

**DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES DE ONDA  
MECÁNICA EN UN PERFIL DE SUELO, MEDIANTE LOS ENSAYOS SÍSMICOS,  
REMI (REFRACTION MICROTREMORS) Y MAS-W (MULTICHANNEL  
ANALYSIS OF SURFACE WAVES) EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO UIS**

**FABRISIO PÉREZ SÁNCHEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2017**

**DETERMINACION DE VELOCIDADES DE ONDA MECÁNICA EN UN PERFIL  
DE SUELO, MEDIANTE LOS ENSAYOS SÍSMICOS, REMI (REFRACTION  
MICROTREMORES) Y MAS-W (MULTICHANEL ANALYSIS OF SURFACE  
WAVES) EN EL CAMPUS UNIVE**

**FABRISIO PÉREZ SÁNCHEZ**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director  
HEBENLY CELIS LEGUIZAMO  
Ingeniera civil MsC**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2017**

Dedicado primero que todo a Dios por darme fortaleza para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres por el amor y  
apoyo  
incondicional que  
siempre me han  
brindado.

Gracias

***Fabrisio Pérez Sánchez***

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	14
1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	16
2. METODOLOGÍA .....	19
2.1 PRELIMINARES .....	19
2.2 INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE SÍSMICA.....	19
2.3 TOMA DE DATOS EN CAMPO .....	21
2.4 ANÁLISIS DE DATOS .....	24
2.4.1 Análisis de datos MASW .....	24
2.4.1.1 Software Wizard.....	24
2.4.1.2 Software Pickwin.....	24
2.4.1.3 Software WaveEq. ....	26
2.4.1.4 software Geoplot.....	27
2.4.2 Análisis de datos REMI .....	28
2.4.2.1 Software wizard. ....	28
2.4.2.2 Software Pickwin.....	29
2.4.2.3 Software WaveEq. ....	31
2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	32
2.5.1 Obtención del Perfil estratigráfico a través del ensayo MASW. ....	32
2.5.2 Obtención del Perfil estratigráfico a través del ensayo REMI. ....	33
2.6 COMPARACIÓN DE LOS PERFILES OBTENIDOS MEDIANTE LOS ENSAYOS GEOFÍSICOS DE MASW Y REMI SÍSMICA CONTRA EL PERFIL GEOTÉCNICO RECOLECTADO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO.....	35

3. CONCLUSIONES .....	39
BIBLIOGRAFIA.....	40
ANEXOS .....	42

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la ciudad de Bucaramanga, Departamento de Santander, Colombia. ....	16
Figura 2. Localización del campus de la Universidad Industrial de Santander, ciudad de Bucaramanga. ....	17
Figura 3. Localización de línea sísmica, Universidad Industrial de Santander, longitud y ubicación. ....	18
Figura 4. Conexión geófonos al cable principal .....	20
Figura 5. GEODE múltiples conexiones.....	21
Figura 6. Posicionamiento en campo para ensayo MASW. ....	22
Figura 7. Interfaz Geometrics Seismodule Controller. ....	23
Figura 8. Cuadro de dialogo SeisImager/SW .....	24
Figura 9. Archivos en forma de ondas longitudinal .....	25
Figura 10. Diagrama de la geometría. ....	25
Figura 11. Curva de dispersión.....	26
Figura 12. Modelo inicial con velocidades aparentes.....	27
Figura 13. Modelo final del perfil estratigráfico.....	28
Figura 14. Cuadro de dialogo SeisImager/SW .....	29
Figura 15. Datos en forma de onda. ....	29
Figura 16. Datos en modo frecuencia. ....	30
Figura 17. Curva de dispersión.....	30
Figura 18. Curva de dispersión editada. ....	31
Figura 19. Perfil obtenido.....	32
Figura 20. Caracterización de perfil de suelo según velocidad de onda. ....	32
Figura 21. Caracterización de perfil de suelo según velocidad de onda de corte. ....	34
Figura 19. Perfil obtenido mediante los ensayos sísmicos MASW, REMI y los sondes SPT .....	38

## LISTA DE IMÁGENES

Fotografía 1. Obtenida en la zona de estudio el Bosque realizando la localización de la línea sísmica. ....	19
---	----

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Posible resultado caracterización de material de subsuelo ensayo MASW. .....	33
Tabla 2. Posible resultado caracterización de material de subsuelo ensayo REMI. .....	35
Tabla 3. Caracterización de perfil de suelo según el sondeo SPT.....	36
Tabla 4. Ensayo SPT realizado en el parque de los niños.....	37

## **LISTA DE ANEXOS**

(Ver anexos en la carpeta adjunta al Cd)

ANEXO A. MANUAL ENSAYO MASW y REMI .....	43
ANEXO B. VIDEO ENSAYO MASW Y REMI.....	104

## RESUMEN

**TÍTULO:** DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES DE ONDA MECÁNICA EN UN PERFIL DE SUELO, MEDIANTE LOS ENSAYOS SÍSMICOS, REMI (REFRACTION MICROTREMORES) Y MAS-W (MULTICHANEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES) EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO UIS.\*

**AUTOR:** FABRISIO PÉREZ SÁNCHEZ\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Geofísico, Sondeo, Geode, Bosque, estratigráfico.

**DESCRIPCIÓN:** En el presente artículo se muestran los resultados obtenidos a partir de los ensayos geofísicos, análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) y refracción de microtemblores (REMI), realizados en el campus universitario de la Universidad Industrial de Santander sector el bosque. Además se muestra la información del estudio geotécnico en las zonas cercanas al lugar donde se realizaron dichos ensayos, con el fin de comparar los resultados entre los métodos sísmicos y mecánico (SPT).

A través del equipo GEODE ULTRA-LIGHT EXPLORATION SEISMOGRAPH DE 24 CANALES y el software GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER se obtiene el registro del tiempo de llegada de las ondas de corte ( $V_s$ ) a cada uno de los geófonos, los cuales transforman los movimientos sísmicos del suelo a señales eléctricas. Utilizando el paquete de software SEISIMAGER con sus programas WIZARD, PICKWIN, GEOPLOT y WAVEEQ, se obtiene el perfil estratigráfico mostrando las velocidades de llegada de la onda S.

Además se muestra el procedimiento en campo y uso de estos softwares por medio de un manual donde se realizan los ensayos geofísicos sísmicos REMI y MASW que se encuentra en el Anexo A, y como complemento el anexo B que es un registro audiovisual con una duración aproximada de treinta y cuatro minutos, de los ensayos realizados en el campus de la Universidad Industrial de Santander, el cual muestra todos los procedimientos hechos para cada ensayo.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de ingenierías físico mecánicas escuela de ingeniería civil director Hebenly Celis Leguizamo ingeniera civil MSc

## ABSTRACT

**TITLE:** DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES DE ONDA MECÁNICA EN UN PERFIL DE SUELO, MEDIANTE LOS ENSAYOS SÍSMICOS, REMI (REFRACTION MICROTREMORES) Y MAS-W (MULTICHANEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES) EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO UIS.\*

**AUTHOR:** FABRISIO PÉREZ SÁNCHEZ\*\*

**KEYWORDS:** Geophysicist, Probing, Geode, Bosque, Stratigraphic.

**DESCRIPTION:** This article shows the results obtained from two geophysical tests, multi-channel analysis of superficial waves (MASW) and refraction of Microtremors (REMI), carried out at the university campus of the Universidad Industrial de Santander, the Bosque area. It also shows the information of the geotechnical study in the areas near by in order to compare results between seismic and mechanical methods (SPT).

Through GEODE ULTRA-LIGHT EXPLORATION SEISMOGRAPH OF 24 CHANNELS and the software GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER, the recording of the time of arrival of the shear waves to each (vs) of the geophones transforms the seismic movements of the soil to electrical signals. Using the software package SEISIMAGER with its Programs WIZARD, PICKWIN, GEOPLOT and WAVEEQ, with which you get the profile stratigraphic showing the arrival speeds of the waves.

In addition, the field procedure and use of these softwares are shown by means of a manual where the seismic geophysical tests REMI and MASW are carried out in annex A, and in addition to annex B which is an audiovisual record with an approximate duration of thirty-four minutes, of the tests carried out on the campus of the Industrial University of Santander, which shows all the procedures made for each trial.

---

\* Project of grade

\*\* Faculty of engineering physical mechanical school engineering civil director Hebenly Celis Leguizamo Engineer civil MSc

## INTRODUCCIÓN

El uso de métodos geofísicos, específicamente los sísmicos para la caracterización de suelos, son considerados relativamente nuevos y nos permite medir la curva de dispersión de ondas de superficie en un sitio y modelarla para obtener

El perfil de velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) correspondiente.

En las pruebas geofísicas sísmicas se trabaja con la propagación de las ondas elásticas, los datos se registran con la ayuda de cierto número de geófonos a lo largo de una línea sísmica, los movimientos sísmicos del suelo se transforman a señales eléctricas de características de frecuencia y amplitud análoga a la de las ondas sísmicas que son detectadas y registradas por el sismógrafo.

Los métodos MASW y REMI son usados para el análisis de licuefacción, control de compactación del suelo, mapeo de la estratigrafía superficial, localización de zonas potencialmente débiles en terraplenes y diques de tierra, etc. Algunas de las limitaciones se muestran con el aumento de la profundidad en el perfil de velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) dada sus variaciones, la resolución disminuye notablemente con el aumento de la profundidad, como consecuencia, las capas profundas relativamente finas no pueden ser identificadas con exactitud. La longitud del tendido de la línea sísmica está directamente ligada con el alcance que tendrán estos métodos exploración en profundidad<sup>1</sup>.

Estos ensayos se diferencian por las fuentes sísmicas a utilizar, el MASW utiliza vibraciones altas, generadas por fuentes activas (golpeo del martillo contra la

---

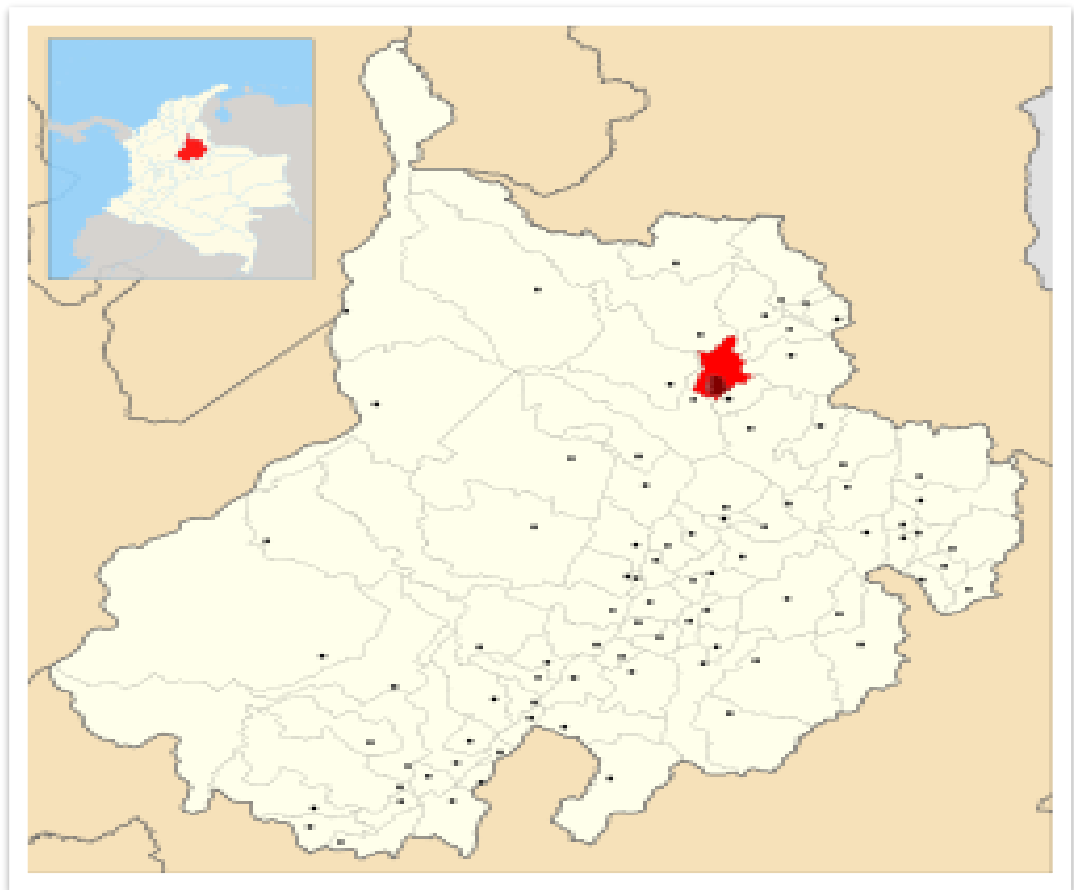
<sup>1</sup> GEOMETRICS. Análisis de las ondas superficiales [en línea]. 2017. [Citado el 22 de agosto de 2017]. Disponible en <http://www.Geometrics.com/applications/geophysical-methods/surface-wave-analysis/>

placa de acero) y por otra parte el método REMI aprovechas las vibraciones bajas del ambiente generadas por el paso de vehículo, la actividad humana, etc., llamadas fuentes pasivas.

## 1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

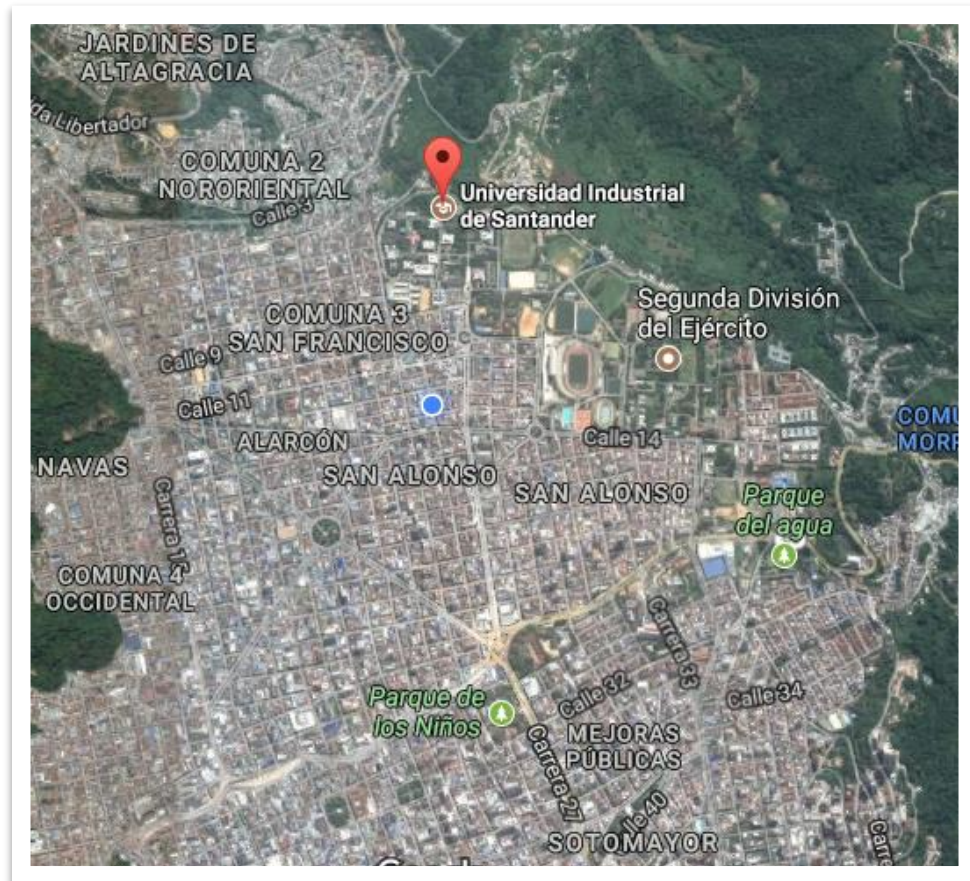
El campus de la Universidad Industrial de Santander se encuentra ubicada al Nororiente del dela ciudad de Bucaramanga, Capital del Departamento de Santander, Colombia. Ver Figura 1 y 2.

Figura 1. Localización de la ciudad de Bucaramanga, Departamento de Santander, Colombia.



Fuente: Google Maps

Figura 2. Localización del campus de la Universidad Industrial de Santander, ciudad de Bucaramanga.



Fuente: Google Maps

El lugar para la realización de las pruebas geofísico sísmicas se encuentra ubicada al Noroccidente del campus universitario, en la zona denominada el Bosque, al Norte de los edificios de eléctrica e industrial y al Sureste del edificio de Caracterización de Materiales de Ingeniería Civil, allí se instaló la línea sísmica de 24 geófonos, sentido Occidente-Oriente con una longitud de 24 metros. Ver figura 3.

Figura 3. Localización de línea sísmica, Universidad Industrial de Santander, longitud y ubicación.



Fuente: Google Maps.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 PRELIMINARES

En primer lugar identificar con ayuda de planos, fotografías o coordenadas GPS el punto de inicio y fin de la línea sísmica, la cual se establece cerca a las perforaciones (SPT) realizadas previamente para obtener un resultado más detallado de la zona de estudio. Ver fotografía 1.

Fotografía 1. Obtenida en la zona de estudio el Bosque realizando la localización de la línea sísmica.



### 2.2 INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE SÍSMICA

A continuación Se procede a colocar los geófonos a la distancia definida (en este caso cada 1 [m]), definiendo estos espacios con ayuda de una cinta métrica. Los

geófonos deben estar lo más despejado y asegurarse que encuentren de la forma más alineada posible.

Después se extienden los cables principales paralelo a la línea sísmica, teniendo en cuenta de que cada uno tiene marcaciones numéricas que indican el orden de conexión de los geófonos para su fácil conexión. Ver Figura 4.

Figura 4. Conexión geófonos al cable principal



Luego se realizan las respectivas conexiones con el sismógrafo (GEODE), se comienza con la conexión al computador, este debe contar con el software GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER, instalado anteriormente. Posteriormente se realiza la conexión del cable principal que a su vez está conectado a los geófonos. Se continúa con el cable disparador (trigger), que está sujeto a la porra a través de cinta. Este disparador es el que activa los geófonos al momento del golpe para recibir las ondas. Por último se realiza la conexión con una batería de 12 voltios.

La realización de las conexiones al GEODE son similares para ambos ensayos, con la diferencia que en el método REMI no se realiza la conexión al cable disparador trigger (sujeto a la porra) ,pues este utiliza fuentes pasivas. Ver figura 5.

Figura 5. GEODE múltiples conexiones.



### 2.3 TOMA DE DATOS EN CAMPO

A través del software GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER se obtienen los datos del tiempo que demora en llegar la onda a cada geófono, Las ondas superficiales son dispersivas, poseen diferentes frecuencias y velocidades. Características como las velocidades de fase de onda de superficie y las velocidades de diferentes frecuencias, son útiles para calcular la velocidad de onda de corte (gracias a su alta amplitud se hace posible de medir).Esta ondas se

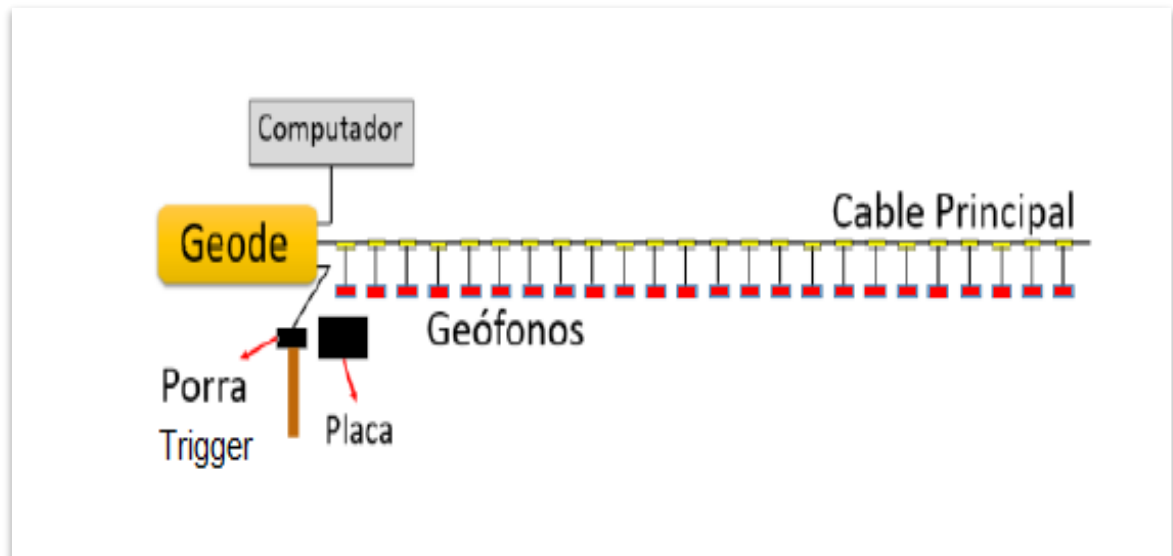
generan por las fuentes activas (golpeo de la placa metálica con el martillo) y fuentes pasivas (vibraciones del ambiente).

Se inicia el programa GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER, tan pronto se abre este realizará un reconocimiento del equipo y elementos dispuestos para el ensayo.

Se configura el software dependiendo del estudio requerido, realizando modificaciones en distancias, tiempos de adquisición, ubicación del disparador, ganancias de los geófonos, la cantidad de golpes, entre otros.

Para empezar con el ensayo MASW debemos ubicar en el suelo una placa metálica a unos 30 cm de cada geófono, la cual será golpeada con el martillo entre 3 a 5 veces cada metro, hasta llegar al último geófono de nuestra línea. Ver figura 6.

