2097

Poisson .....0.39

Vs [m/s] .....611

Vp [m/s] .....1439

Vs min [m/s] .....306

Vs max [m/s] .....1223

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....611

### Layer 9

h [m] .....0

z [m] .....-00

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2097

Poisson .....0.39

Vs [m/s] .....611

Vp [m/s] .....1439

Vs min [m/s] .....306

Vs max [m/s] .....1223

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....611

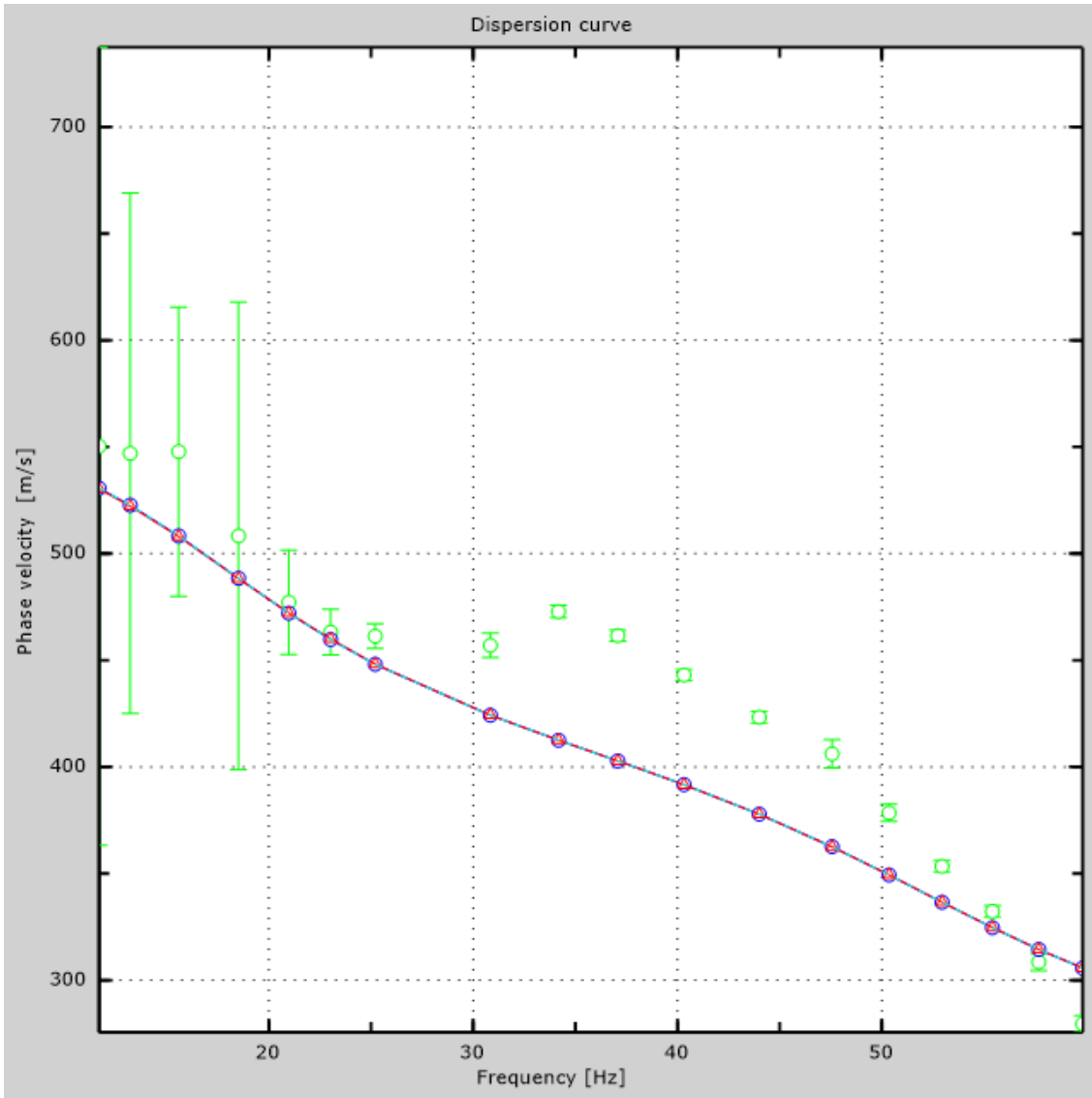


Figure 5: Numerical velocities - experimental points (green), Rayleigh modes (cyan), apparent curve (blue), numerical curve (red)