Figura 6. Posicionamiento en campo para ensayo MASW.

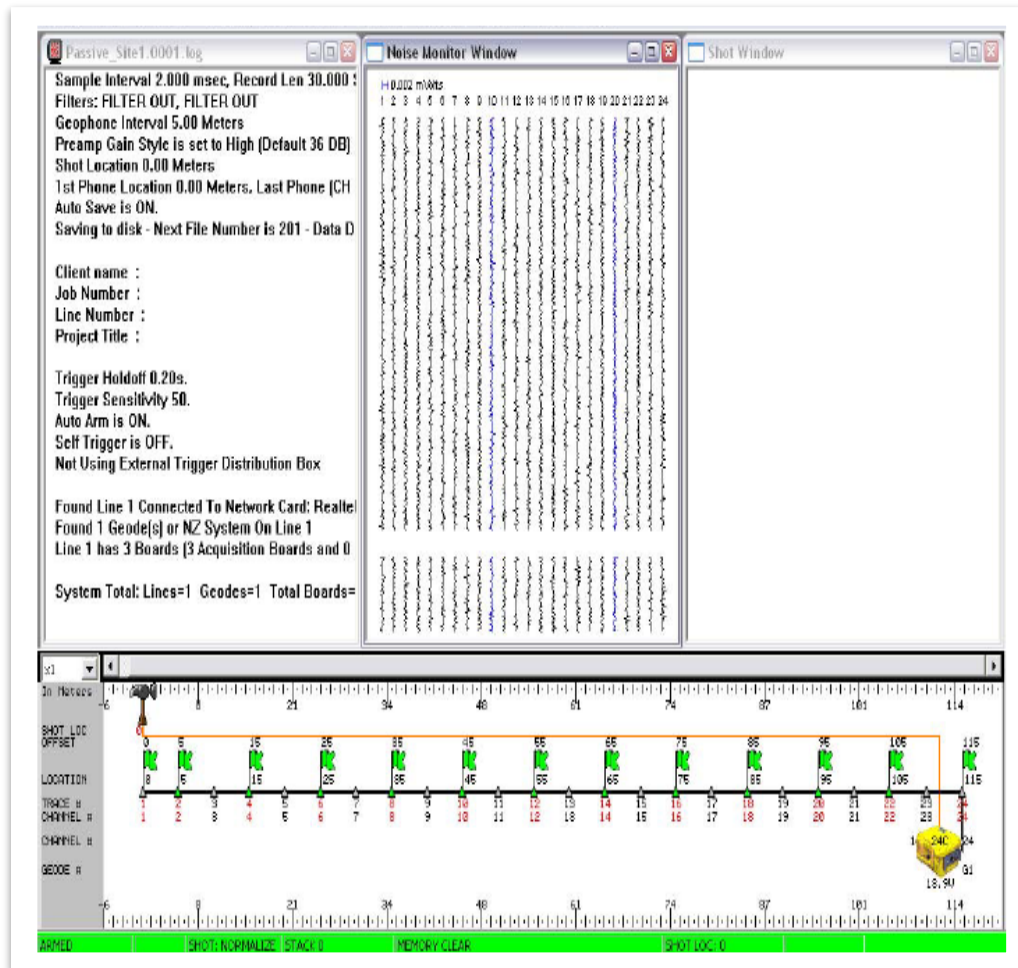


Fuente: Realizada por el autor.

En el ensayo REMI se aprovechan las fuentes pasivas generadas por vibraciones ambientales, se realizan un mínimo 20 registros con una duración de 32 segundos cada uno. Los registros se guardan automáticamente cada 2 milisegundos, lo cual da una duración mínima de ensayo de 10 minutos aproximadamente.

De esta manera se culmina la obtención de datos de campo a través de estos ensayos sísmicos. Al final se obtiene el siguiente registro de datos. Ver figura 7.

Figura 7. Interfaz Geometrics Seismodule Controller.

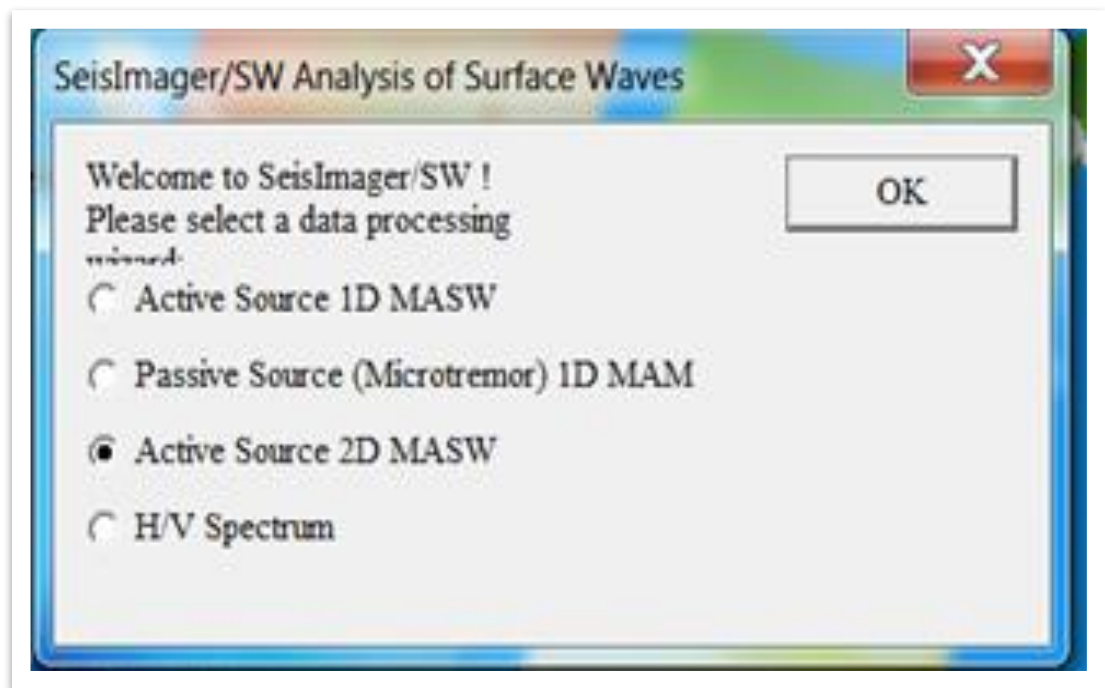


## 2.4 ANÁLISIS DE DATOS

### 2.4.1 Análisis de datos MASW

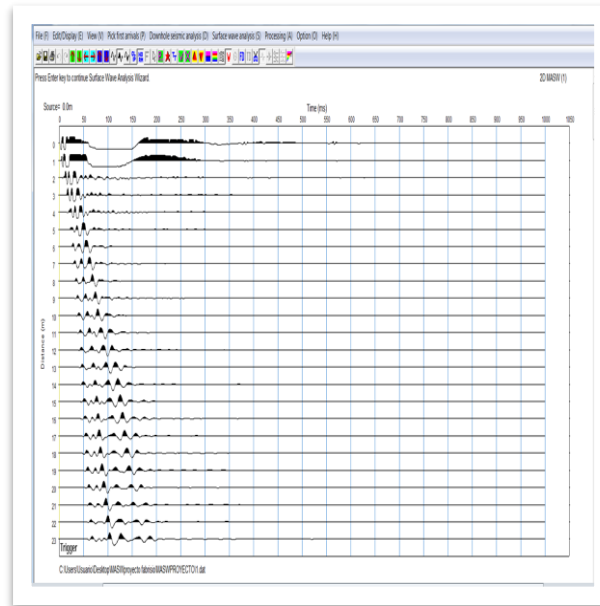
2.4.1.1 Software Wizard. Este software de análisis de la onda superficial Wizard, permite elegir el tipo de ensayo sísmico a procesar, Aparece la bienvenida al cuadro de diálogo SeisImager/SW, Seleccione la fuente activa 2D MASW. Ver figura 8.

Figura 8. Cuadro de dialogo SeisImager/SW



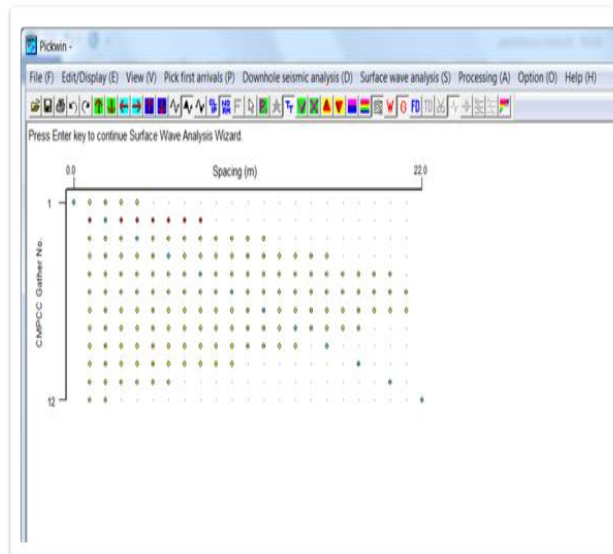
2.4.1.2 Software Pickwin. Este software se utiliza para marcar la llegada de las ondas de corte ( $V_s$ ) a cada uno de los geófonos. Se importa los datos obtenidos a través GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER al programa PICKWIN donde se muestran los archivos en forma de onda (24 archivos). Ver figura 9(anexo A manual MASW figura52).

Figura 9. Archivos en forma de ondas longitudinal



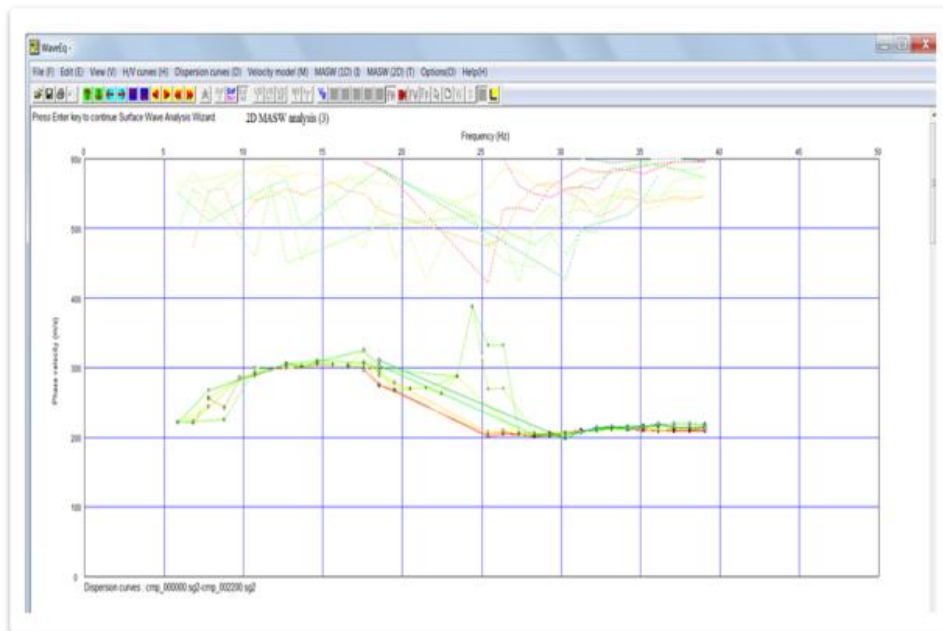
También se muestra diagrama de la geometría de cada dato archivo. Ver figura 10(anexo A manual MASW figura62).

Figura 10. Diagrama de la geometría.



2.4.1.3 Software WaveEq. Pickwin abre automáticamente WaveEq. Software encargado de obtener, editar y ajustar las curvas de dispersión de los datos. Ver figura 11 (anexo A manual MASW figura82).

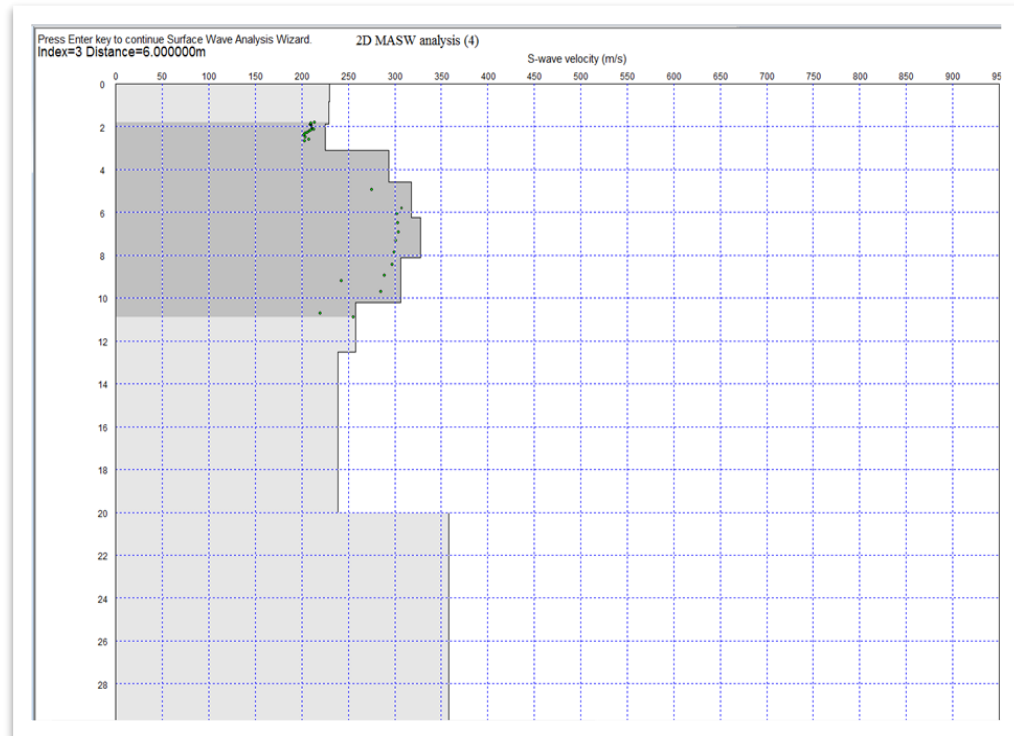
Figura 11. Curva de dispersión.



Luego de configurar los modelos iniciales de velocidad de corte ( $V_s$ ) con profundidad, el valor predeterminado para el número de capas es conveniente para la mayoría de los casos, el valor de profundidad es la mitad de la longitud de propagación aproximadamente.

A continuación se muestra un modelo inicial con velocidades aparentes (puntos verdes), es el mejor indicador de la profundidad real del rango de penetración. A continuación se muestra un modelo inicial con velocidades aparentes (puntos verdes), es el mejor indicador de la profundidad real del rango de penetración. Ver figura 12.

Figura 12. Modelo inicial con velocidades aparentes.

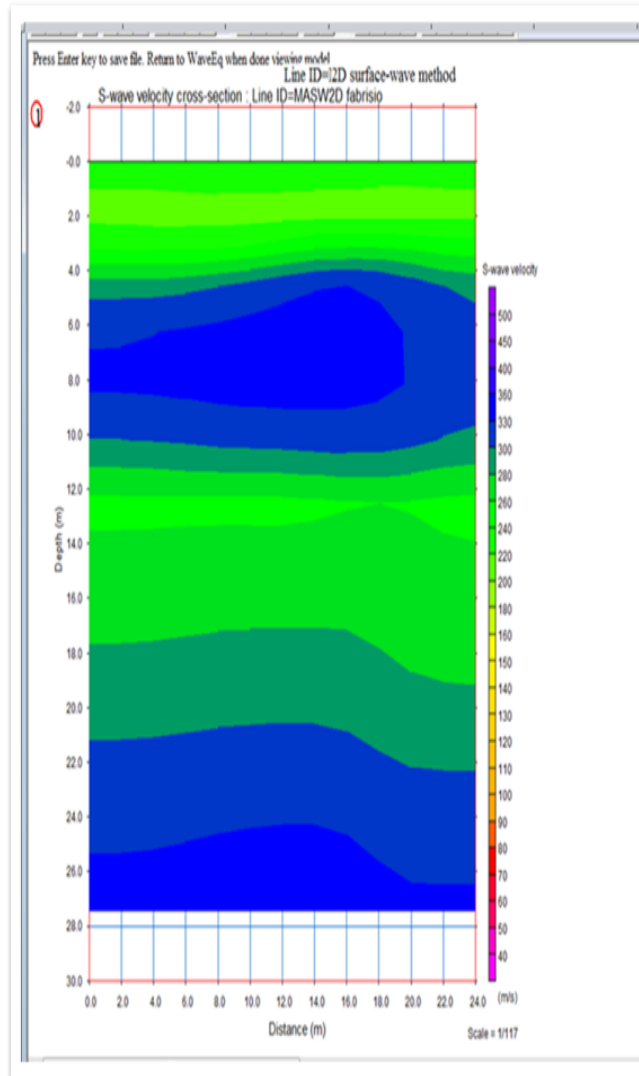


2.4.1.4 software Geoplot. Este se lanza automáticamente una vez terminado el procesamiento de los datos en WaveEq.

Geoplot Sirve para ver la sección transversal inicial de la velocidad de corte ( $V_s$ ). Ayuda a Establecer el número de iteraciones para la inversión. El valor predeterminado para la iteración es de 5 hasta 10, esto es conveniente para la mayoría de los casos.

Se obtiene el modelo final del perfil estratigráfico. Ver figura 13(anexo A manual MASW figura92).

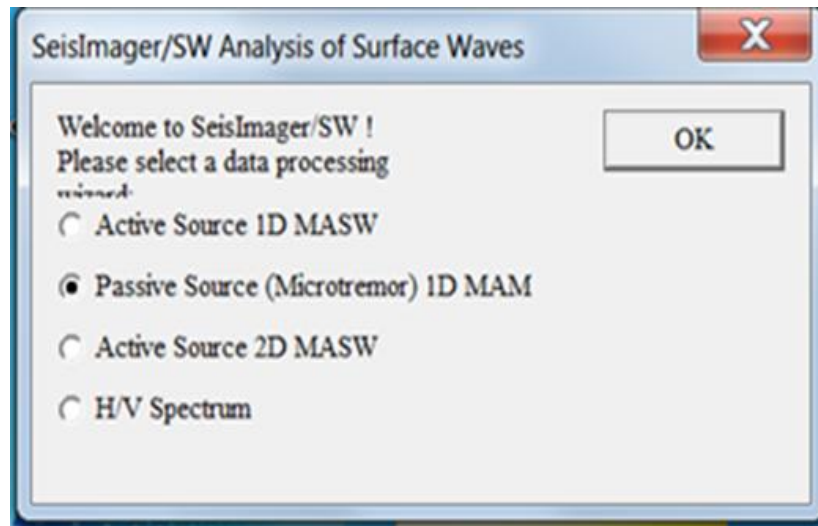
Figura 13. Modelo final del perfil estratigráfico.



## 2.4.2 Análisis de datos REMI

2.4.2.1 Software wizard. Este software de análisis de la onda superficial Wizard, permite elegir el tipo de ensayo sísmico a procesar, Aparece la bienvenida al cuadro de diálogo SeisImager/SW, Seleccione la fuente pasiva (microtremor) MAN. Ver figura 14.

Figura 14. Cuadro de dialogo SeisImager/SW



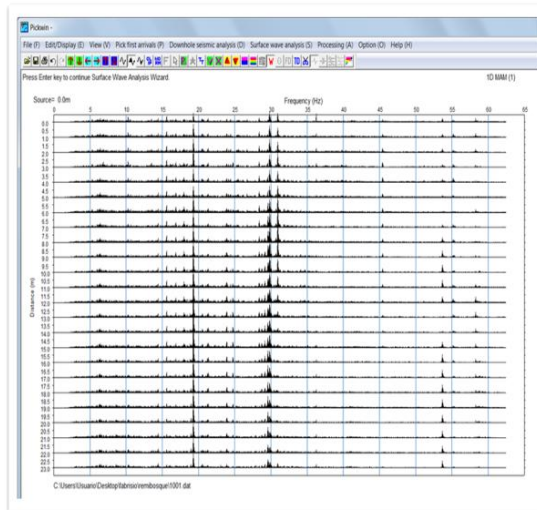
2.4.2.2 Software Pickwin. Este software se utiliza para marcar la llegada de las ondas de corte ( $V_s$ ) a cada uno de los geófonos. Se importa los datos obtenidos a través GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER al programa PICKWIN donde se muestran los archivos en forma de onda (40 archivos). Ver figura 15.

Figura 15. Datos en forma de onda.



También se muestran los datos en modo frecuencia vs profundidad. Ver figura 16.

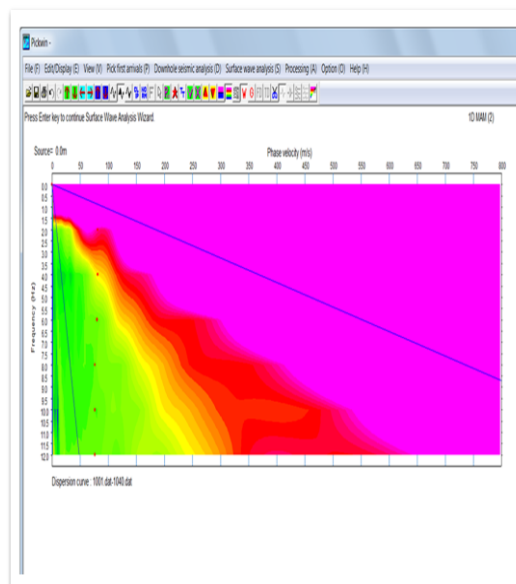
Figura 16. Datos en modo frecuencia.



El valor por defecto de frecuencia mínima es de 2 Hz, si se utilizaron geófonos 4,5 Hz.