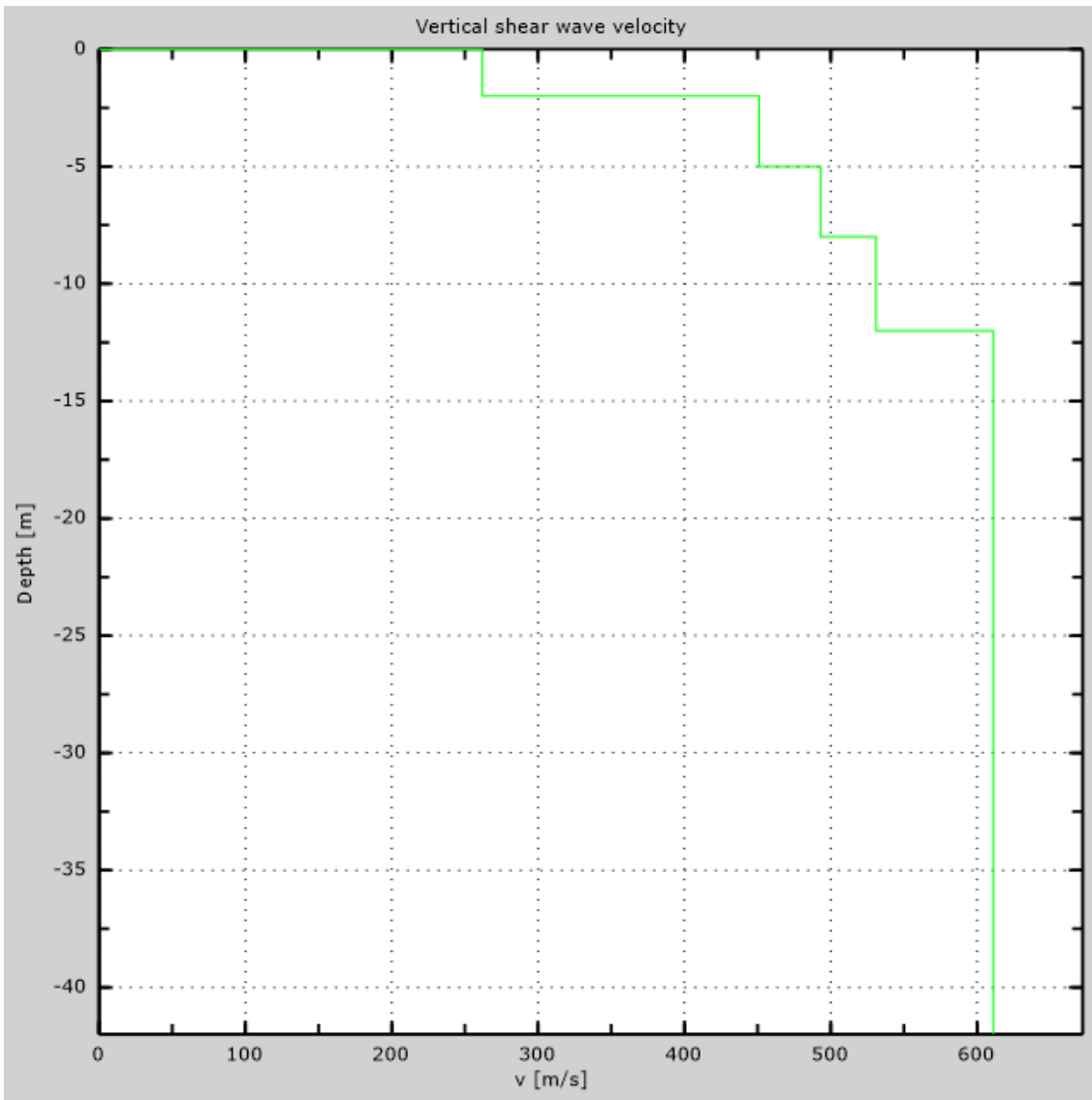


Figure 6: Numerical Vs profile

## 6 - Final results

Reference plane  $z=0$  [m] ..... 0

Vs30 [m/s] ..... 522

You are using the definitions included in DM 14 gennaio 2008

The site does belongs to classes A, B, C, D, E or S1 (alluvional soil, gravel, sand, silt, clay, rock).

The site is not susceptible to liquefaction or there is not sensitive clay.

The geotechnic unit 9 is the bed rock

**Soil type** ..... **B**



# Appendix

## Type of ground

Type A: Rock or other rock-like geological formation, including at most 3 m of weaker material at the surface

Type B: Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least 30 m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth,  $V_{s30}$  between 360 m/s and 800 m/s

Type C: Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel or stiff clay with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  between 180 m/s and 360 m/s

Type D: Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  lower than 180 m/s

Type E: A soil profile consisting of a surface alluvium layer with  $v_s$  values of type C or D and thickness lower than 20 m, underlain by stiffer material with  $v_s > 800$  m/s

Type S1: Deposits of soils with  $V_{s30} < 100$  m/s (or  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), which include a layer of fine-grained and low consistency soil with a thickness greater than 8 m, or a layer of peat or highly organic clay with a thickness greater than 3 m.

Type S2: Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S1

# MASW Analysis Report

Author: Jorge Andrés Arízaga Altamirano, María Gabriela Ulloa Palacios  
Site: Mazar, vía de acceso  
Date:09/10/2018

Generated by MASW  
(c) Vitantonio Roma. All rights reserved.

# 1 - Experimental data

Traces file name .....  
Number of sensors ..... 18  
Sensors distance: ..... 1.5m  
Number of time samples ..... 8232  
Acquisition timestep ..... 0.25ms  
Number of sensors used for the analysis ..... 18  
The interval considered for the analysis starts at ..... 0ms  
The interval considered for the analysis ends at ..... 2057.75ms  
Sensors are reverted (the last one in the file is the first one for the analysis)