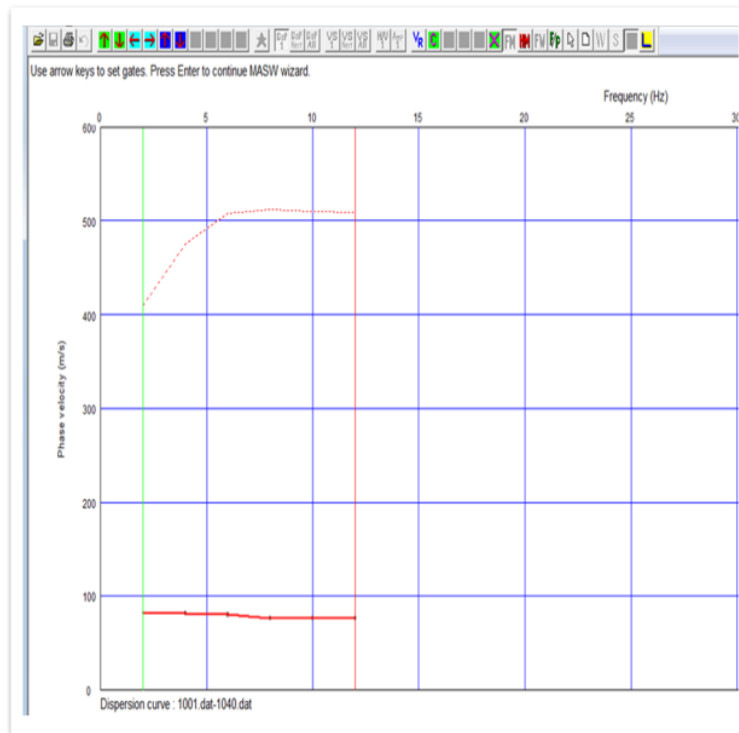
Luego se obtiene las curvas de dispersión de los datos. Ver figura 17(anexo A manual REMI figura106).

Figura 17. Curva de dispersión.



2.4.2.3 Software WaveEq. A continuación, se lanza el módulo de WaveEq y se muestran las curvas de dispersión (Se edita haciendo enter tanto al inicio como al fin de curva. (figura18) (Anexo A manual REMI figura 108).

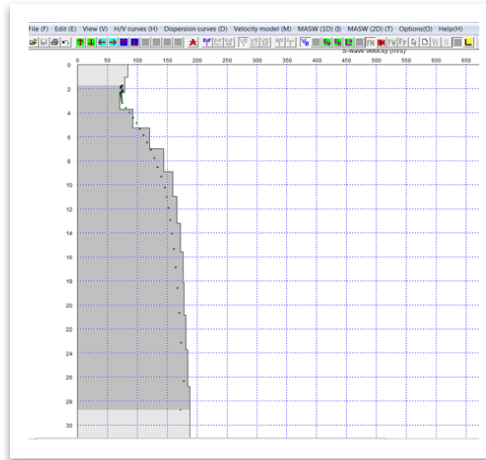
Figura 18. Curva de dispersión editada.



Luego se ajusta la profundidad máxima para el modelo inicial de la velocidad de corte ( $V_s$ ). Una buena estimación de profundidad para empezar es la longitud de la línea sísmica. Por último se establece el número de iteraciones para la inversión, el valor predeterminado es de 5 hasta 10.

A continuación se muestra un modelo final con velocidades aparentes (puntos verdes), es el mejor indicador de la profundidad real del rango de penetración. Ver figura 19 (anexo A manual REMI figura112).

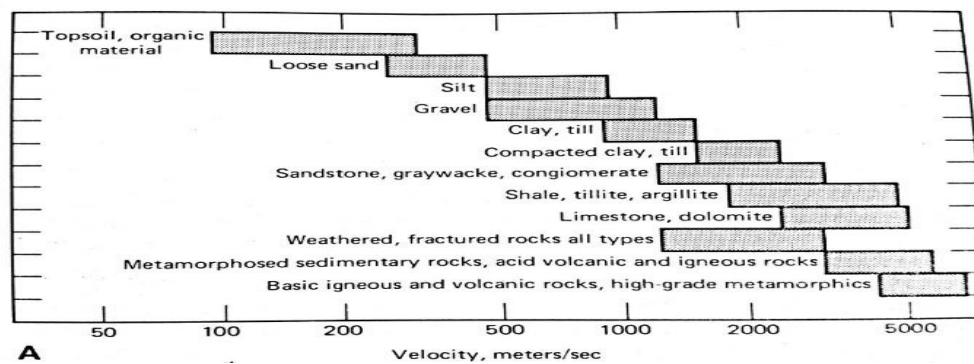
Figura 19. Perfil obtenido.



## 2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

**2.5.1 Obtención del Perfil estratigráfico a través del ensayo MASW.** Las velocidades de propagación de las ondas permiten por comparación, determinar los posibles tipos de materiales de cada estrato según pueda observarse en la figura 20<sup>2</sup>.

Figura 20. Caracterización de perfil de suelo según velocidad de onda.



Fuente: RAHN, Perry. Geología de Ingeniería un Enfoque Ambiental. EE.UU: Elsevier Science Publishing. 1986

<sup>2</sup> RAHN, Perry. Geología de Ingeniería un Enfoque Ambiental. EE.UU: Elsevier Science Publishing. 1986

De acuerdo a los resultados obtenidos del ensayo MASW y correlacionando los datos con la Figura 20, se obtiene un perfil preliminar del terreno estudiado. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Posible resultado caracterización de material de subsuelo ensayo MASW.

Estrato	Profundidad [m]	Intervalo de Velocidad [m/s]	Nombre del estrato
1	0-1	260-280	Suelo superficial
2	1-2	200-220	Arena suelta
3	2-3	240-260	Arena suelta
4	3-4	260-300	Arena suelta, limo
5	4-5	280-330	Arena suelta, limo
6	5-6	330-450	Limo, gravas
7	6-7	300-450	Limo, gravas
8	7-8	300-400	Arena suelta, limos
9	8-9	300-360	Arena suelta
10	9-10	300-330	Arena suelta

En la tabla 1, según las velocidades de onda longitudinal del primer estrato se podría decir que se trata de un suelo superficial.

El segundo y tercer estrato podrían encajar en una Arena suelta, ya que este intervalo está ubicado en este tipo de suelo.

En el cuarto y quinto estrato encontramos que según la velocidad de onda podríamos encontrar allí suelos como arena suelta y limos.

En los estratos seis y siete se podrían encontrar limos y gravas.

En el octavo estrato según intervalo de velocidad de onda podría definirse como arena suelta y limos. Por último los estratos nueve y diez podrían ser arena suelta.

**2.5.2 Obtención del Perfil estratigráfico a través del ensayo REMI.** Las velocidades de propagación de las ondas permiten por comparación, determinar

los posibles tipos de materiales que conforman un perfil estratigráfico, según se muestra en la figura 21<sup>3</sup>.

Figura 21. Caracterización de perfil de suelo según velocidad de onda de corte.

Tabla 3. Rangos de valores típicos de la velocidad de onda de corte en m/s (García, 1998).

Material	Profundidad del depósito		
	3-20 m	21-50 m	>50 m
Arena suelta saturada	60-120		
Arcilla	60-120	200-250	300-350
Limo	60-120		
Limo arcilloso	60-120	240-280	
Arcilla arenosa	100-150	250-280	
Arena fina saturada	110-150		
Arena media, uniformemente gradada	100-150	140-180	
Arena dense	160-220		
Arena arcillosa	170-220		
Arena fina limo-arcilla	190-220		
Arena arcillosa con grava	200-220		
Arcilla y arena	140-180		
Marga	220-260		

Fuente: GARCÍA, Luis Enrique. Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico [en línea]. Bogotá: Universidad de los Andes. Facultad de ingeniería. 1998. [Citado el 22 de agosto de 2017]. Disponible en <https://books.google.com.co/books?id=JFSBZwEACAAJ&dq=GARC%C3%8D>

De acuerdo con los resultados obtenidos ensayo REMI y correlacionando los datos con la figura 21, se obtiene un perfil preliminar del terreno estudiado. Ver tabla 2.

<sup>3</sup> GARCÍA, Luis Enrique. Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico [en línea]. Bogotá: Universidad de los Andes. Facultad de ingeniería. 1998. [Citado el 22 de agosto de 2017]. Disponible en <https://books.google.com.co/books?id=JFSBZwEACAAJ&dq=GARC%C3%8D>

Tabla 2. Posible resultado caracterización de material de subsuelo ensayo REMI.

Estrato	Profundidad [m]	Intervalo de Velocidad [m]	Nombre del estrato
1	0-2	75-85	Suelo superficial
2	2-4	60-75	Arena suelta, limo arcilloso, limo
3	4-5	75-98	Arena suelta, limo arcilloso, limo
4	5-7	98-125	Arcilla arenosa, arena media, uniformemente gradada
5	7-9	125-148	Arena fina, arcilla arenosa, arena media uniformemente gradada
6	9-11	148-165	Arena y arcilla
7	11-13	165-170	Arena y arcilla
8	13-16	170-175	Arena densa
9	16-18	175-177	Arena arcillosa, arena densa
10	18-21	177-180	Arena arcillosa, arena densa

En la tabla 2, según las velocidades de onda corte del primer estrato se podría decir que se trata de un suelo superficial.

El segundo y tercer estrato podría encajar en una Arena suelta, limos y limos arcillosos, ya que este intervalo se ubica en este tipo de suelo.

En el cuarto estrato encontramos que según la velocidad de onda podríamos encontrar allí suelos como arcillas arenosas, arena media uniformemente gradada.

En el estrato cinco se podría encontrar arenas finas, arcilla arenosa, arena media uniformemente gradada.

En el sexto y séptimo estrato según intervalo de velocidad de onda podría definirse como arena y arcilla. El estrato ocho se muestra como arena densa. Por último los estratos nueve y diez podrían clasificar como arena arcillosa y arena densa.

## **2.6 COMPARACIÓN DE LOS PERFILES OBTENIDOS MEDIANTE LOS ENSAYOS GEOFÍSICOS DE MASW Y REMI SÍSMICA CONTRA EL PERFIL GEOTÉCNICO RECOLECTADO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO.**

La información del perfil geotécnico del campus universitario de la Universidad Industrial de Santander cerca al sitio de los ensayos se encontró en el departamento de planeación. Este estudio Cuenta con información de las características geológicas y geotécnicas del área metropolitana de Bucaramanga realizado por Ingeominas, el terreno está localizado geológicamente sobre Miembro Limos Rojos (Qblr), está constituido por arenas arcillosas gravosas y limos arcillosos de color rojizo, amarillento y naranja<sup>4</sup>.

Además se muestra el número de sondeos realizados y a que profundidad llegaron por medio del método SPT .Ver tabla 3 (Universidad industrial de Santander,s.f.)

Tabla 3. Caracterización de perfil de suelo según el sondeo SPT.

<b>Perfil Típico Sondeo 3 (Sector sur central del edificio de Bellas Artes)</b>			
<b>Profundidad Mts</b>		<b>Suelo</b>	<b>Limitaciones Geotécnicas</b>
<b>Desde</b>	<b>Hasta</b>		
0	0.5	Capa Vegetal.	
0.5	1.50	Limo arcilloso color café oscuro.	Sueltos. No competentes para la cimentación de estructuras.
1.50	2.5	Limo arenoso color café claro.	Suelo con alguna compactación. Competentes para cimentaciones.
2.5	4.0	Arenisca color amarillo rojizo.	Competente para la cimentación de estructuras.

Fuente: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, DEPARTAMENTO DE PLANEACIÓN. Estudio Geotécnico, campus universitario. Bucaramanga.

También se consultaron estudios de otros sitios cercanos al área de estudio. Se encontró información suministrada por parte de la sección de Geomática de la

<sup>4</sup> INGEOMINAS. Zonificación sismo geotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga. Bogotá: Ingeominas. Octubre de 2001.

Universidad Industrial de Santander, del ensayo por el método SPT encontrado en la microzonificación sísmica realizado en el parque de los niños, ver tabla 4<sup>5</sup>. Para la comparación de los perfiles obtenidos mediante los ensayos MASW y REMI contra el perfil geotécnico recolectado del campus universitario.

Tabla 4. Ensayo SPT realizado en el parque de los niños

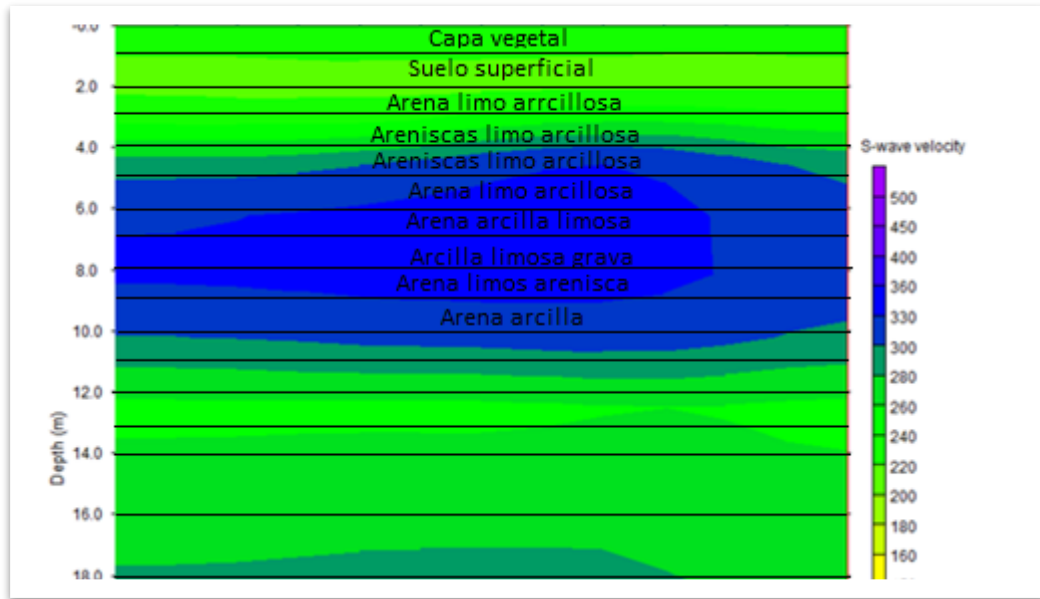
Profundidad (m)		Descripción de campo
0	0.50	Suelo orgánico limo arcilloso color marrón
0.50	3.10	Limo arcilloso color amarillo con trazas rojizas algo arenoso, con algunas gravas de arenisca cuarzosa de grano medio.
3.10	4.00	Cantos de arenisca cuarzosa de grano medio color gris claro con diaclasas, en matriz limo arcillosa color amarillo rojizo, con fragmentos de arenisca cuarzosa color gris claro.
4.00	4.30	Cantos de arenisca cuarzosa de grano medio color gris claro en matriz arcillo-arenosa color rojizo
4.30	4.40	Arena limo-arcillosa de grano fino color gris habano.
4.40	5.20	Cantos y gravas de arenisca de grano medio color crema en matriz limo-arcillosa rojizo.
5.20	5.50	Arena limo-arcillosa de grano fino color gris habano.
5.20	5.50	
5.50	6.70	Arcilla limosa color amarillo rojizo con fragmentos de arenisca cuarzosa de grano medio con diaclasas y oxidaciones, arenisca muy alterada
6.70	8.40	Arcilla limosa color amarillo con tonos rojizos con gravas y cantos de arenisca de grano medio color crema, cantos con diaclasas, algunas areniscas friables
8.40	9.50	Cantos de arenisca cuarzosa de grano medio color crema en matriz limo-arcillosa amarillo algo rojizo.
9.50	9.70	Gravas de arenisca friable grano medio color amarillo habano, algunos tonos rojizos, en matriz arcillo-limosa color amarillo.
9.70	10.20	Bloque de arenisca cuarzosa friable y cantos con diaclasas y oxidaciones color gris claro en matriz arcillo-limosa amarillo
10.20	10.30	Bloque de arenisca cuarzosa friable color gris claro de grano medio
10.30	11.45	Bloques de arenisca cuarzosa de grano medio con algunas diaclasas color gris claro en matriz arcillo limosa amarillo habano.
11.45	11.60	Arena arcillosa con fragmentos de arenisca de grano medio color café claro.
11.60	12.00	Arenisca cuarzosa alterada de grano medio a grueso en matriz arcillosa color amarillo.
12.00	12.20	Arenisca cuarzosa alterada de grano medio color crema con diaclasas oxidadas en matriz arcillo-limosa color amarillo
12.20	12.40	Bloques de arenisca cuarzosa de grano medio color habano con diaclasas oxidadas en matriz arcillo-limosa color amarillo.
12.40	12.60	Cantos de arenisca cuarzosa de grano medio color carmelito claro y gravas de arenisca cuarzosa color gris claro.
12.60	13.45	Bloques de arenisca cuarzosa de grano medio a grueso color carmelito claro en matriz arcillosa amarilla con gravas de arenisca cuarzosa gris claro
13.45	14.25	Arenisca cuarzosa de grano medio color gris claro con diaclasas, algunos tintes marrones en matriz arcillo-limosa amarillo con mica
14.25	15.50	Bloques de arenisca cuarzosa de grano medio con diaclasas color gris claro, en matriz arcillo limosa color amarillo

Fuente: Estudio de microzonificación sísmica de Bucaramanga.

Con las tablas 1, 2,3 y 4 se puede hacer una correlación para obtener los diferentes tipos de suelos que son asignados a cada estrato del perfil, dependiendo de la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) obtenido a través de los ensayos sísmicos y los sondeos SPT.

<sup>5</sup> CONCEJO DE BUCARAMANGA. Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Bucaramanga [en línea]. 2014. [Citado el 22 de agosto de 2017]. Disponible en <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/POTbucaramanga4.pdf>

Figura 19. Perfil obtenido mediante los ensayos sísmicos MASW, REMI y los sondes SPT



### 3. CONCLUSIONES

Se observó que a través de los ensayos geofísicos sísmicos MASW y REMI se puede obtener una aproximación del perfil cercano a la realidad, gracias a la velocidad de onda de corte ( $V_s$ ).

Los ensayos geofísicos sísmicos MASW y REMI, requieren el complemento de otros ensayos mecánicos con muestreo para conocer el espesor y tipo de material de cada estrato del perfil con mayor exactitud.

El método sísmico REMI es ideal para identificar capas donde no aumenta la velocidad con respecto a la profundidad. Puede detectar estratos blandos entre estratos más rígidos.

Una de las principales características de los métodos de ondas de superficiales (tanto fuente activa como pasiva) es que son ensayos no invasivos, contrariamente a lo que ocurre con las pruebas de penetración y la mayoría de las pruebas de campo y en general son una interesante alternativa para determinar la velocidad de corte ( $V_s$ ) de manera rápida y confiable.

Se realizó el registro visual del procedimiento de los ensayos MASW y REMI, donde se especifican la metodología de campo y el manejo de los programas GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER, WIZARD, PICKWIN, WAVEEQ y GEOPLOT. Se encuentra disponible en el siguiente link: <https://www.youtube.com/watch?v=pkURiEXGec8>

## BIBLIOGRAFIA

CONCEJO DE BUCARAMANGA. Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Bucaramanga [en línea]. 2014. [Citado el 22 de agosto de 2017]. Disponible en <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/POTbucaramanga4.pdf>

GARCÍA, Luis Enrique. Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico [en línea]. Bogotá: Universidad de los Andes. Facultad de ingeniería. 1998. [Citado el 22 de agosto de 2017]. Disponible en <https://books.google.com.co/books?id=JFSBZwEACAAJ&dq=GARC%C3%8D>

GEOMETRICS. Análisis de las ondas superficiales [en línea]. 2017. [Citado el 22 de agosto de 2017]. Disponible en <http://www.Geometrics.com/applications/geophysical-methods/surface-wave-analysis/>

INGEOMINAS. Zonificación sismo geotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga. Bogotá: Ingeominas. Octubre de 2001.

\_\_\_\_\_. Zonificación sismo geotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga, Mapa geológico [en línea]. Junio de 2001. [Citado el 22 de agosto de 2017]. Disponible en <https://es.scribd.com/document/298615821/Zonificacion-Geotecnica-Bucaramanga>

RAHN, Perry. Geología de Ingeniería un Enfoque Ambiental. EE.UU: Elsevier Science Publishing. 1986


RUIZ VÁZQUEZ, Mariano & GONZÁLEZ HUESCA, Silvia. Geología Aplacada a la Ingeniería Civil [en línea]. México. Limusa S.A. 2001. [Citado el 22 de agosto de

2017]. Disponible en [http://www.tematika.com/libros/ingenieria\\_tecnica\\_y\\_ciencias\\_exactas--8/ingenieria--1/resistencia\\_de\\_materiales--1/geologia\\_aplicada\\_a\\_la\\_ingenieria\\_civil--113359.htm](http://www.tematika.com/libros/ingenieria_tecnica_y_ciencias_exactas--8/ingenieria--1/resistencia_de_materiales--1/geologia_aplicada_a_la_ingenieria_civil--113359.htm)

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, DEPARTAMENTO DE PLANEACIÓN. Estudio Geotécnico, campus universitario. Bucaramanga.