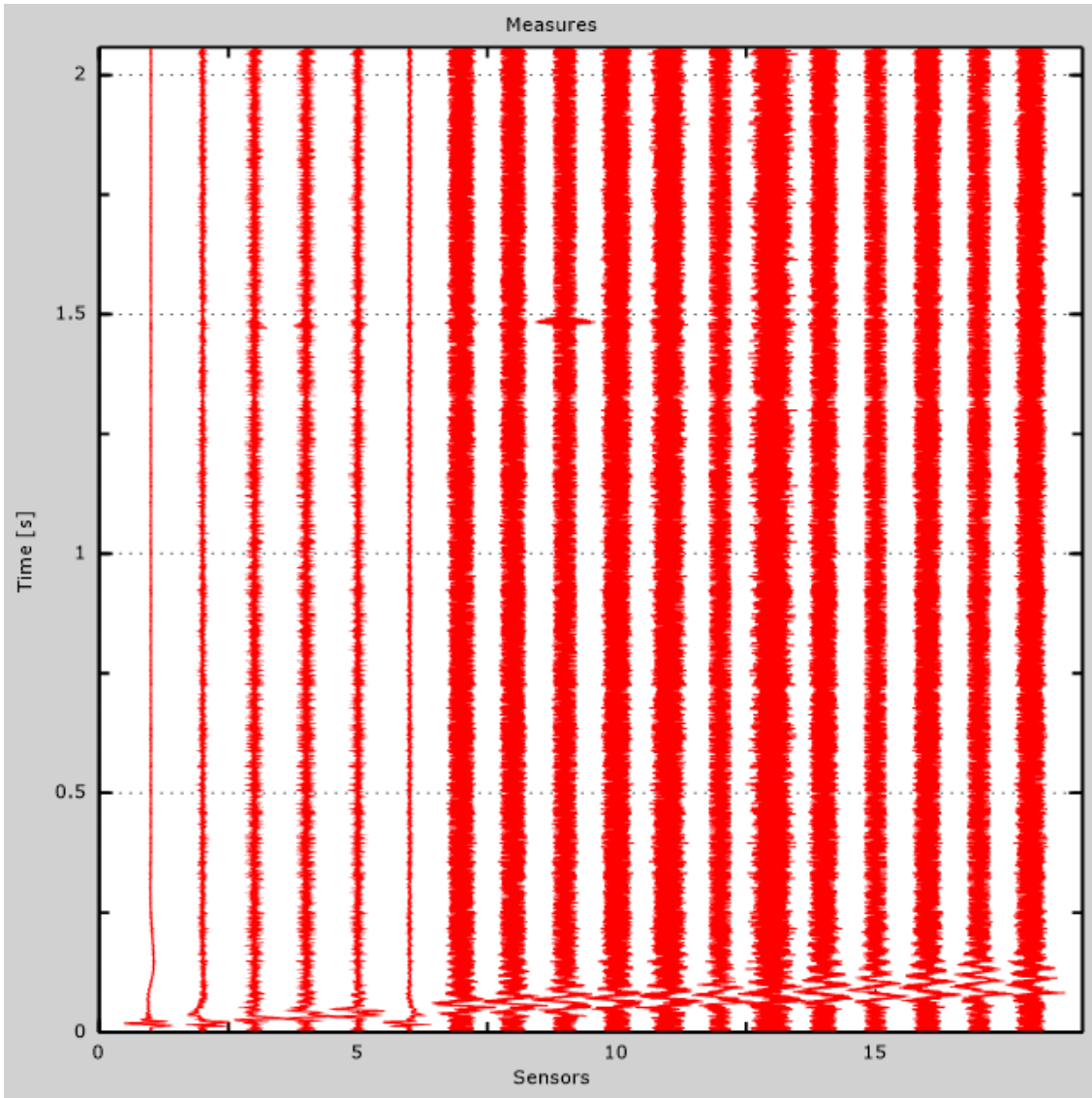


Figure 1: Experimental traces

## 2 - Analysis results

Final frequency ..... 70Hz  
Initial frequency ..... 2Hz

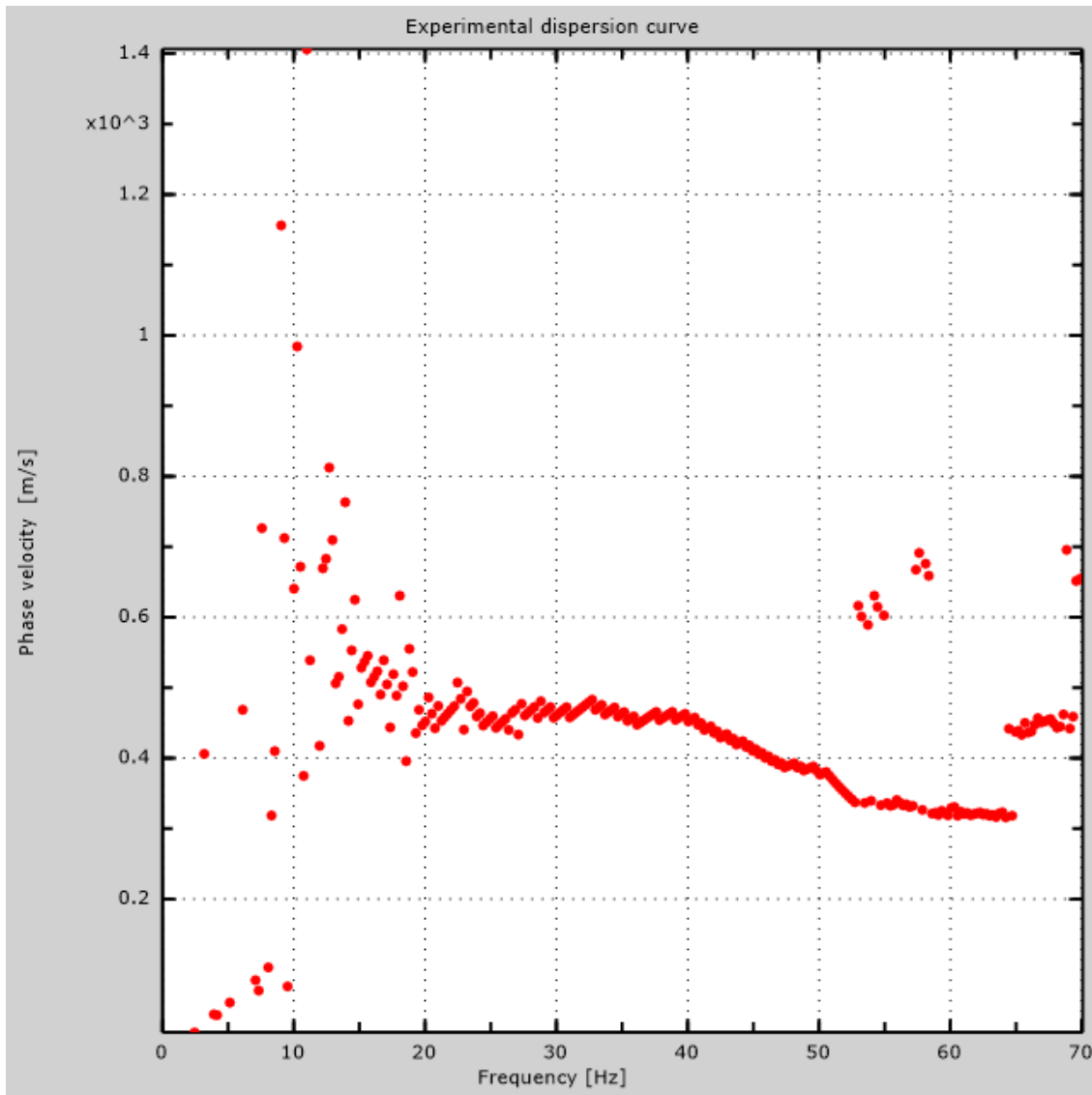


Figure 2: Experimental dispersion curve

### 3 - Analysis results (P)

Traces file name.....  
Number of sensors .....24  
Number of time samples .....3.26787e-312  
Acquisition timestep .....2ms  
Number of sensors used for the analysis.....24  
The interval considered for the analysis starts at .....0ms  
The interval considered for the analysis ends at .....65534ms  
Sensors are reverted (the last one in the file is the first one for the analysis)