## **ANEXOS**

## **ANEXO A. MANUAL ENSAYO MASW y REMI**



**MANUAL DE USO PARA LOS ENSAYOS MASW (MULTICHANNEL  
ANALYSIS OF SURFACE WAVES) Y REMI (REFRACTION  
MICROTREMORES) POR MEDIO DEL GEODE ULTRA-LIGHT  
EXPLORATION SEISMOGRAPH DE 24 CANALES**

**Y**

**MANEJO DEL PROGRAMA GEOMETRICS SEISMODULE  
CONTROLLER**

**Autor:**

**FABRISIO PEREZ SANCHEZ**

**2093184**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECANICAS**

**INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2017**

## 1. DESCRIPCION DEL EQUIPO PARA CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO A PARTIR DEL MÉTODO MASW(MULTICHANEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)) CON GEODE ULTRA-LIGHT EXPLORATION SEISMOGRAPH DE 24 CANALES

### 1.1 Geode Ultra-light Exploración Seismograph (figura 1).

Es una grabadora sísmica marca Geode utilizada en estudios de ingeniería, exploración de petróleo y monitoreo. Con ella se obtiene la profundidad de la roca madre y se puede determinar la localización de la fractura. Adecuado para la reflexión superficial, reflexión profunda, los ensayos 2-D y 3-D viene con una función de primera recolección y análisis de punto.



*Figura 1. Geode*

#### **Especificaciones:**

- **Configuraciones:** El equipo consta de 24 canales en el módulo de Geode resistente a la intemperie. Geode funciona desde cualquier portátil basado en Windows XP/7/8 o StrataVisor NZ resistente campo ordenador/sismógrafo de Geometrics.

- **Trasmisión de datos:** Utiliza una transmisión estándar de Ethernet sobre CAT5 cobre o multimodal de fibra óptica. Distancia entre cajas: CAT 5 cable de hasta 0.25 km; cable de fibra óptica de hasta 1.5 km
- **Retardo:** 0 a 100 segundos en pasos de 1 intervalo de muestreo
- **Grabación continua:** Disponible para monitorización de vibraciones
- **Canales Auxiliares:** Todos los canales Geode se pueden programar como AUX o datos
- **Prueba de línea:** El monitor de ruido en tiempo real muestra la salida del Geófono de prueba opcional, ayuda a identificar Geófonos y cables en cortocircuito o rotos

### 1.2 Geófonos (figura 2).

Se llaman geófonos a los sensores o receptores que transforman los movimientos sísmicos del suelo a señales eléctricas de características de frecuencia y amplitud análoga a la de las ondas sísmicas que son detectadas y registradas por el sismógrafo.

Cada geófono tiene un cable para conexión de un metro de longitud aproximadamente, además de terminales tipo clip para enlazarse con al cable principal que conecta a los geófonos con el GEODE.



**Figura 2. Geófonos de 4.5 Hz de frecuencia natural**

### 1.3 Unidad de control y almacenamiento.

Computadora portátil en la cual se ha instalado el sistema operativo empleado para establecer los parámetros de adquisición y almacenamiento de datos llamado

GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER (figura 3), el computador va unido al GEODE a través de un cable conector (figura 4).



**Figura 3. Geometrics  
Seismodule controller**



**Figura 4. Cable Pc - Geode**

#### 1.4 Batería (figura 5).

Se emplea un cable con terminales tipo clip (figura 6) para conectar el Geode con la fuente de energía que en este caso será la batería de 12 Voltios. Por recomendación esta conexión se hace de último lugar.



**Figura 5. Batería**



**Figura 6. Cable de batería -Geode**

### 1.5 FUENTE DE ENERGÍA SISMICA.

Consiste en una porra o martillo (de 4 a 12 kilogramos) ,sujeto a un trigger (figura 7) (se sujeta con cinta adhesiva), cuya función es el envío de una señal a la unidad de adquisición de datos, mediante el cierre o apertura del circuito entre la fuente de energía y la unidad de adquisición de datos, al momento del impacto (contra una placa rectangular metálica ubicada a unos 30 cm del geófono, entre 3 a 5 golpes por geófono), para que éste de inicio a la toma de datos (tiempo cero) y registro de las ondas sísmicas. El trigger se une al GEODE a través de un cable de extensión (figura 8).



**Figura 7. Martillo, cable Trigger.**



**Figura 8. Cable de extensión trigger**

### 1.6 CABLE PRINCIPAL DE CONEXION DE GEOFONOS-GEODE (figura 9).

Los geófonos se conectan a un cable de conexión de geófonos que a su vez está conectado al GEODE. Este cable es el que transporta las señales eléctricas transformadas por los geófonos. Además, tiene puntos de conexión eléctrica donde se conecta cada receptor a intervalos uniformes. El espaciamiento entre geófonos varía desde 1 m o mayores, Las conexiones entre los geófonos y los cables no son a prueba de agua, por lo que debe asegurarse que no se produzca un corto circuito por causas externas como césped húmedo, lluvia, entre otros.



**Figura 9. Cable principal conexión de geófonos**

## **2. DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA DE APLICACIÓN DEL ENSAYO PARA CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO A PARTIR DEL MÉTODO MASW) CON GEODE ULTRA-LIGHT EXPLORATION SEISMOGRAPH DE 24 CANALES.**

### **2.1 LOCALIZACION DE LA LINEA SISMICA (MASW).**

Identificar con la ayuda de un plano, o puntos GPS, el punto de inicio y fin de la línea sísmica (figura10). La localización de la línea sísmica será determinada por la topografía. En otras ocasiones, la localización será dependiente de la ubicación de perforaciones realizadas previamente a la realización de la inspección por el ensayo MASW y que, por lo general, se ubican en sectores donde se tiene proyectada la construcción una estructura determinada.



*Figura 10. Línea sísmica*

### **2.2 DEFINICION DE LONGITUD DE LINEA.**

Establecer la longitud de la línea sísmica teniendo en cuenta el número de geófonos y el espaciamiento entre ellos, en este caso se utilizan 24 geófonos a 1metro de separación.

### **2.3 DEFINICION DE ESPACIAMIENTO DE GEOFONOS.**

Se cuenta con dos cables principales de 12 conexiones cada uno, tiene marcaciones numéricas que indican el orden de la conexión de cada geófono, para definir la separación es importante tratar de no proponer líneas que den separaciones con decimales debido a que la precisión para ubicarlo puede ser menor (tabla 1).

Longitud de línea [m]	11,5	23	34,5	46	57,6	69	80,5	92	103,5	115	126,5	138	149,5	161	172,5	184	195,5	207	218,5	230
Separación de geófonos [m]	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10

**Tabla 1. Longitud de línea [m] Vs Separación de geófonos [m]**

#### 2.4 COLOCACION DE GEOFONOS DE 4.5 HZ (figura 11).

Se colocan a la distancia seleccionada (1 metro).



**Figura 11. Colocación de geófonos**

#### 2.5 ELABORACION DE LISTADO DE GEOFONOS (figura 12).

En el listado se deberá registrar el número del geófono y la posición, teniendo en cuenta en que ocasiones se deben desplazar.



**Figura 12. Lista de Geófonos**

## 2.6 COLOCACION DE LOS CABLES PRINCIPALES Y CONEXIONES DE LOS GEOFONOS A ESTE (figura 13).

Se extienden los cables sobre la línea de trabajo, teniendo en cuenta que deben quedar a un solo costado de la línea de manera que éste quede bien enrollado y ordenado entre cada conexión.



*Figura 13. Conexión cable principal geófonos*

## 2.7 REALIZAR LAS RESPECTIVAS CONEXIONES DEL GEODE – COMPUTADOR, CABLE PRINCIPAL DE CONEXIÓN DE GEOFONOS, TRIGGER, BATERIA.

Una vez realizada las conexiones correctamente (figura 14-15), encender el computador y el GEODE, Como recomendación el último cable que debe conectarse es el GEODE-batería.



*Figura 14. Geode conexiones*



**Figura 15. Geode conexiones**

**2.8 ADQUISICION DE DATOS DEL ENSAYO MASW.**

Se configura el software GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER para la realización del ensayo MASW y posteriormente la toma de datos la cual consiste en golpear 5 veces la platina ubicada a 30 cm del geófonos, esto se hace para obtener la mayor cantidad de datos, se repite este proceso 24 veces que equivalen al número de geófonos usados (figura 16).



**Figura 16. Toma de datos**

### 3. CONFIGURACION DEL ENSAYO MASW PARA LA CARACTERIZACION DEL SUBSUELO UTILIZANDO EL PROGRAMA GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER.

A través del programa GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER se adquieren los datos del tiempo que demora en llegar la onda a cada geófono. Las ondas superficiales son dispersivas, poseen diferentes frecuencias, velocidades. Las velocidades de fase, de onda de superficie, las velocidades de diferentes frecuencias, son características útiles para la velocidad de onda de corte, gracias a su alta amplitud se hace posible de medir. Se generan por las fuentes activas (golpeo de la placa metálica con el martillo) y fuentes pasivas (vibraciones del ambiente).

Se configura el software según el tipo de ensayo, Refracción, MASW 1D, MASW 2D, REMI (figura 17).

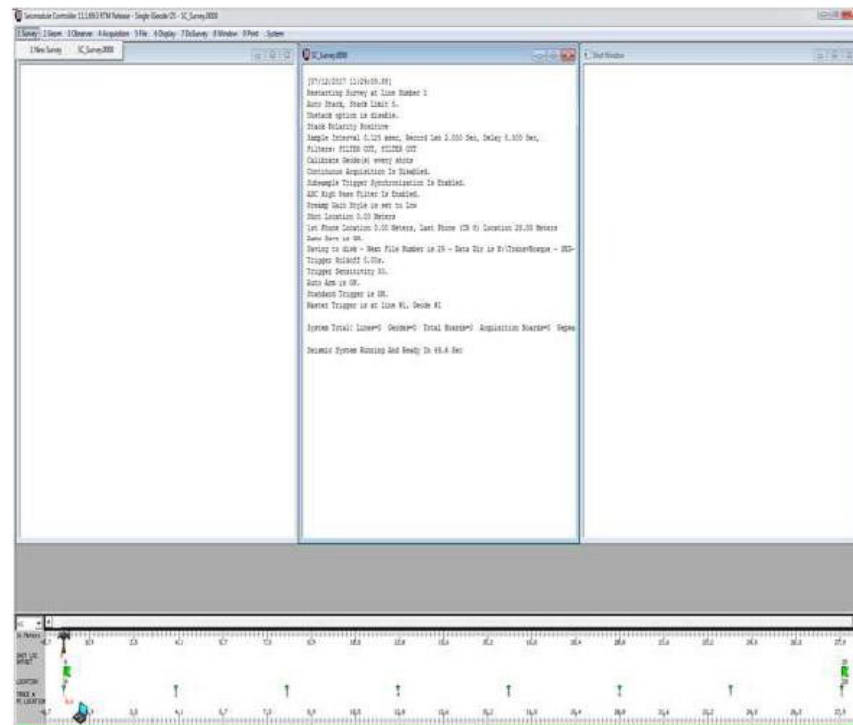


Figura 17. Interfaz del programa Geometrics SeisModule Controller

### **3.1 HACER TEST DE BATERIA.**

Se comprueba si la batería se encuentra en buen estado o con cargada para la realización del ensayo.

### **3.2 ENCENDER EL GEODE.**

Se enciende en el botón rojo al costado (figura 18).



*Figura 18. Botón de encendido*

### **3.3 INICIAR EL PROGRAMA GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER.**

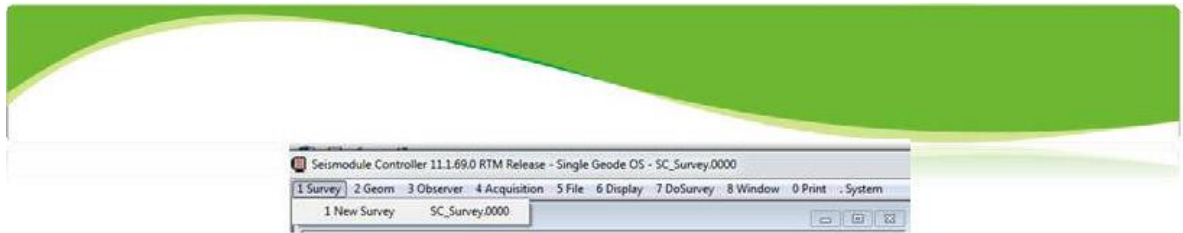
Una vez se inicia el software, haciendo clic en el icono (figura 19), éste realiza un reconocimiento del equipo y los elementos dispuestos para el ensayo.



*Figura 19. Icono de Seismodule Controller*

### **3.4 REALIZAR ENSAYO.**

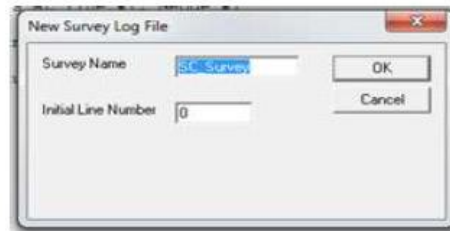
Se dirige a la barra de menú y se selecciona survey, luego la opción new survey (figura 20).



**Figura 20. Nuevo proyecto**

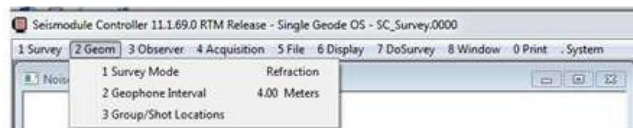
### 3.5 NOMBRE DEL ENSAYO.

En el cuadro de dialogo que aparece se ingresa el nombre del ensayo, numero de línea inicial y la etiqueta con que se guardara el archivo (figura 21).



**Figura 21. Nombre del ensayo**

### 3.6 MENU DE GEOMETRIA (figura 22).

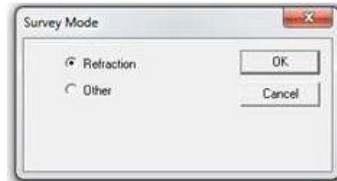


**Figura 22. Geometría**



### 3.7 EN SURVEY MODE (Figura 23).

Se selecciona refraction.



**Figura 23. Refracción**

### 3.8 SE PROSIGUE CON GEOPHONE INTERVAL (figura 24).

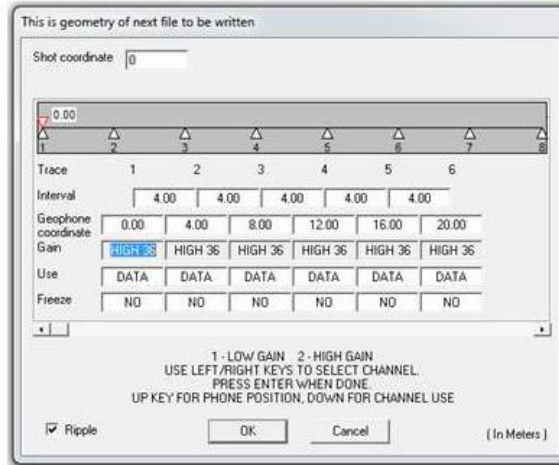
Este valor corresponde a la distancia entre geófonos con su respectiva unidad de medida.



**Figura 24. Distancia entre geófonos**

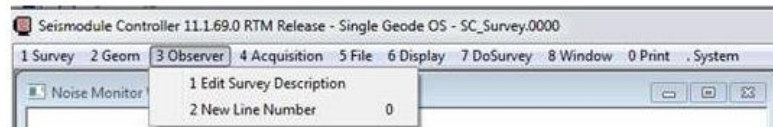
### 3.9 EN LA OPCION GROUP/SHOT LOCATIONS (figura 25).

En este caso se ingresa la coordenada el martillo de golpeo (shot coordinate). Se muestra el intervalo de geófono en el cuadro de diálogo. Puede usarse el valor por defecto de tiro.



**Figura 25. Coordenada de golpeo**

**3.10 PROCEMOS CON EL MENÚ OBSERVER (figura 26).**



**Figura 26. Menú observer**

**3.11 SE ELIJE LA OPCION EDIT SURVEY DESCRIPTION (figura 27).**

Describe el tipo de ensayo, se incluye la información de la empresa, ubicación, etc.



**Figura 27. Descripción del ensayo**

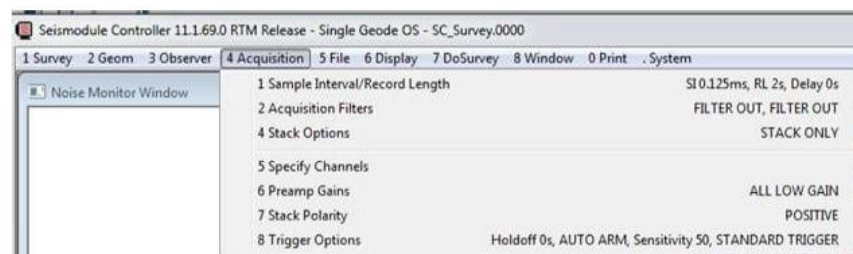
**3.12 LA OPCION NEW LINE NUMBER (figura 28).**

Se usa únicamente cuando se realizan varias líneas del mismo tipo de ensayo en un solo lugar.



**Figura 28. Nueva línea**

**3.13 SE PROSIGUE CON EL MENU ACQUISITION (figura 29).**



**Figura 29. Menú Acquisition**

### 3.14 APARECE SAMPLE INTERVAL/RECORD LENGTH (figura 30).

La configuración de esta ventana permite diferenciar los ensayos. Para el ensayo MASW los parámetros a configurar son los siguientes:

- **Sample Interval:** puede oscilar entre 0.25 ms y 1 ms .Se puede establecer como 0.25 o 0.5 ms.
- **Record Len:** determina el tiempo que dura la grabación del archivo, para el ensayo MASW se toma máximo 1 sec.
- **Delay:** es el tiempo de retraso que tendrían los geófonos para empezar a grabar. Preferiblemente este parámetro debe estar en cero.

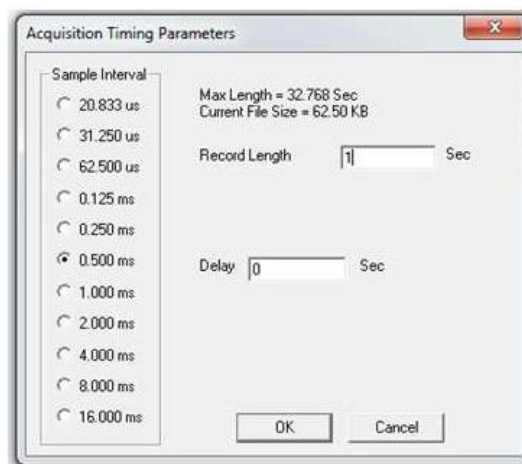


Figura 30. Tiempo de toma de datos

### 3.15 SE CONTINUA CON ACQUISITION FILTERS (figura31).

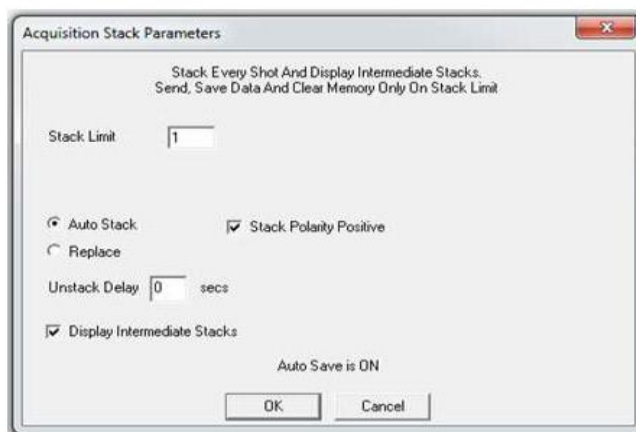
Es recomendable dejar por defecto como Filter Out.



Figura 31. Acquisition filter

### 3.16 EL SIGUIENTE PARAMETRO ES STACK OPTIONS (figura 32).

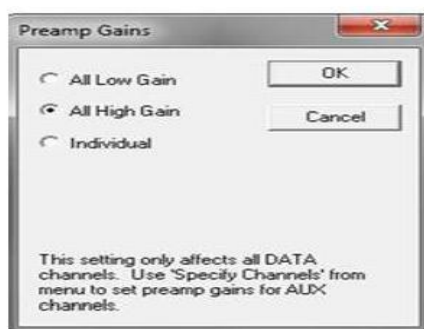
En esta ventana se puede establecer el número de golpes que se deben ejecutar con el martillo o el número de veces que se debe hacer una toma de datos manualmente para generar un archivo, se establece como posible valor para Stack Limit 1 o 2. Los demás parámetros se dejan por defecto como aparecen.



**Figura 32. Número de golpes**

### 3.17 SE CONTINUA CON PREAM GAINS (figura 33).

Hace referencia a la ganancia en la amplitud que tendrá cada geófono al recolectar información. En este caso elegimos "All Low Gain", alta ganancia.



**Figura 33. Ganancia de amplitud**

3.18 SE PASA AL MENU FILE (figura 34).

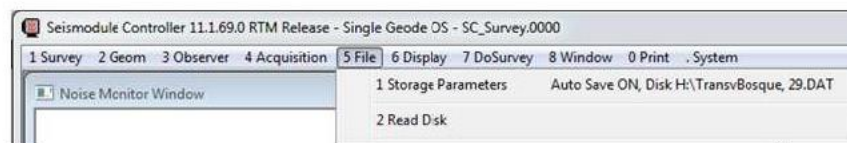


Figura 34. Menú file

3.19 EN STORAGE PARAMETERS (figura 35).

En esta ventana se revisa el nombre numérico asignado para guardar el archivo y el número de golpes o aperturas manuales que generan un archivo (número de golpes por geófono a una distancia de 30 cm). Además configura donde se guardara un archivo.