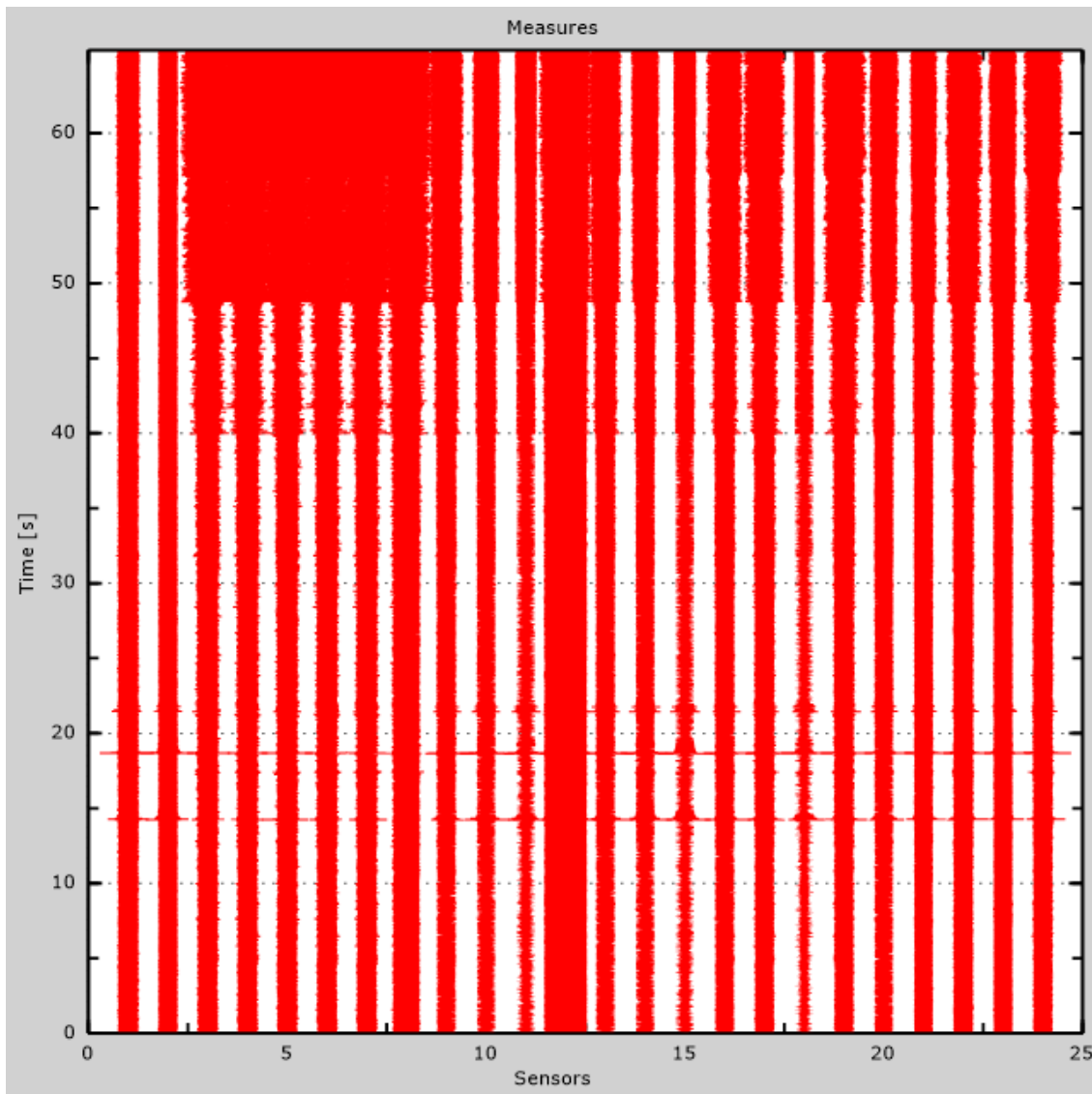


Figure 3: Experimental traces

## 4 - Dispersion curve

Table 1:Dispersion curve

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
11.2567	540.238	386.108	694.368
15.4497	535.673	442.861	628.485
16.85	542.423	469.861	614.985
19.08	521.473	490.385	552.56
21.0235	480.82	456.906	504.733
23.1312	496.861	490.111	503.611
25.1274	461.749	458.311	465.187
28.3322	474.923	468.173	481.673
31.8129	468.173	463.111	473.236
34.471	473.21	468.626	477.794
37.6083	465.772	463.751	467.794
41.7611	446.064	444.043	448.085
44.6657	419.786	419.281	420.291
47.3782	386.939	385.928	387.949
48.8491	382.262	378.111	386.413
50.603	382.262	381.225	383.3
51.783	356.318	352.167	360.469
53.4413	337.639	336.601	338.676
57.1724	333.488	328.299	338.676



61.2863	324.148	318.959	329.337
64.2202	317.921	313.77	322.072

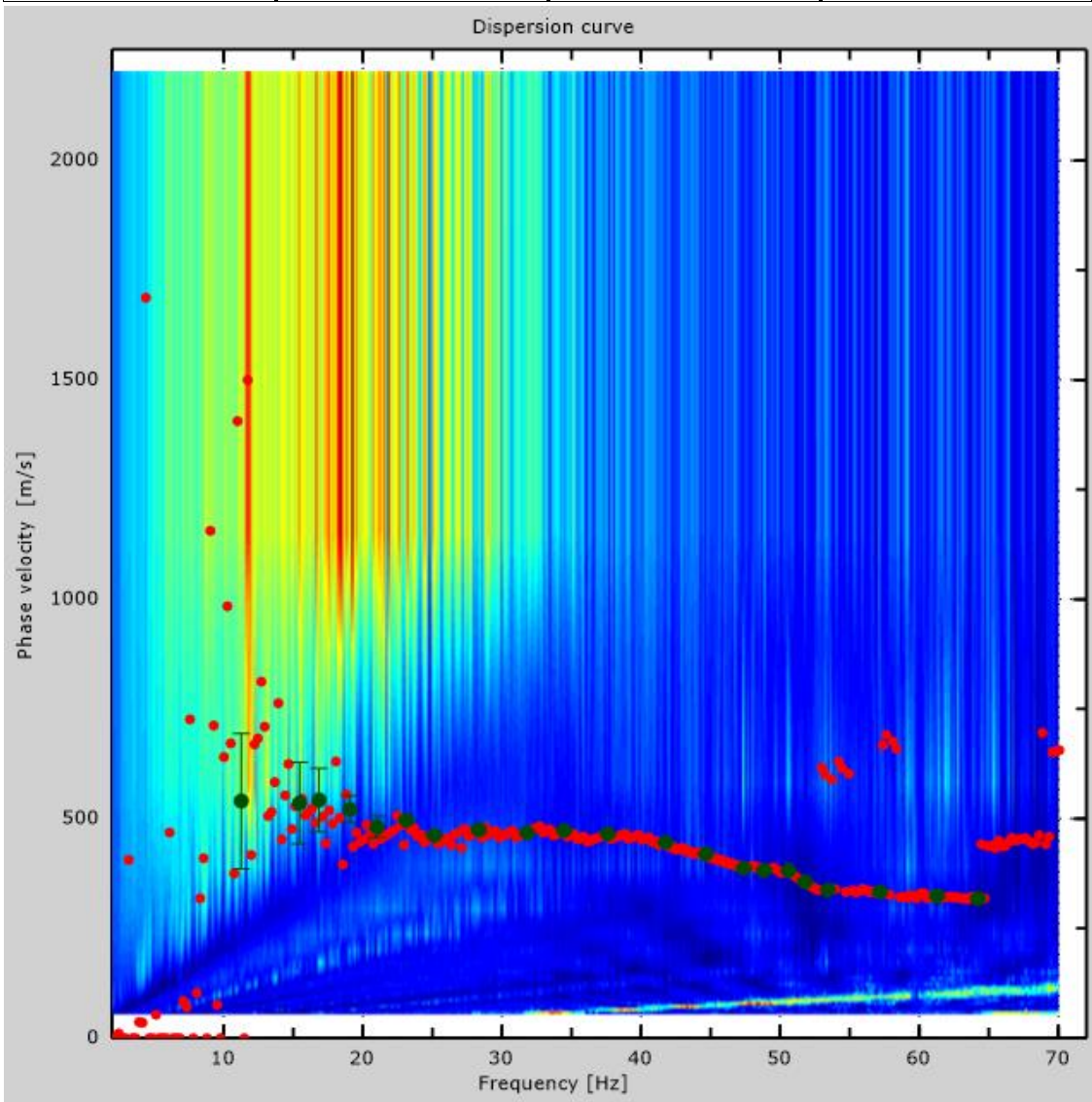


Figure 4: Dispersion curve

## 5 - Field profile

Number of layers (half-space excluded).....	9
Receivers spacing.....	1.5m
Number of receivers.....	18
Number of modes.....	1

### Layer 1

h [m].....	2
z [m].....	-2
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1780
Poisson .....	0.32
Vs [m/s].....	317
Vp [m/s] .....	616
Vs min [m/s] .....	177
Vs max [m/s].....	476
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	317

### Layer 2

h [m].....	2
z [m].....	-4
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1921
Poisson .....	0.41
Vs [m/s].....	430
Vp [m/s] .....	1101
Vs min [m/s] .....	215
Vs max [m/s].....	645
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	430

### Layer 3

h [m].....	3
z [m].....	-7
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2022
Poisson .....	0.41
Vs [m/s].....	528
Vp [m/s] .....	1352

Vs min [m/s] .....	264
Vs max [m/s].....	792
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	528

### Layer 4

h [m].....	4
z [m] .....	-11
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2028
Poisson .....	0.41
Vs [m/s].....	534
Vp [m/s] .....	1367
Vs min [m/s] .....	267
Vs max [m/s].....	801
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	534

### Layer 5

h [m].....	4
z [m] .....	-15
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2088
Poisson .....	0.41
Vs [m/s].....	600
Vp [m/s] .....	1536
Vs min [m/s] .....	298
Vs max [m/s].....	900
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	600

### Layer 6

h [m].....	5
z [m] .....	-20
Density [kg/m <sup>3</sup> ] .....	2088
Poisson .....	0.41
Vs [m/s].....	600
Vp [m/s] .....	1536
Vs min [m/s] .....	300
Vs max [m/s].....	900
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	