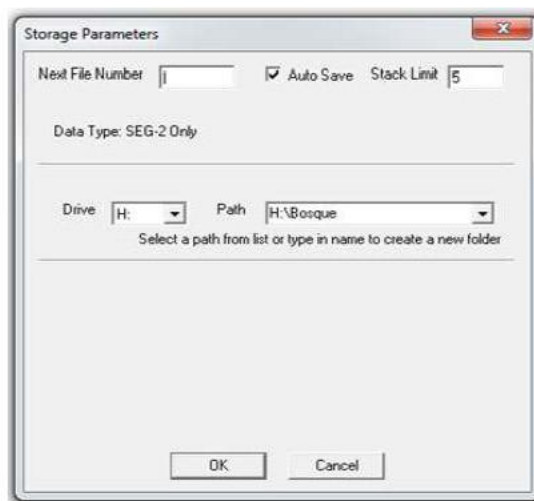
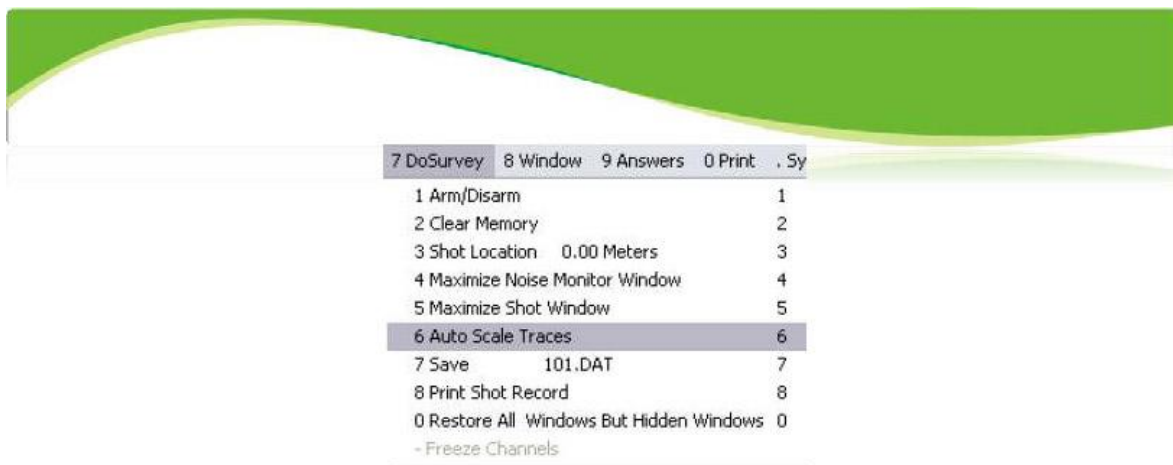


Figura 35. Información del archivo

3.20 EN EL MENU DOSURVEY (figura 36).

Para ajustar la ganancia de la pantalla o visualizar mejor los datos obtenidos por los geófonos, seleccione Auto Scale Traces o pulse la tecla de acceso directo 6.



**Figura 36. Menú Dosurvey**

### 3.21 PASAMOS AL MENÚ WINDOW (figura 37)

Activar los controles de ganancia de la pantalla



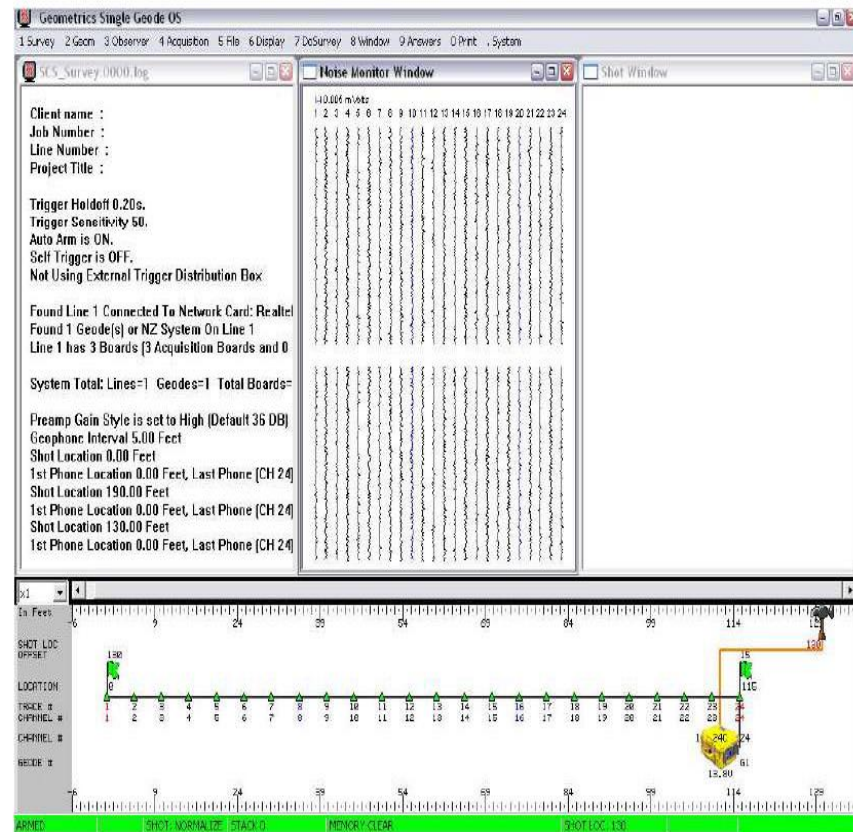
**Figura 37. Ajuste de ganancia**

Una vez completada la instalación, usted está listo para comenzar la recopilación de datos. A continuación se muestra en la ventana principal de GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER (figura 38) el número de huellas en la ventana de Monitor de ruido, esta coincide con el número de canales en el sismógrafo, muestra de 24 canales.



Para solicitarle al equipo que empiece una captura manual de los datos nos vamos al menú ACQUISITION y seleccionamos TRIGGER OPTIONS, dar clic en OK, para que el equipo interprete que se va a realizar captura manual de información.

Luego se presiona la tecla "t" (este es un acceso rápido a la opción manual Trigger del menú System, con esto el equipo empieza a tomar datos manualmente), se debe repetir el proceso anterior para cada archivo a generar.



**Figura 38. Interfaz del programa Geometrics Seismodule Controller**

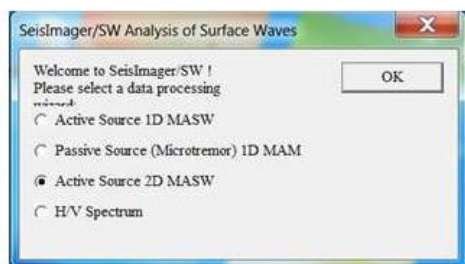
#### 4. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DEL ENSAYO MASW PARA LA CARACTERIZACION DEL SUBSUELO, UTILIZANDO LOS SOFTWARE SURFACE WAVE ANALYSIS WIZARD, PICKWIN ,WAVEEQ y GEOPLOT.

4.1 Haga doble clic en el icono de asistente de análisis de onda de superficie (figura 39)



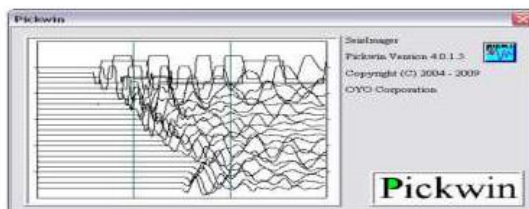
**Figura 39. Icono de wizard**

4.2 Aparece la bienvenida al cuadro de diálogo SeisImager/SW (figura 40). Seleccione la fuente activa 2D MASW y haga clic en Aceptar.



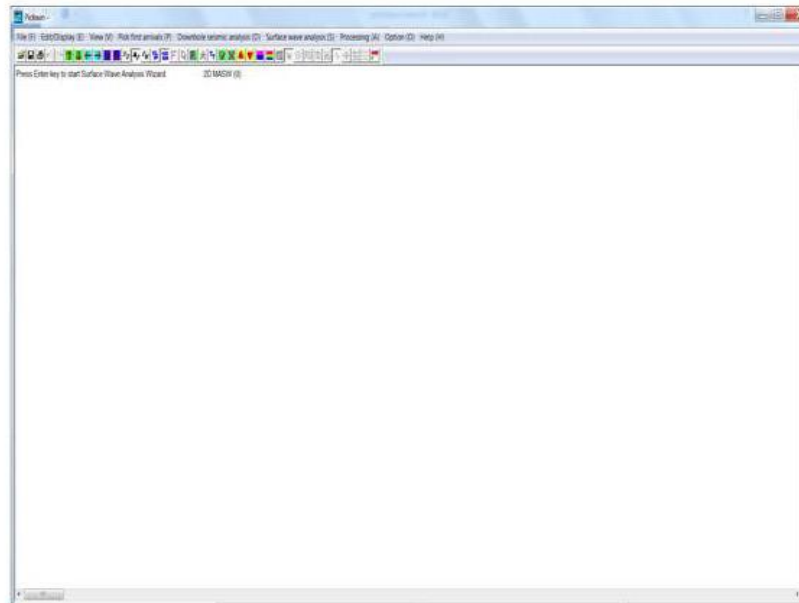
**Figura 40. Cuadro de dialogo SeisImager/sw**

4.3 Aparece el módulo Pickwin (figura 41).



**Figura 41. Pickwin**

4.4 Aparece la ventana principal de Pickwin (figura 42). Presione la tecla Enter como se indica en la esquina superior izquierda de la ventana para comenzar.



**Figura 42. Interfaz Pickwin**

4.5 En el primer paso se introduce el archivo de datos de fuente activa obtenido del programa GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER (figura 43). Todos los archivos de conjunto de datos se introducen una sola vez. Esto se hace haciendo una nueva lista de archivo. Seleccione Sí, hacer lista de archivos nuevos.



**Figura 43. Hacer lista de archivos**

4.6 Seleccionamos el conjunto de datos y haga clic en abrir (figura 44).

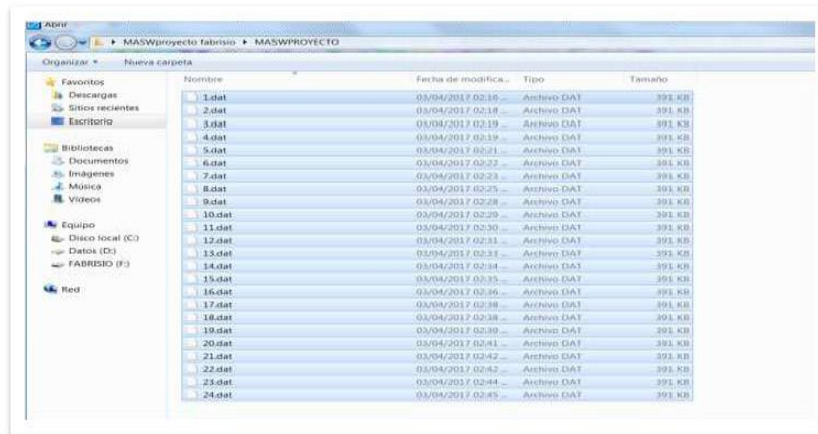


Figura 44. Lista de datos

4.7 Una vez abiertos los archivos seleccionados, haga clic en Aceptar (figura 45).

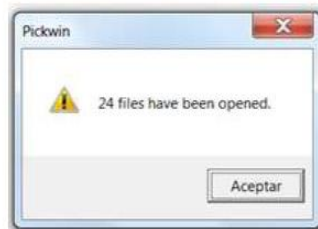
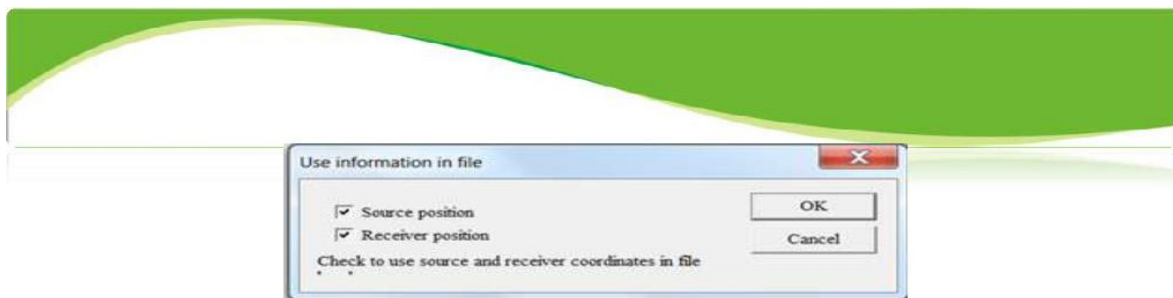


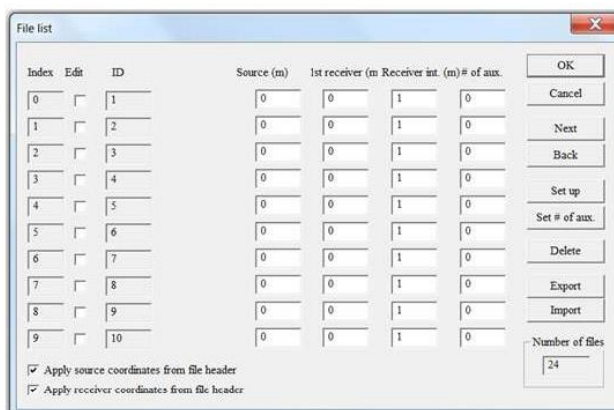
Figura 45. Número de datos

4.8 Se selecciona la posición de la fuente y el receptor (figura 46) para aplicar la información del encabezado en la geometría Haga clic en aceptar cuando termine.



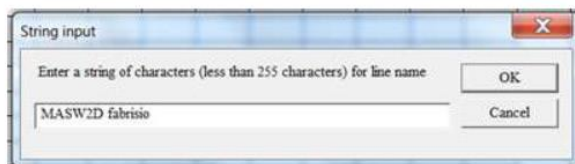
**Figura 46. Posición de fuente y receptor**

4.9 Se controlará las coordenadas del receptor (figura 47), haga clic en aceptar a continuación.



**Figura 47. Coordenadas**

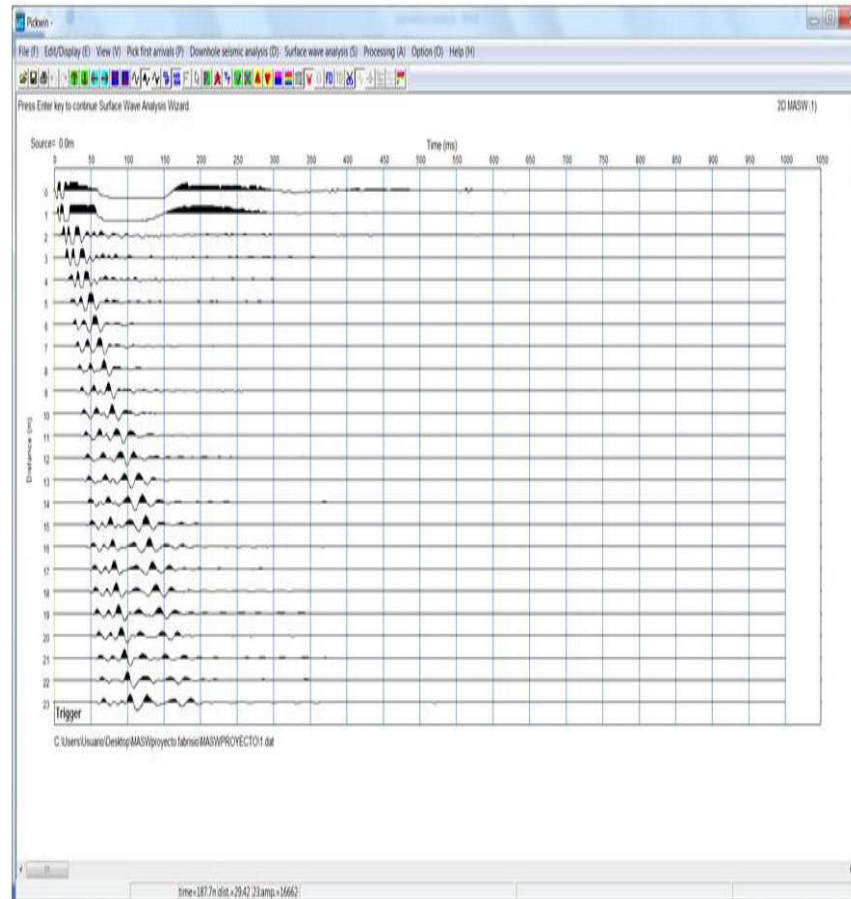
4.10 A continuación, asignar la lista de archivos una única etiqueta de caracteres (figura 48).



**Figura 48. Nombre del archivo**

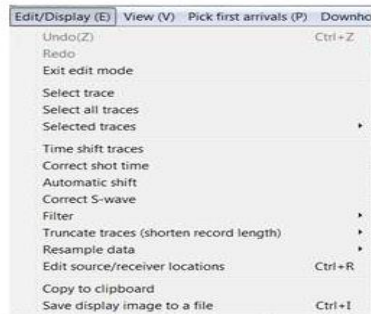


4.11 Los archivos se muestran en forma de onda (figura 49).



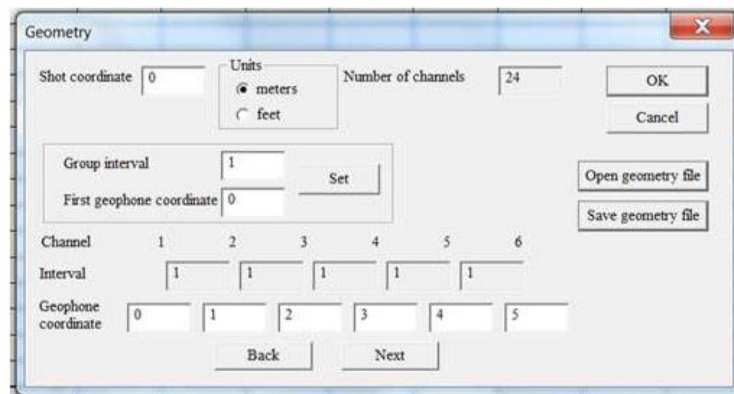
**Figura 49. Forma de onda**

4.12 Si las etiquetas de unidad aparecidas son incorrecta, seleccione, *Edit/Display* menu, *Edit source/receiver locations* (figura 50).



**Figura 50. Etiquetas de unidad**

4.13 La geometría del cuadro de diálogo aparece y las unidades de configuración permite seleccionar entre pies y metros (figura 51). Las unidades de ajuste afectará a las etiquetas de unidad, se muestra en los cuadros de diálogo como actualizan el valor de predeterminado de velocidad de fase mínima, que es 35 m/s o 150 ft/s, Haga clic en Aceptar cuando termine.



**Figura 51. Geometría**

4.14 Las funciones principales necesitadas son los botones de amplitud de onda



, la escala Horizontal, botones



y el botón Normalize,



utilice, , (figura 52).

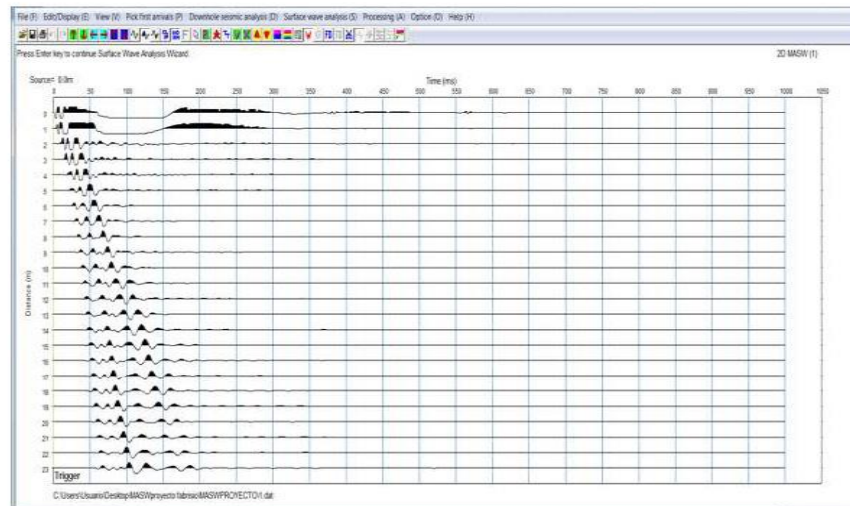


Figura 52. Forma de onda

4.15 Se presiona la tecla Enter para continuar, Haga clic en sí cuando esté listo para proceder con el cálculo y asignación de la geometría (figura 53).

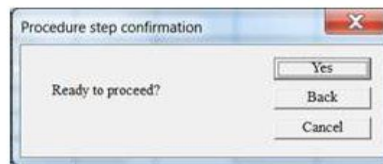
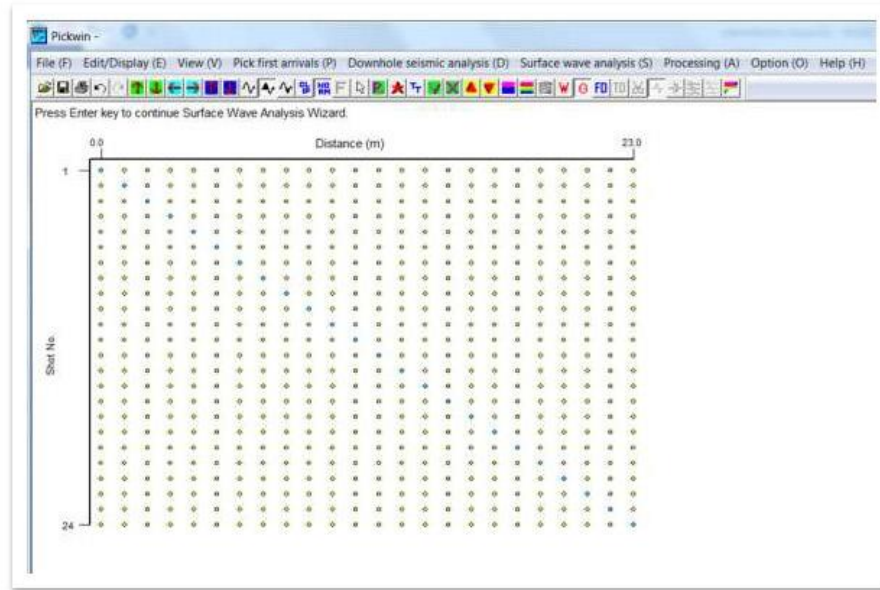


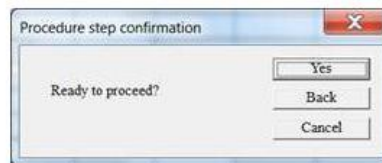
Figura 53. Menú proceder

4.16 Se muestra un diagrama de la geometría. Presione la tecla Enter para continuar (figura 54).



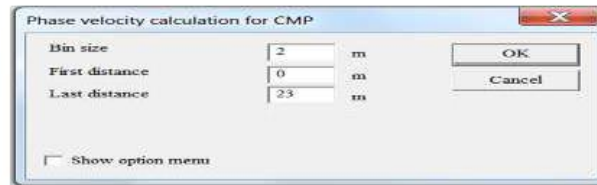
**Figura 54. Diagrama de la geometría**

4.17 Presione la tecla Enter para continuar, Haga clic en sí cuando esté listo para proceder (figura 55).

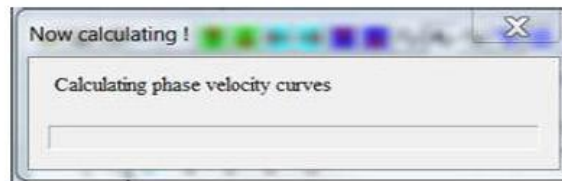


**Figura 55. Menú proceder**

**4.18** A continuación, calcular las ondas de la correlación cruzada CMP (figura 56). La primera y la última distancia, se toman de las coordenadas del receptor de extensión y el tamaño del Bin es calculada automáticamente como dos veces el intervalo receptor. Se recomienda el valor predeterminado de tamaño de Bin. Haga clic en Aceptar cuando termine (figura 57).

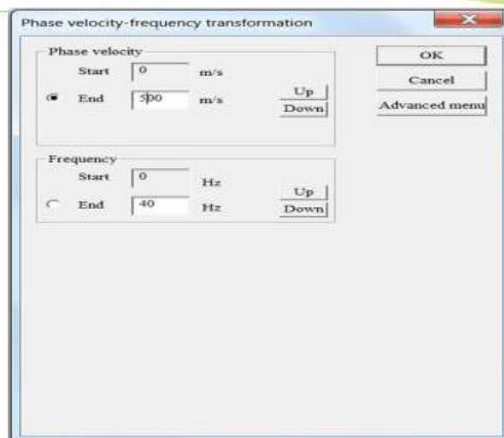


**Figura 56. Correlación CPM**



**Figura 57. Calculando**

**4.19** A continuación, configure los parámetros para el cálculo de la velocidad de la fase de las ondas de la correlación cruzada CMP, el valor predeterminado de frecuencia final satisfará la mayoría de los casos. Haga clic en Aceptar cuando termine (figura 58).



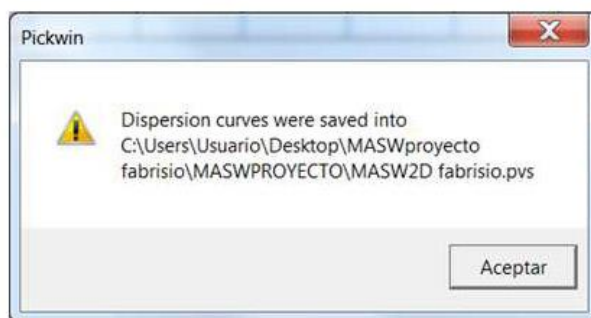
**Figura 58. Parámetros de velocidad**

**4.20** A continuación, configure los parámetros para escoger las amplitudes máxima, que definen la curva de dispersión, El valor predeterminado de la frecuencia mínima es de 5 Hz suponiendo que fueron utilizados geófonos de 4,5 Hz (figura 59). Haga clic en aceptar.



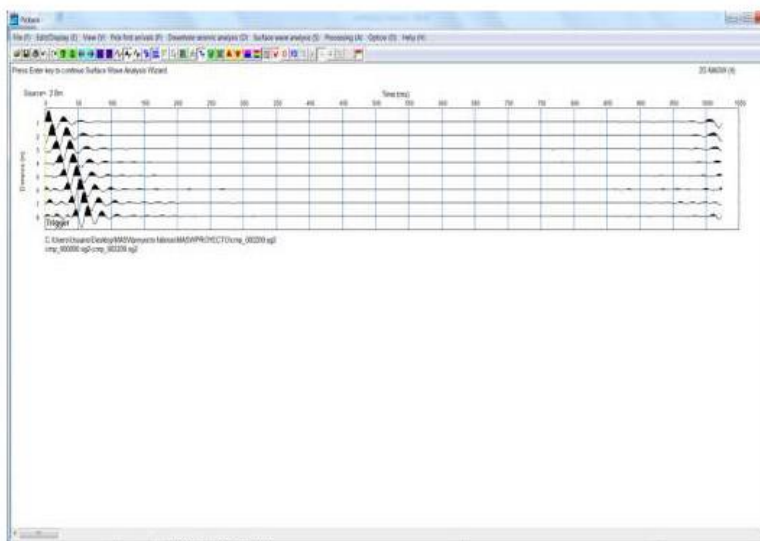
**Figura 59. Parámetros de amplitudes máximas**

4.21 Una vez que el cálculo de la velocidad de la fase y la selección de curvas de dispersión está completa, se guardan automáticamente como un archivo de .pvs, Haga clic en ok (figura 60).



**Figura 60. Guardar archivo**

4.22 Aparece la primera onda de la correlación cruzada CMP (figura 61).

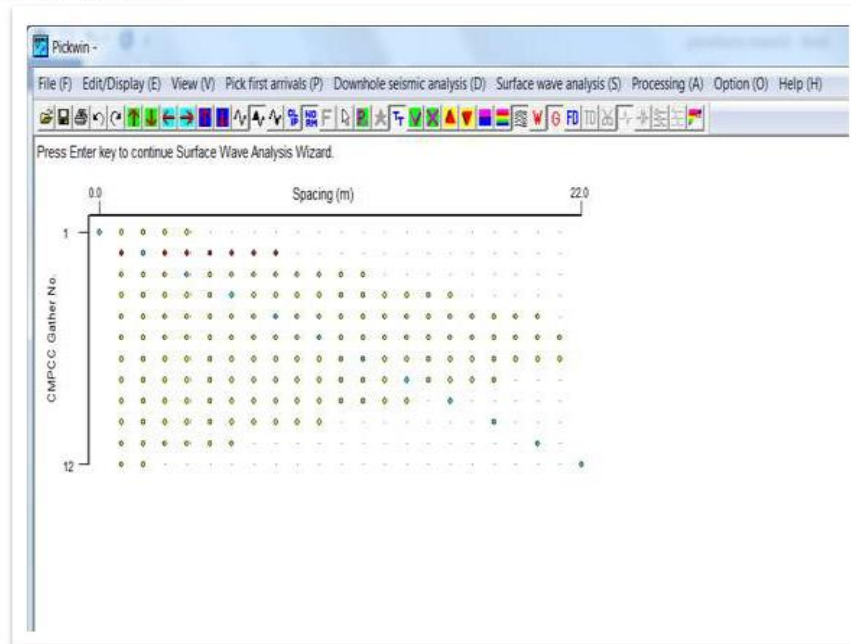


**Figura 61. Onda de la correlación**


4.23 Para mostrar un archivo con una geometría específica, haga clic en el botón

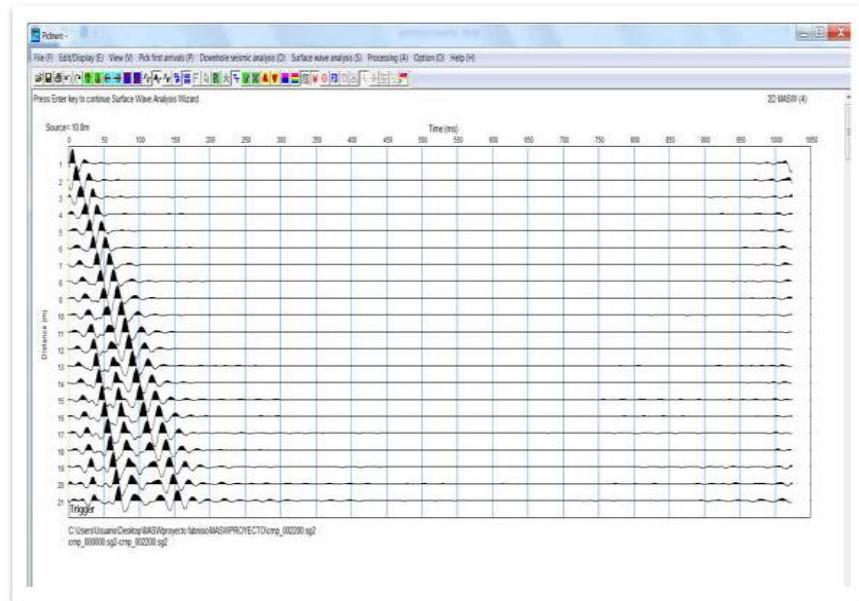


para alternar a la vista (figura 62). La vista de forma de onda se resultada en rojo.



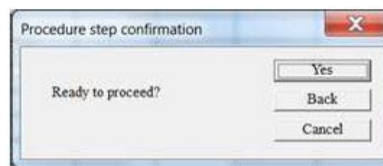
**Figura 62. Geometría de un archivo**

4.24 Alternar la vista haciendo clic en el botón  de forma de la onda para visualizarla (figura 63).




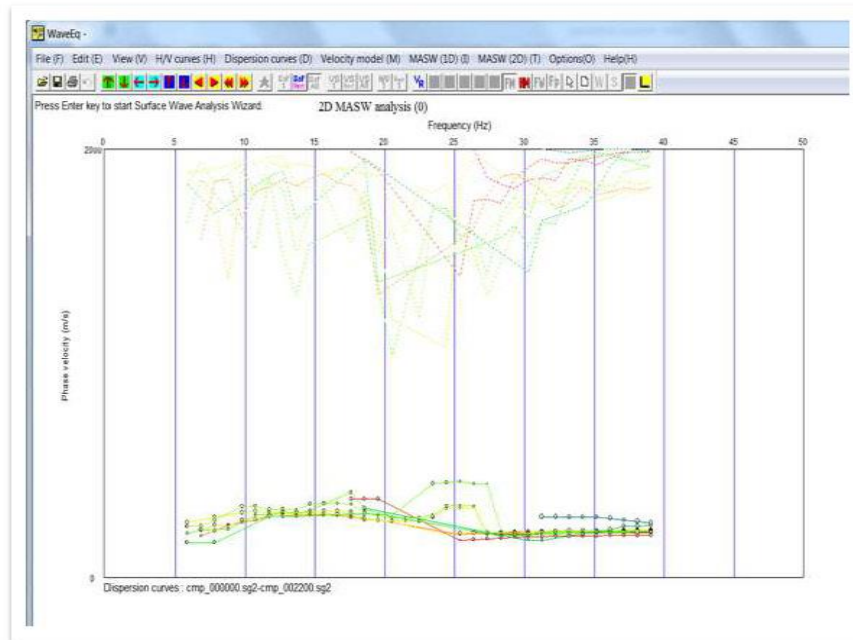
**Figura 63. Forma de onda**

4.25 Cuando termine, presione la tecla Enter para continuar, haga clic en sí cuando esté listo para proceder. (Figura 64).



**Figura 64. Menú proceder**

4.26 A continuación, se lanza el módulo de WaveEq  y se muestran las curvas de dispersión (figura 65).



**Figura 65. Curva de dispersión.**

4.27 Si las escalas trazadas necesitan ajuste, seleccione el menú *View, Axis configuration* (figura 66).



Figura 66. Ajuste de escala.

4.28 Introduzca los valores deseados para la escala del eje y, eje x y el intervalo, haga clic en Aceptar cuando termine (figura 67).

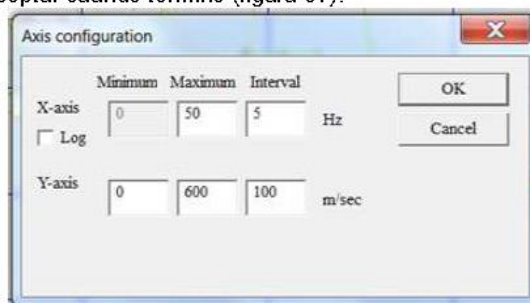
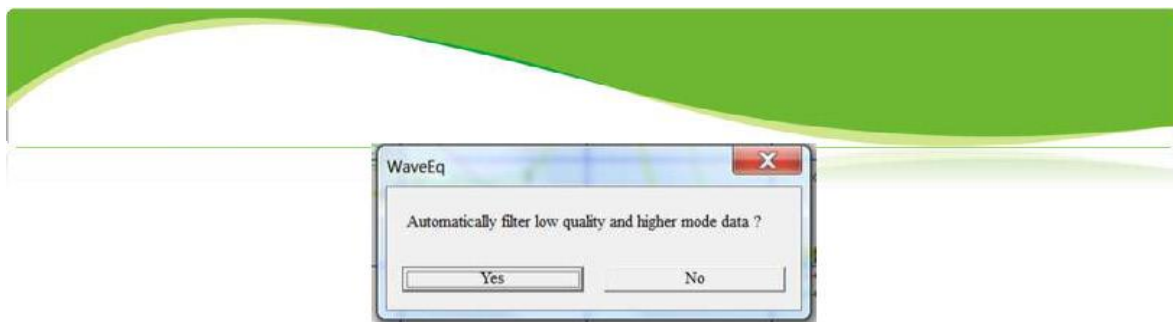


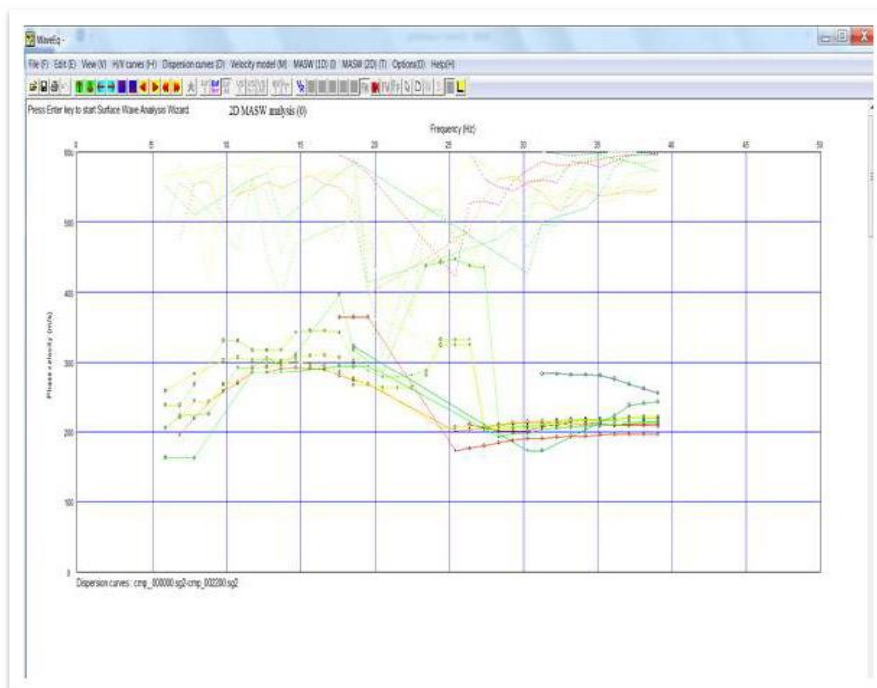
Figura 67. Ejes e intervalo

4.29 Presione la tecla Enter para continuar. Siguiendo, hay una serie de curva de dispersión de tres funciones para eliminar la baja calidad de edición, Seleccione Sí (figura 68).



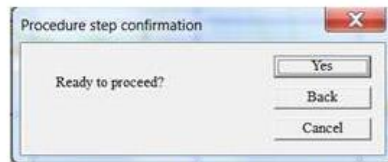
**Figura 68. Baja calidad y más datos en modo de filtro automáticamente**

4.30 Se muestran las curvas de dispersión editadas. Presione la tecla Enter para continuar (figura 69).



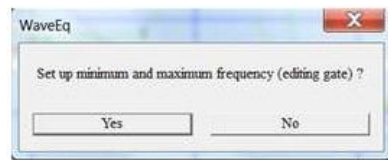
**Figura 69. Curva de dispersión editada**

4.31 Haga clic en sí cuando esté listo para proceder (figura 70).



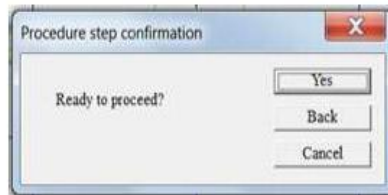
**Figura 70. Menú proceder**

Seleccione Sí continuar (figura 71).



**Figura 71. Continuar**

Haga clic en sí cuando esté listo para proceder (figura 72).



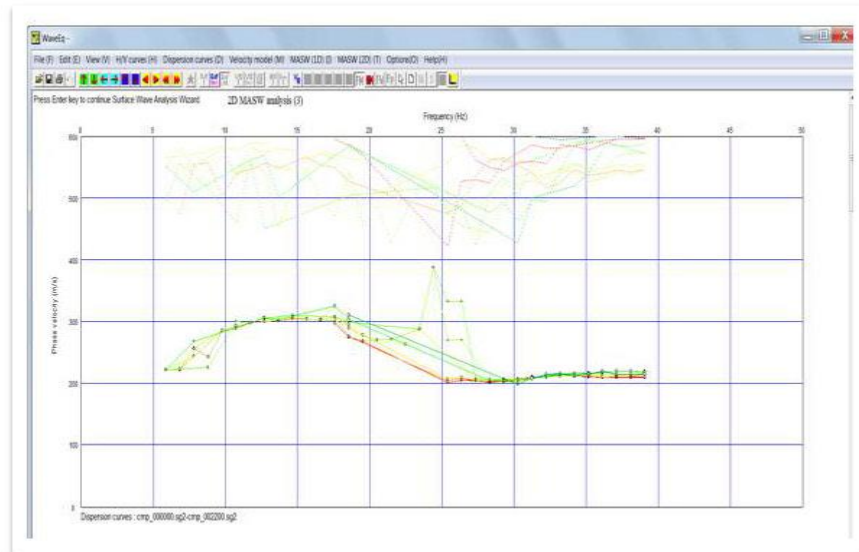
**Figura 72. Menú proceder**

Seleccione Sí (figura 73).



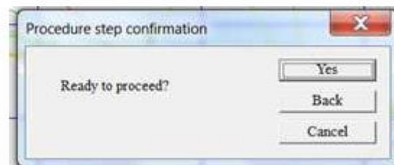
**Figura 73. Datos automáticamente**

4.32 Se muestran las curvas de dispersión editada (figura 74).



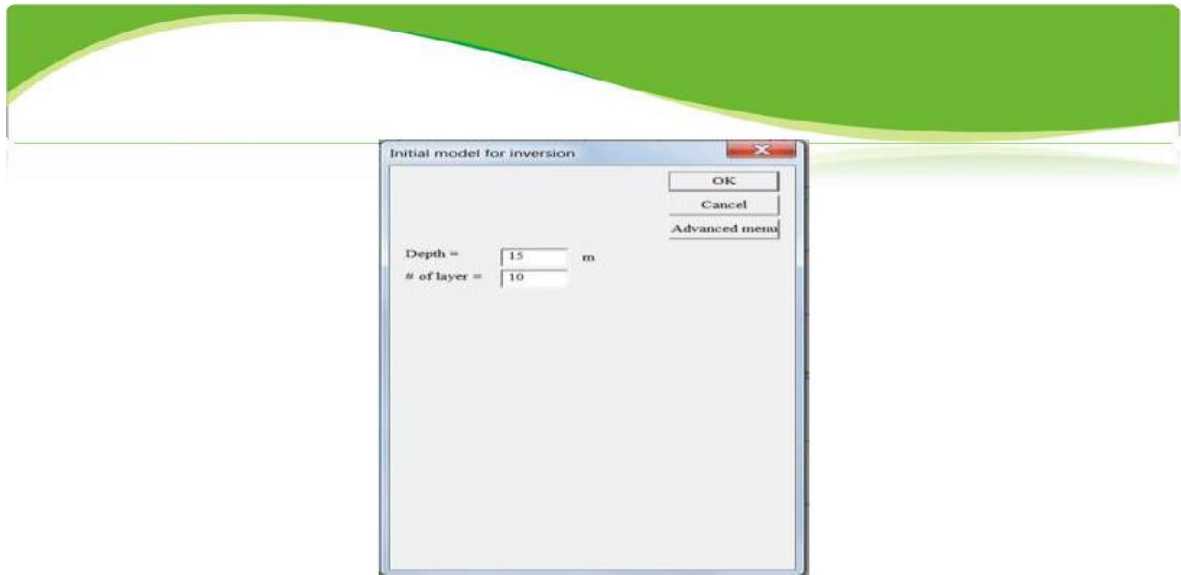
**Figura 74. Curva de dispersión editada**

4.33 Este es el último paso de edición. Presione la tecla Enter para continuar, haga clic en sí cuando esté listo para proceder (Figura 75).



**Figura 75. Menú proceder**

4.34 A continuación, configurar los modelos iniciales de Vs con profundidad. El valor predeterminado para el número de capas de es conveniente para la mayoría de los casos, el valor de profundidad es la mitad de la longitud de propagación aproximadamente. Haga clic en Aceptar cuando termine (figura 76).