Vs fin.[m/s] .....600

### Layer 7

h [m] .....6

z [m] .....-26

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2088

Poisson .....0.41

Vs [m/s] .....600

Vp [m/s] .....1536

Vs min [m/s] .....300

Vs max [m/s] .....900

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....600

### Layer 8

h [m] .....6

z [m] .....-32

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2088

Poisson .....0.41

Vs [m/s] .....600

Vp [m/s] .....1536

Vs min [m/s] .....300

Vs max [m/s] .....1201

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....600

### Layer 9

h [m] .....0

z [m] .....-∞

Density [kg/m<sup>3</sup>] .....2088

Poisson .....0.41

Vs [m/s] .....600

Vp [m/s] .....1536

Vs min [m/s] .....300

Vs max [m/s] .....1201

This layer is not water table

This layer is not alluvional

Vs fin.[m/s] .....600

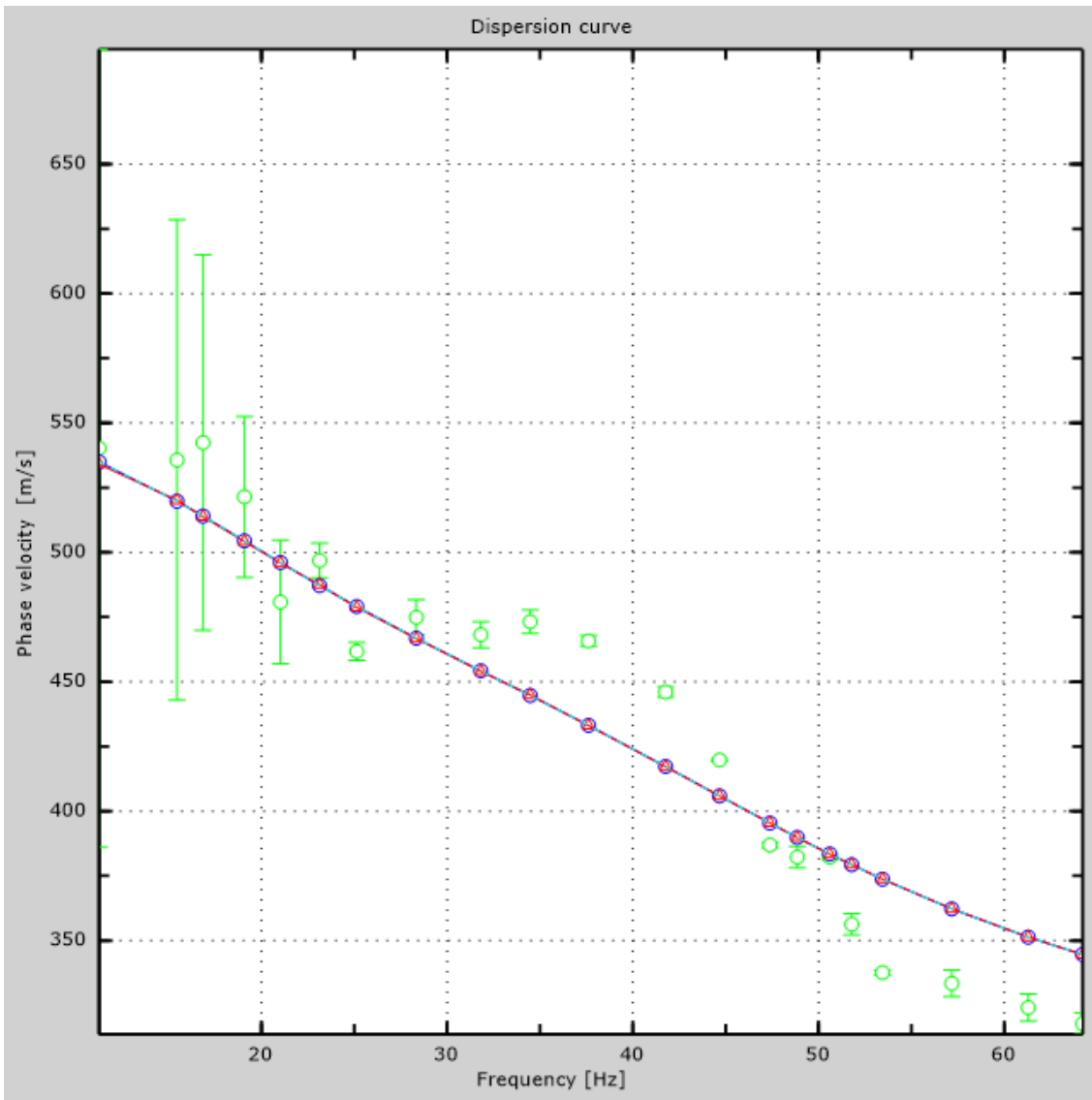


Figure 5: Numerical velocities - experimental points (green), Rayleigh modes (cyan), apparent curve (blue), numerical curve (red)

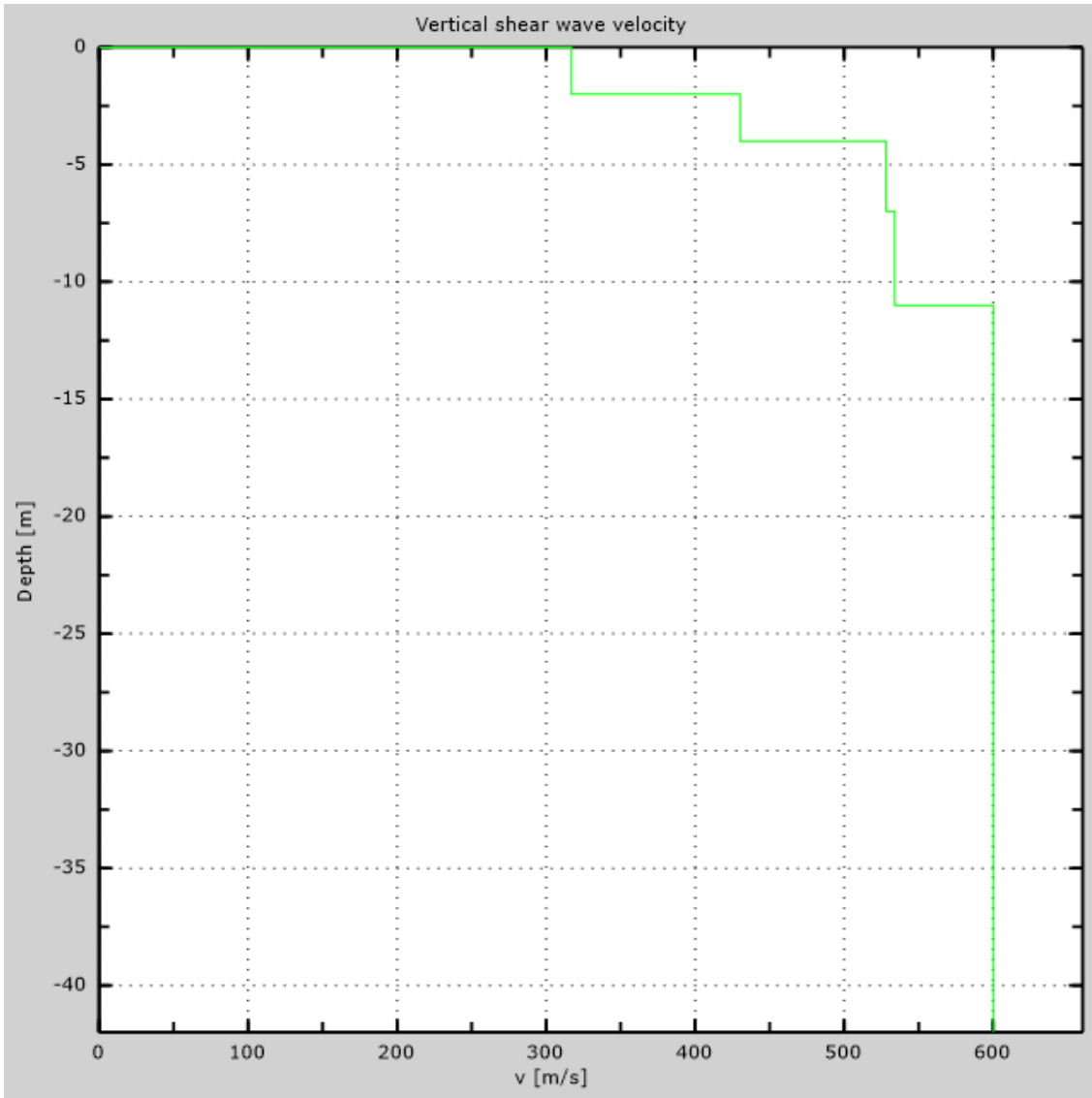


Figure 6: Numerical Vs profile

## 6 - Final results

Reference plane  $z=0$  [m] ..... 0

$V_{s30}$  [m/s] ..... 537

You are using the definitions included in DM 14 gennaio 2008

The site does belongs to classes A, B, C, D, E or S1 (alluvional soil, gravel, sand, silt, clay, rock).