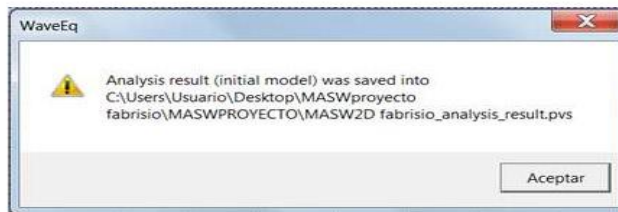
**Figura 76. Profundidad y capas**

Una vez calculado el modelo transversal inicial, se informa el número de curvas utilizadas, haga clic en Aceptar (figura 77).



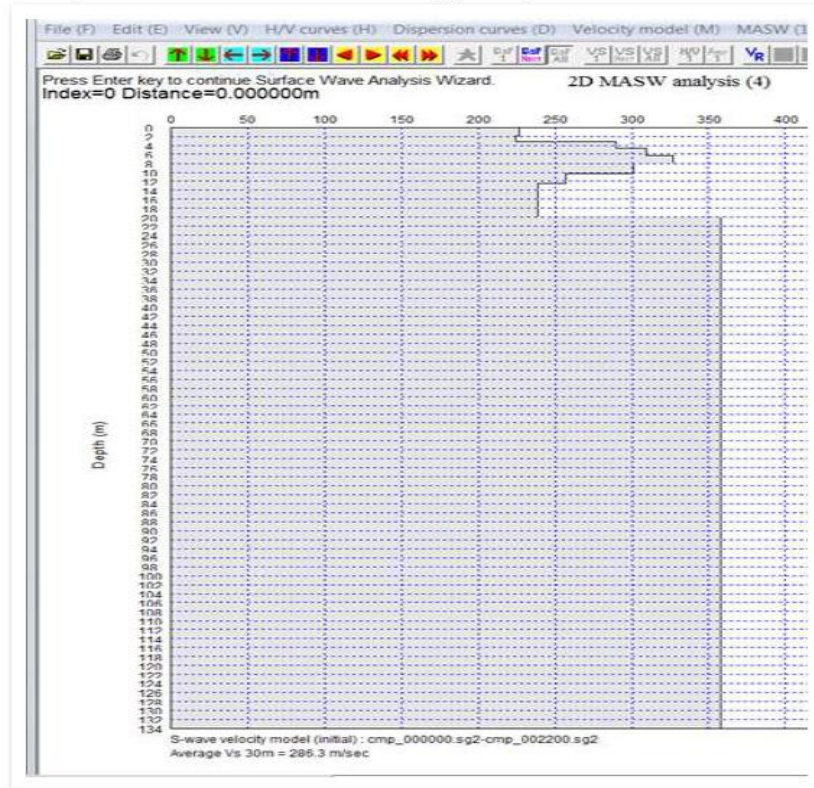
**Figura 77. Número de curvas.**

El archivo del modelo inicial se guarda automáticamente, haga clic en aceptar (figura 78).



**Figura 78. Guardar modelo**

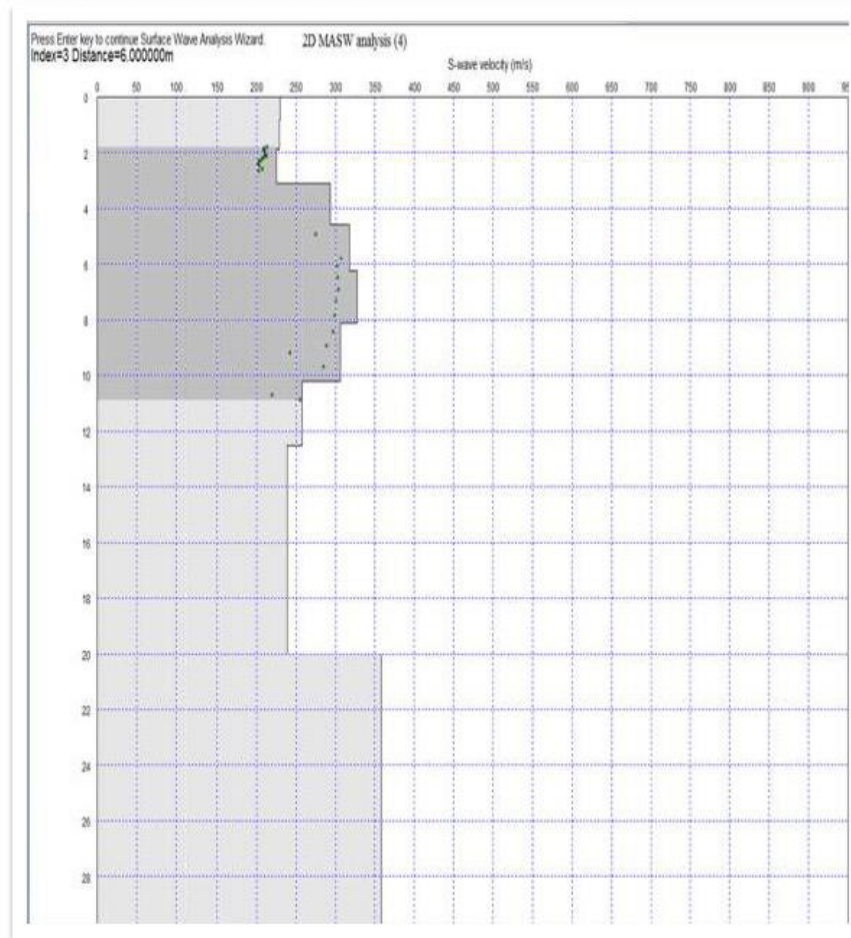
4.35 El primero modelo inicial se muestra (figura 79).



**Figura 79. Modelo inicial.**

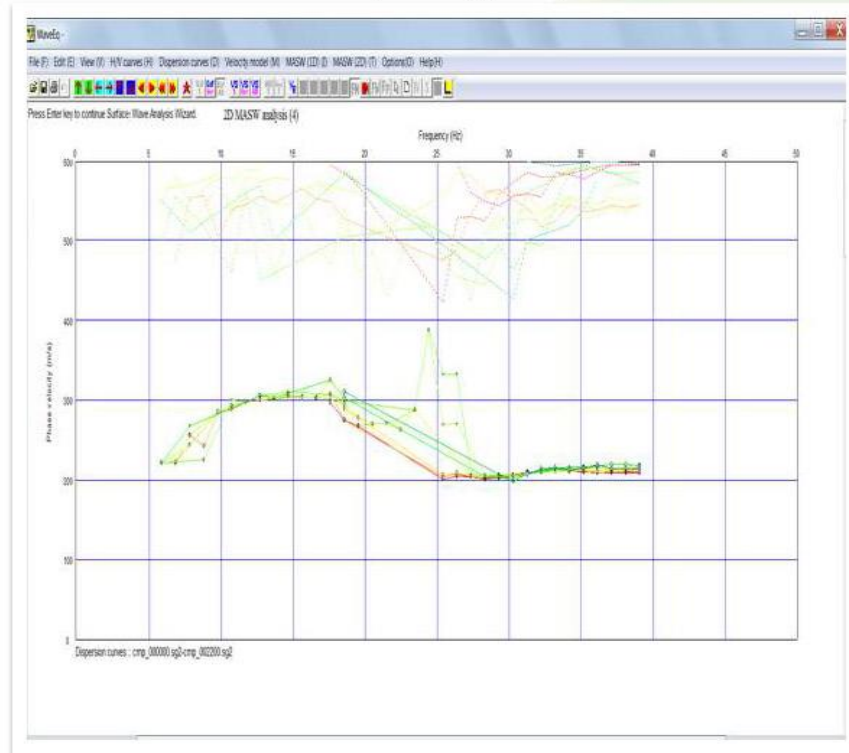


**4.37** Haga clic en el botón Mostrar velocidad aparente del modelo aproximación (puntos verdes), es el mejor indicador de la profundidad real del rango de penetración (figura 81).



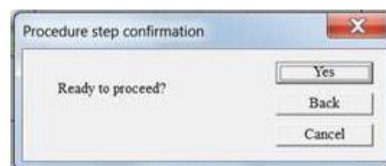
**Figura 81. Velocidad aparente**

4.38 visualización de la curva de dispersión (figura 82).



**Figura 82. Curva de dispersión**

Haga clic en sí, cuando esté listo para proceder (figura 83).



**Figura 83. Menú proceder**

Seleccione si: mostrar el modelo inicial para mostrar el modelo transversal inicial en GeoPlot (figura 84).



**Figura 84. Hacer inversión**

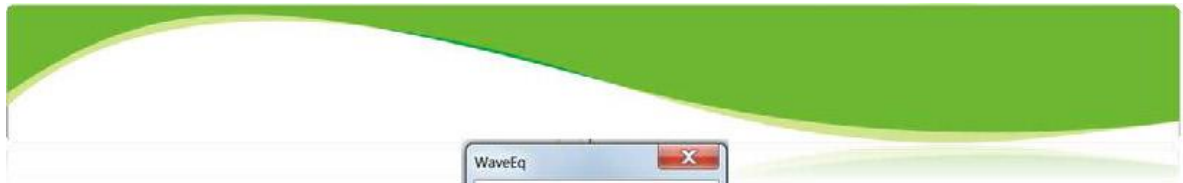


**4.39** El módulo GeoPlot se lanza, haga clic en Aceptar. Sirve para ver la sección transversal inicial de Vs. Establecer el número de iteraciones para la inversión. El valor predeterminado es de 5 hasta 10 para la iteración, es conveniente para la mayoría de los casos. Haga clic en OK. (Figura 85).



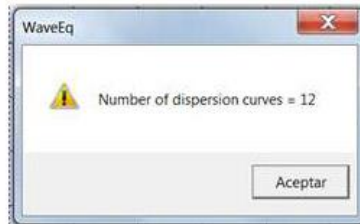
**Figura 85. Iteraciones**

Una vez completada la inversión, haga clic en aceptar (figura 86).



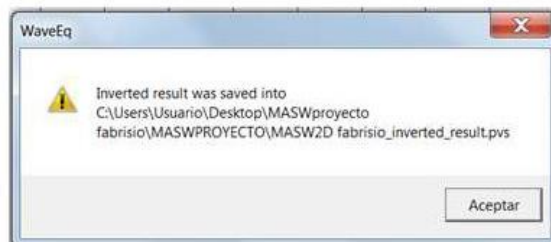
**Figura 86. Inversión completada**

Una vez calculado el modelo transversal final, se muestra el número de curvas utilizadas en el modelo de, haga clic en Aceptar (figura 87).



**Figura 87. Número de curvas**

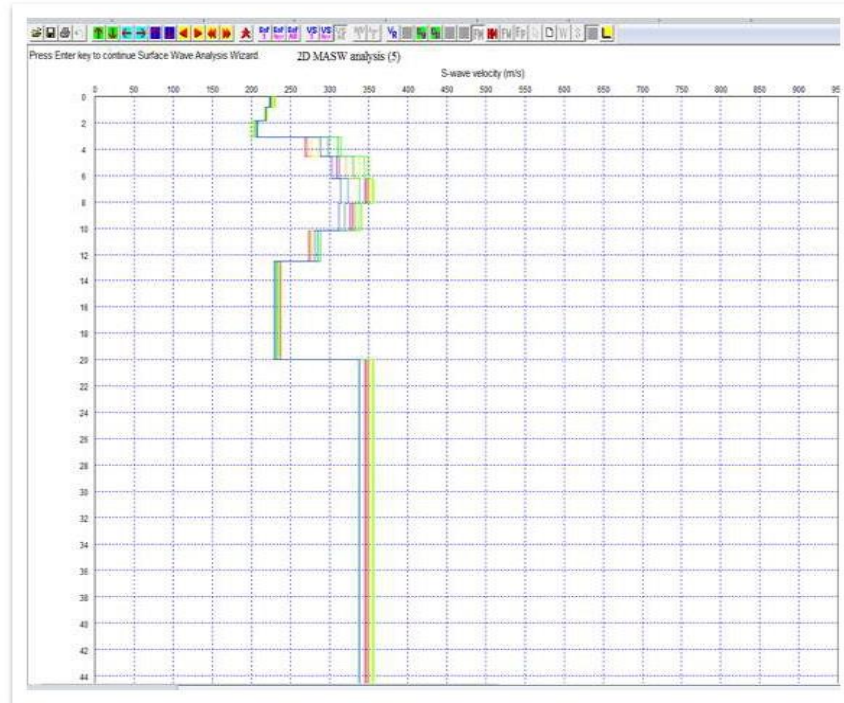
El archivo del modelo final se guarda automáticamente, haga clic en Aceptar (figura 88).



**Figura 88. Guardar modelo**




4.40 El primero en el grupo de los modelos finales se muestra (figura 89).

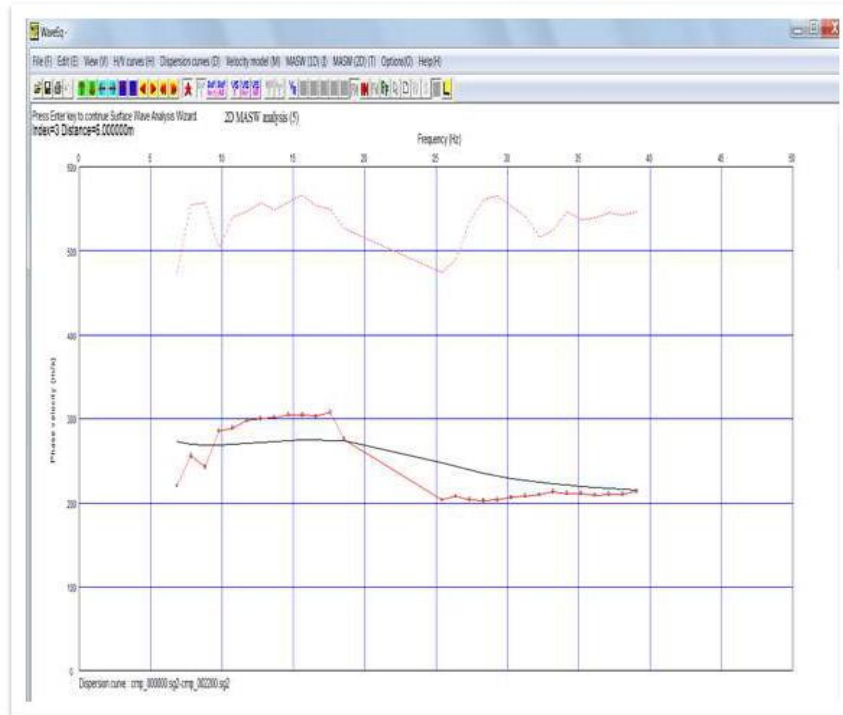


**Figura 89. Primer modelo final**

4.41 Verifique el ajuste de las curvas de dispersión calculada y observada. Haga

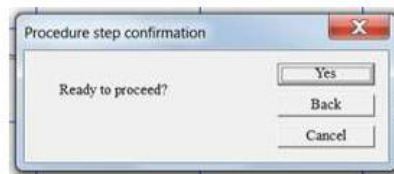
clic en el botón de curva de dispersión  para mostrar la curva de dispersión

original. Clic en el botón de comparación , superpone visualmente la curva de dispersión calculada (línea negra) y evalúa el grado de desajuste, el error debe ser menos de 5% pero puede variar dependiendo del conjunto de datos. Presione la tecla Enter para continuar. (Figura 90).



**Figura 90. Curva de dispersión calculada**

Haga clic en sí, para continuar (figura 91).



**Figura 91. Menú proceder**



4.42 El módulo GeoPlot se lanza otra vez para mostrar el modelo final, que muestra la velocidad de onda vs la profundidad y la distancia de la línea sísmica (figura 92.)

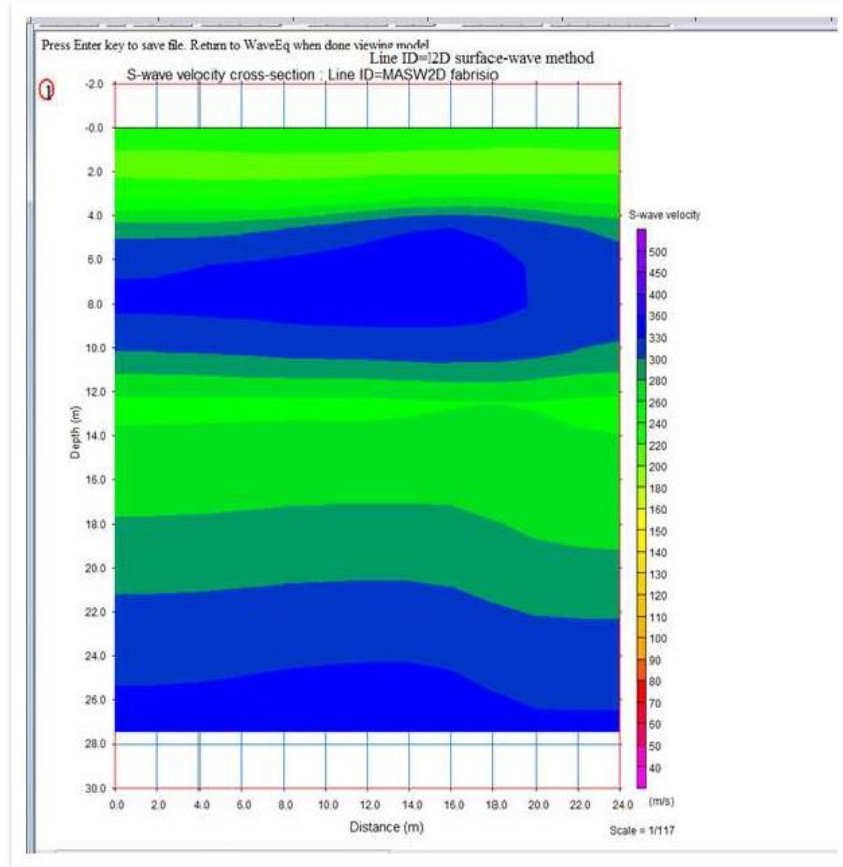


Figura 92. Modelo final de velocidad Vs





**MANUAL DE USO PARA EL ENSAYO REMI (REFRACTION  
MICROTREMORES) POR MEDIO DEL GEODE ULTRA-LIGHT  
EXPLORATION SEISMOGRAPH DE 24 CANALES**

**Y**

**MANEJO DEL PROGRAMA GEOMETRICS SEISMODULE  
CONTROLLER**

Autor:

FABRISIO PEREZ SANCHEZ

2093184


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECANICAS

INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2017





## **5. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO PARA CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO A PARTIR DEL MÉTODO REMI (REFRACTION MICROTREMORS) CON GEODE ULTRA-LIGHT EXPLORATION SEISMOGRAPH DE 24 CANALES.**

El equipo utilizado para el ensayo sísmico REMI es similar al utilizado en el ensayo MASW descrito en el capítulo 1, con la excepción del **ítem 1.5**, llamado fuente de energía sísmica. Pues el método REMI no aprovecha fuentes activas (generadas al golpear el martillo con la placa metálica, por lo cual no se utiliza el trigger para enviar datos al GEODE y no se realiza esta conexión), utiliza fuentes pasivas (baja frecuencia), que son las vibraciones naturales en el ambiente generadas por el tráfico, la actividad humana, ruido, movimiento ondulatorios, etc. Por lo cual su alcance llega a mayor profundidad que el método MASW.

## **6. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGIA DE APLICACIÓN DEL ENSAYO PARA CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO A PARTIR DEL MÉTODO REMI (REFRACTION MICROTREMORS) CON GEODE ULTRA-LIGHT EXPLORATION SEISMOGRAPH DE 24 CANALES.**


La metodología para la el montaje en campo de ensayo REMI es similar al del ensayo MASW descrito en capítulo 2, excepto del **ítem 2.8**, llamado adquisición de datos. A continuación se describe este paso.

### **6.1 ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO REMI.**

Se configura el software GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER para la realización del ensayo REMI y posteriormente la toma de datos la cual consiste en aprovechar Las fuentes de vibración del ambiente en donde se este y grabar registros largos de 32 segundos y por lo menos 20 de ellos, los registro se guardan automáticamente cada 2 milisegundos, lo cual da una duración mínima el ensayo de 10 minutos aproximadamente.

## **7. CONFIGURACIÓN DEL ENSAYO REMI UTILIZANDO EL PROGRAMA GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER.**

Una vez terminada la configuración acorde al ensayo REMI se procede a la adquisición de datos. Para este ensayo es necesario generar varios archivos para tener una mejor calidad de datos, mínimo 20 datos de 32 segundos de duración.



La configuración del programa GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER para la adquisición de datos del método REMI es similar a la utilizada en el ensayo MASW mostrado en el capítulo 3, exceptuando el **ítem 3.14**, llamado sample interval/record length, cuya configuración es la siguiente.

#### 7.1 SAMPLE INTERVAL/RECORD LENGTH (figura 93).

- **Sample Interval:** se muestra un intervalo cada 2 ms.
- **Record Len:** determina el tiempo que dura la grabación del archivo, para el ensayo REMI se toma máximo 32 sec.
- **Delay:** es el tiempo de retraso que tendrían los geófonos para empezar a grabar. Preferiblemente este parámetro debe estar en cero.