The site is not susceptible to liquefaction or there is not sensitive clay.

The geotechnic unit 9 is the bed rock

**Soil type** ..... **B**

# Appendix

## Type of ground

Type A: Rock or other rock-like geological formation, including at most 3 m of weaker material at the surface

Type B: Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least 30 m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth,  $V_{s30}$  between 360 m/s and 800 m/s

Type C: Deep deposits of dense or medium dense sand, gravel or stiff clay with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  between 180 m/s and 360 m/s

Type D: Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil with thickness greater than 30 m,  $V_{s30}$  lower than 180 m/s

Type E: A soil profile consisting of a surface alluvium layer with  $v_s$  values of type C or D and thickness lower than 20 m, underlain by stiffer material with  $v_s > 800$  m/s

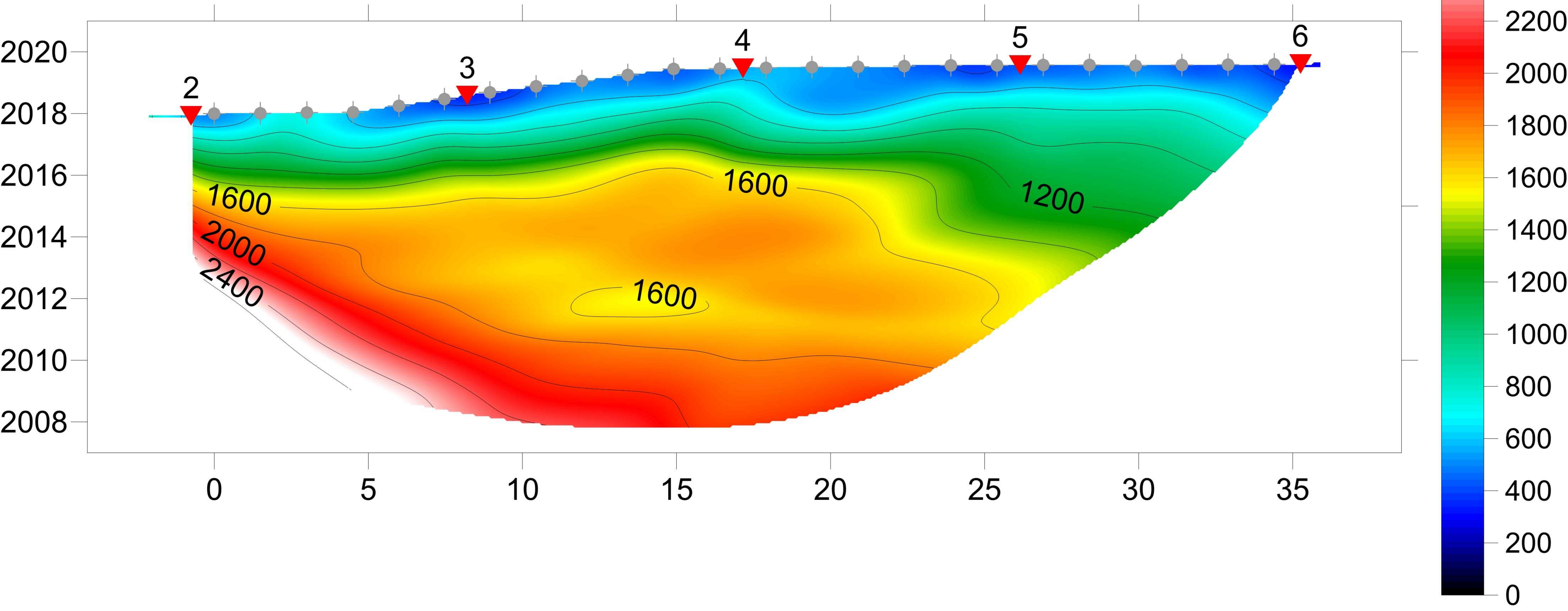
Type S1: Deposits of soils with  $V_{s30} < 100$  m/s (or  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), which include a layer of fine-grained and low consistency soil with a thickness greater than 8 m, or a layer of peat or highly organic clay with a thickness greater than 3 m.