**Acquisition Timing Parameters**

Sample Interval

20.833 us

31.250 us

62.500 us

0.125 ms

0.250 ms

0.500 ms

1.000 ms

2.000 ms

4.000 ms

8.000 ms

16.000 ms

Max Length = 131.072 Sec  
Current File Size = 500.00 KB

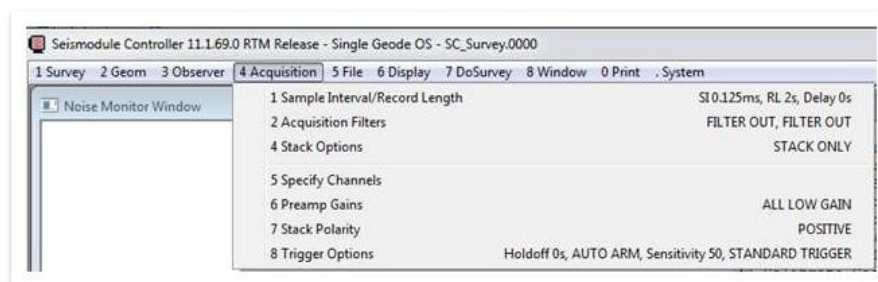
Record Len  Sec

Delay  Sec

OK Cancel

*Figura 93. Tiempo de toma de datos.*

Para solicitarle al equipo que empiece una captura de los datos nos vamos al menú ACQUISITION y seleccionamos TRIGGER OPTIONS, dar clic en OK, para que el equipo interprete que se va a realizar captura de información, la cual consiste en un mínimo de 20 datos de 32 segundos de duración cada uno (figura 94).



**Figura 94. Menú Acquisition.**

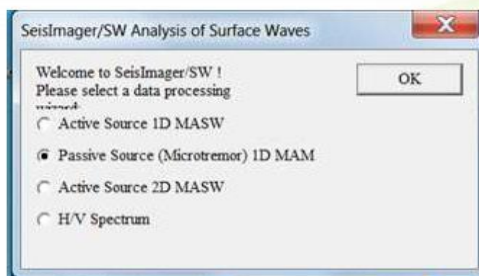
## 8. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DEL ENSAYO REMI PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO, UTILIZANDO LOS SOFTWARE SURFACE WAVE ANALYSIS WIZARD, PICKWIN Y WAVEQ.

8.1 Haga doble clic en el icono de asistente de análisis de onda de superficie (figura 95).



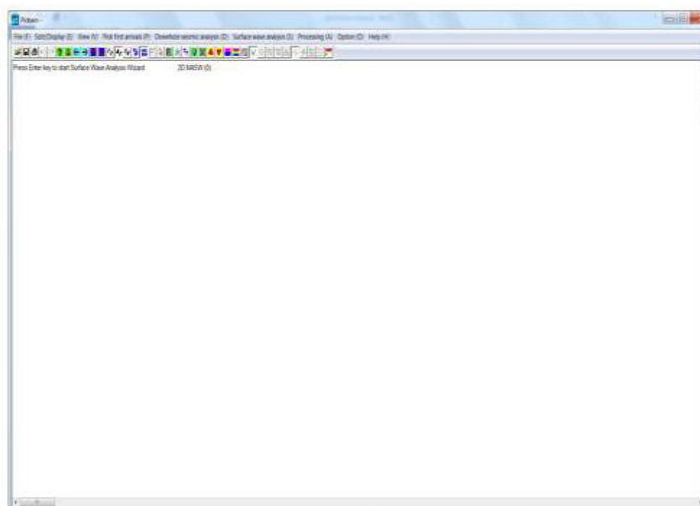
**Figura 95. Icono de Wizard**

**8.2** Aparece la bienvenida al cuadro de diálogo SeisImager/SW .Seleccione la fuente Passive Source (Microtremor) 1D MAM Y haga clic en Ok (figura 96).



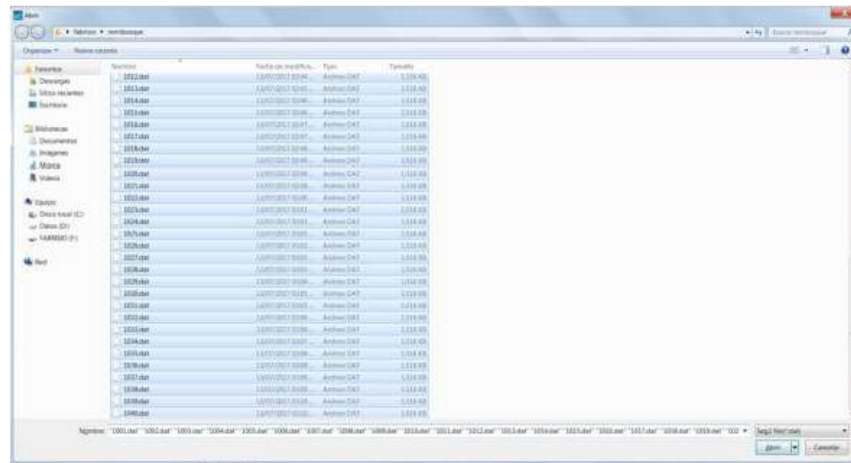
**Figura 96. Cuadro de dialogo SeisImagerisw**

**8.3** Aparece el módulo Pickwin (figura 97).



**Figura 97. Interfaz Pickwin.**

**8.4** El primer paso es introducir el archivo de datos de fuente pasiva obtenido del programa GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER (figura 98). Se selecciona el número de datos a ingresar.



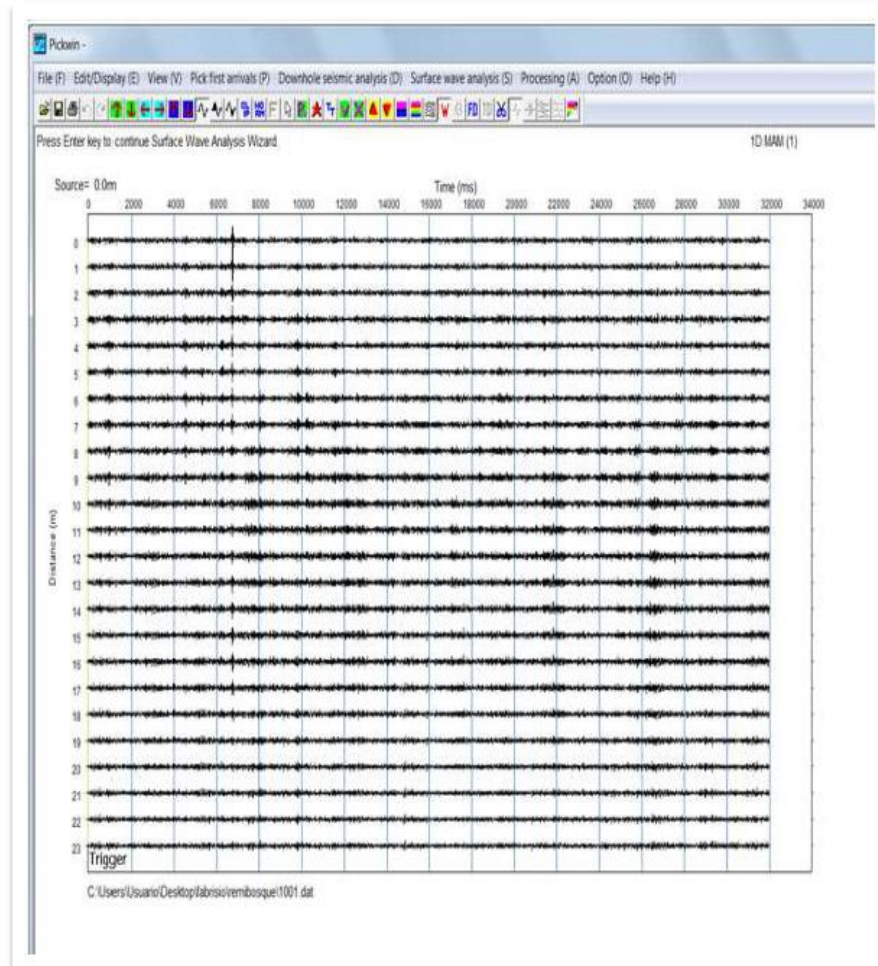
**Figura 98. Lista de datos**

Una vez abiertos los archivos seleccionados, haga clic en Aceptar (figura 99).



**Figura 99. Numero de datos**


8.5 El primero dato en el grupo de archivos se muestra en forma e onda (figura 100).

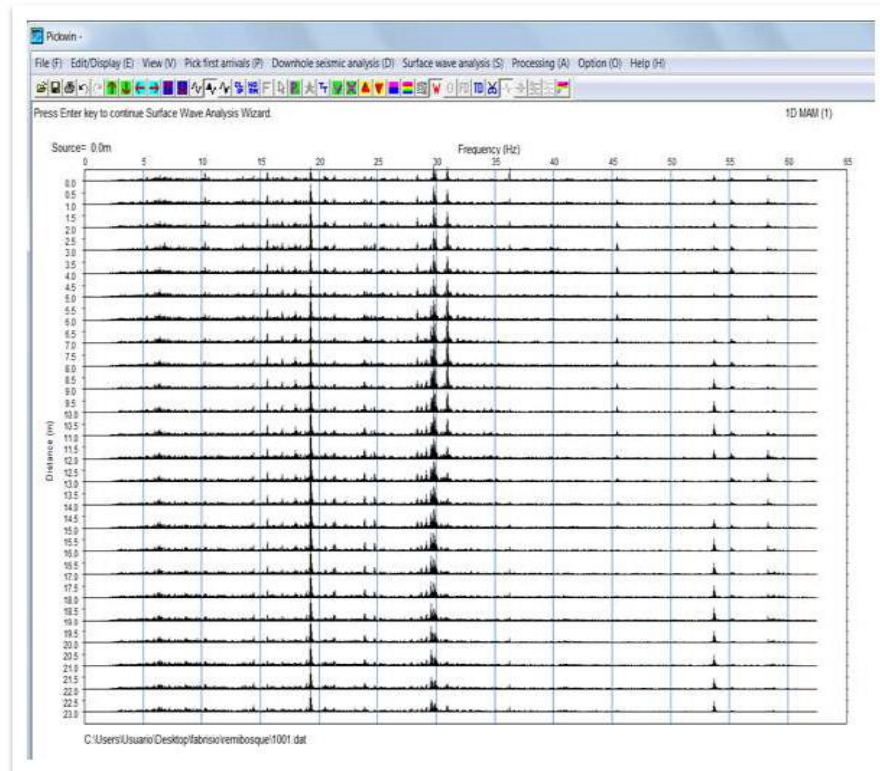


**Figura 100. Forma de onda.**

**8.6** Se puede transformar rápidamente los datos al modo de la frecuencia

haciendo clic en el botón de dominio de frecuencia **FD**. La vista cambiará a una ventana de frecuencia o espectro de cada dato, después de hacer clic en

el botón de dominio de la frecuencia, haga clic en la escala horizontal  o pulse la tecla de flecha derecha un par de veces para expandir la escala de frecuencia. Para cambiar a la vista de forma de onda, haga clic en el botón de dominio de tiempo **TD**, presione la tecla Enter para continuar (figura 101).



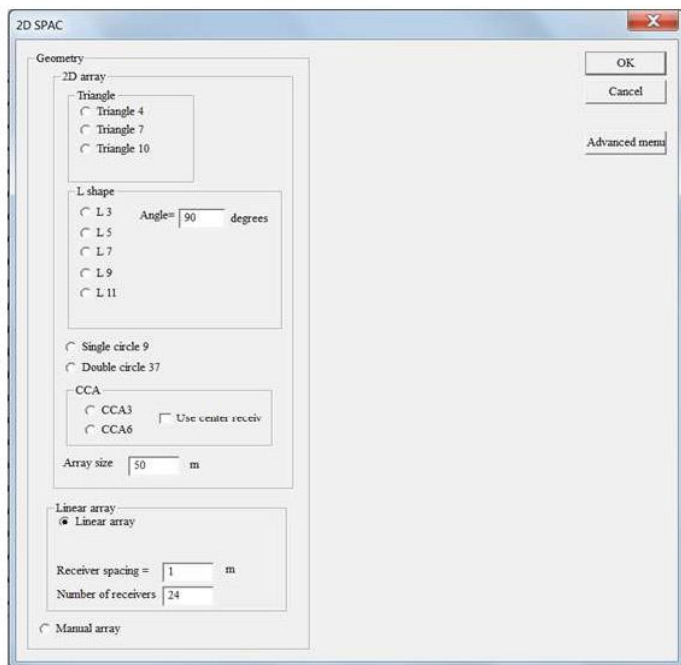
**Figura 101. Modo frecuencia.**

Haga clic en sí cuando esté listo para proceder (figura 102)



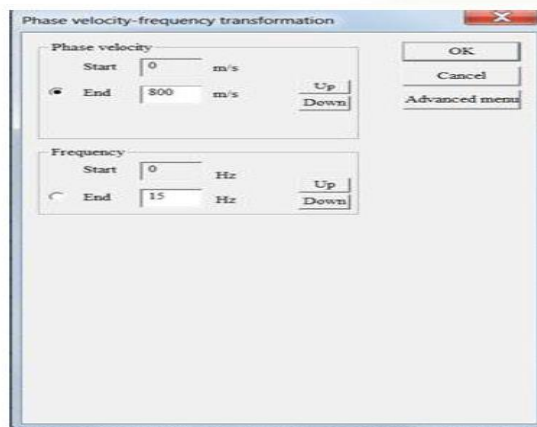
*Figura 102. Menú proceder.*

**8.7** A continuación, establece la geometría de la línea sísmica. Seleccione el tipo configuración de la línea, en este caso fue lineal. Seleccione el espacio entre geófonos (1 metro) y el número disponible (24 geófonos). Haga clic en Aceptar cuando termine (figura 103).



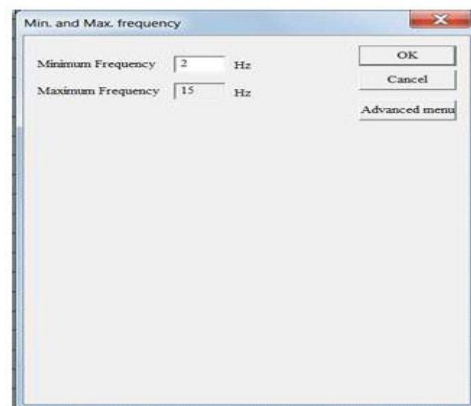
*Figura 103. Geometría de la línea sísmica*

**8.8** Coloque el extremo de velocidad de fase para la velocidad máxima que se necesita para su sitio, en fuente pasiva de energía generalmente viaja más profundo. Haga clic en Aceptar cuando termine (figura 104).



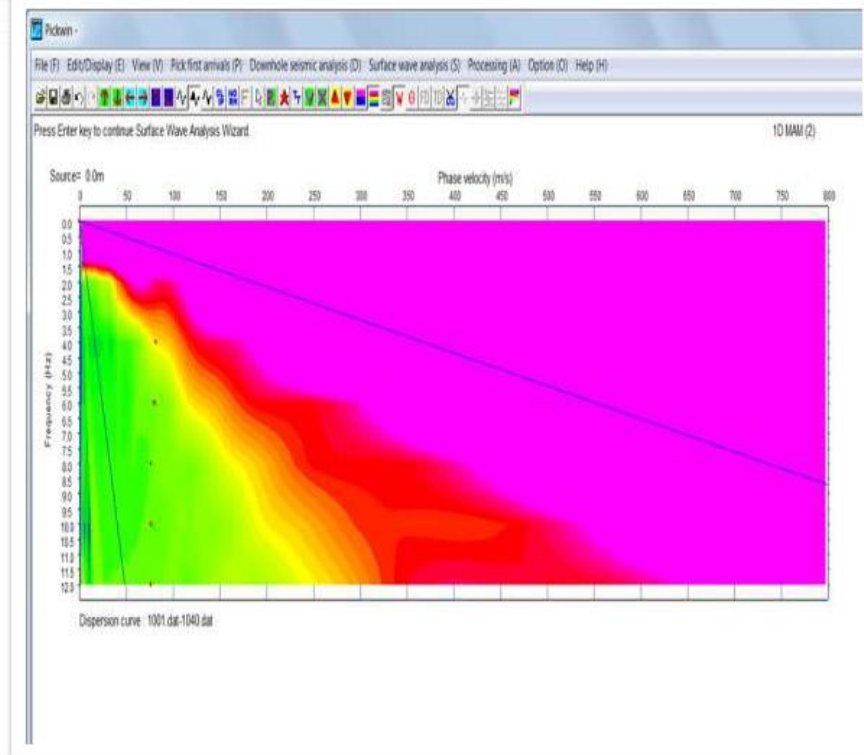
**Figura 104. Parámetro de velocidad.**

**8.9** El valor por defecto de frecuencia mínima es de 2 Hz, si se utilizaron geófonos 4,5 Hz. Se recomienda dejar el valor predeterminado de 2 Hz para permitir que el software recoja el máximos de amplitudes. Haga clic en ok (figura 105).



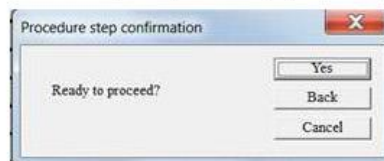
**Figura 105. Parámetro de frecuencia.**

8.10 A continuación, se muestran las curvas de dispersión (figura 106). Haga clic en enter cuando termine.




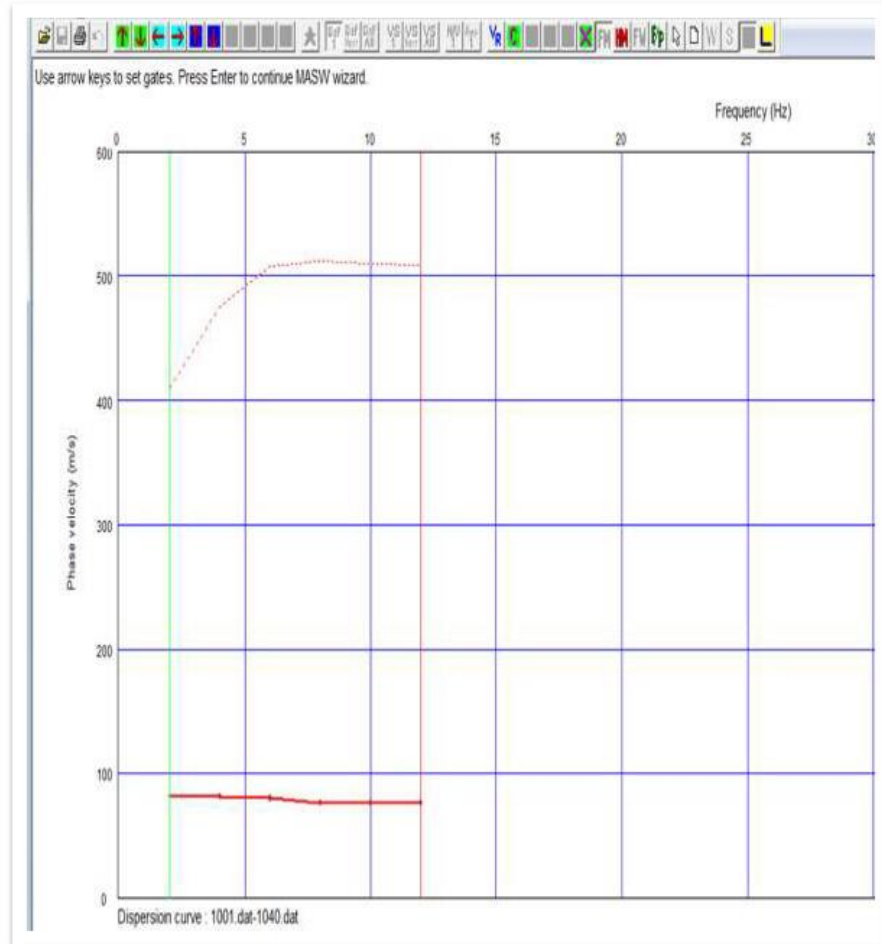
**Figura 106. Curva de dispersión**

Haga clic en sí cuando esté listo para proceder (figura 107).



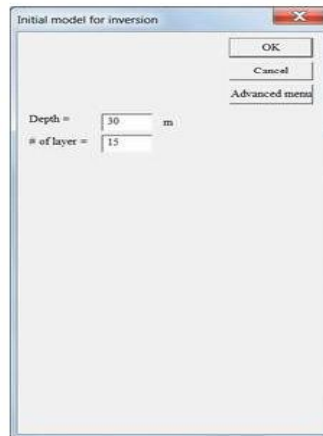
**Figura 107. Menú proceder**

8.11 A continuación, se lanza el módulo de WaveEq  y se muestran las curvas de dispersión (Se edita haciendo enter tanto al inicio como al fin de la curva (figura108).



**Figura 108. Curva de dispersión editada**

**8.12** Ajuste la profundidad máxima para el modelo inicial Vs. Una buena estimación de profundidad para empezar es la longitud de la línea sísmica (figura 109).



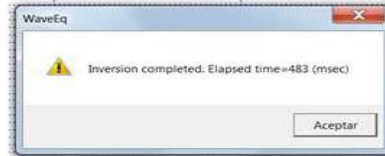
**Figura 109. Profundidad y capas**

**8.13** Establecer el número de iteraciones para la inversión. El valor predeterminado es de 5 hasta 10 para la iteración, es conveniente para la mayoría de los casos. Haga clic en OK (figura 110).



**Figura 110. Iteraciones**

8.14 Una vez completada la inversión (figura 111)



**Figura 111. Inversión completada**

Se muestra el perfil final de la velocidad de corte ( $V_s$ ) versus la profundidad. Para la indicación de la gama de la profundidad real de penetración, hacer clic en

$V_R$

Mostrar velocidad aparente modelo. Por último, completar el Asistente para guardar los resultados (figura 112).



**Figura 112. Modelo final velocidad ( $V_s$ ) vs profundidad**

## **ANEXO B. VIDEO ENSAYO MASW Y REMI**

<https://www.youtube.com/watch?v=pkuRiEXGec8>