Type S2: Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A - E or S1

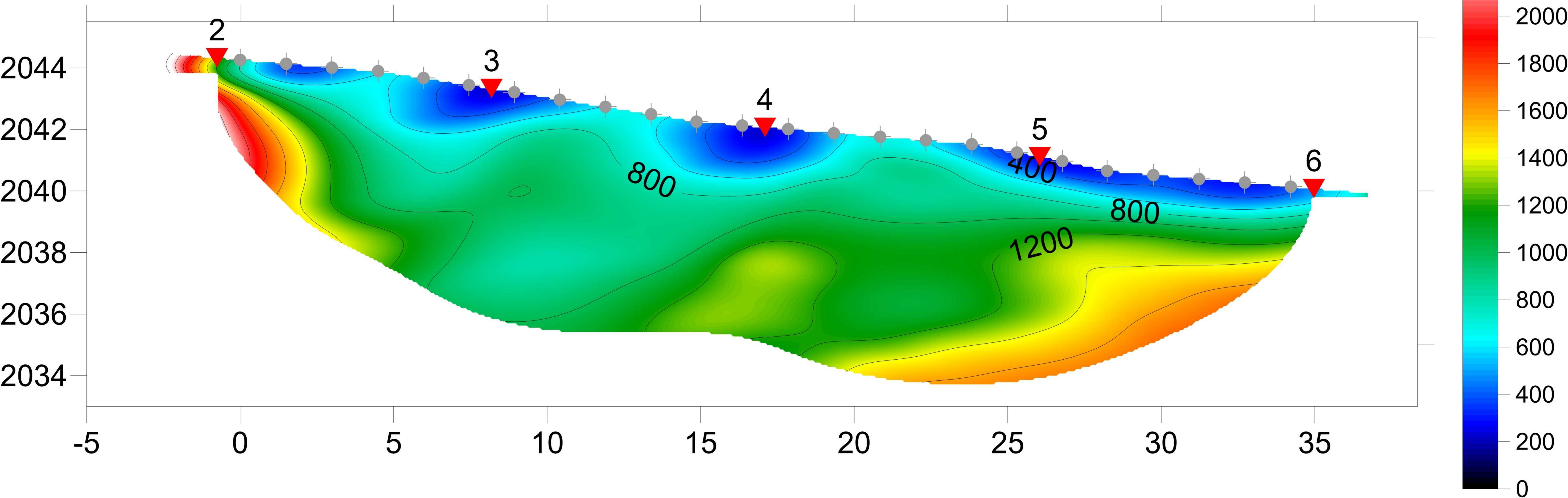


# Reporte de Sísmicas

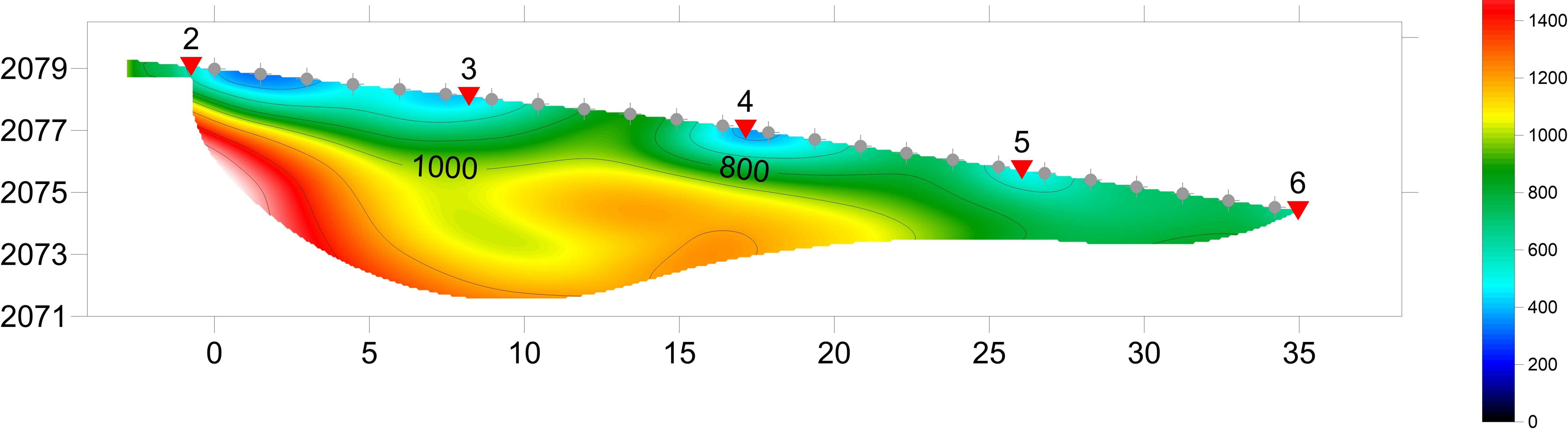
TA\_LMS4, 20 WET iterations, RMS error 1.8 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.26



TA\_LMS5, 20 WET iterations, RMS error 5.7 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.26



TA\_LMS6, 20 WET iterations, RMS error 3.1 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.26



# Registro fotográfico

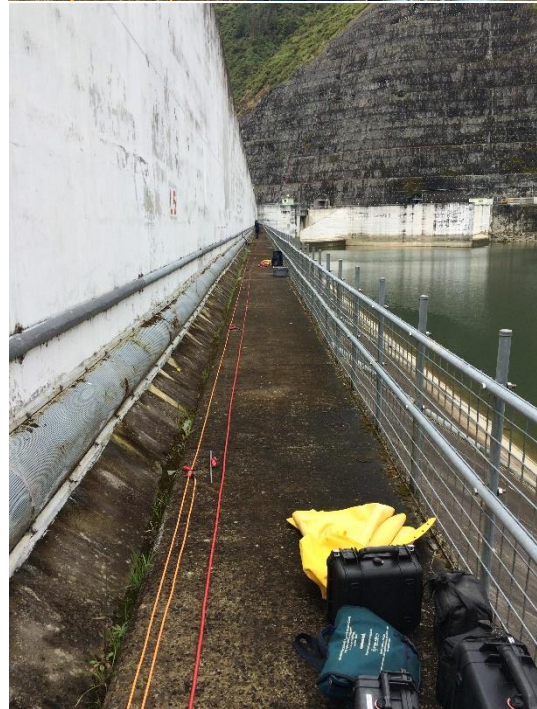
Equipo



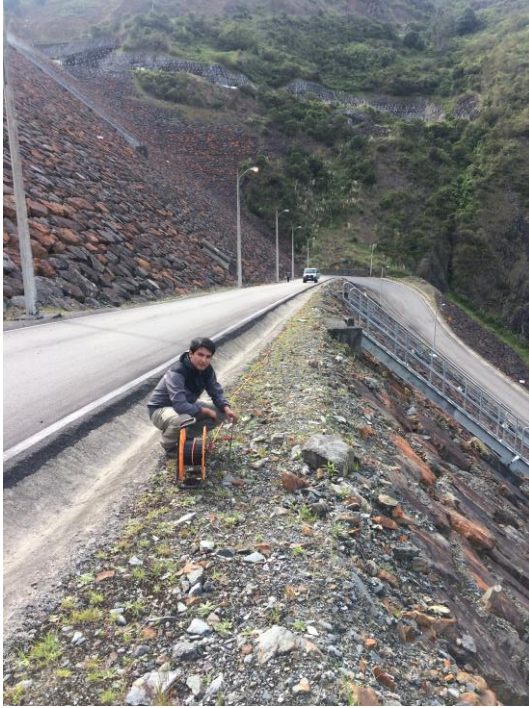
# Muro parapeto



Pasarela



# Vía de acceso





# Base de la presa

