

**DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES DE ONDA MECÁNICA EN UN PERFIL
DE SUELO EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO UIS**

**LUIS CARLOS FERNANDEZ ROJAS
JORGE EDUARDO PEREZ ESPARZA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

**DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES DE ONDA MECÁNICA EN UN PERFIL
DE SUELO EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO UIS.**

**LUIS CARLOS FERNANDEZ ROJAS
JORGE EDUARDO PEREZ ESPARZA**

**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**

2016

A Dios porque siempre ha estado a mi lado llenándome de bendiciones, fortaleza y regalándome a esas personas que de una u otra manera me llenan de fuerza para lograr mis objetivos.

A mi abuelo que cuando estuvo a mi lado siempre me apoyó y me regaló sabios consejos, y que desde el cielo me está dando una mano en las etapas que vienen para mi vida.

A mi mamá que me ha dado fortaleza, apoyo y amor incondicional, por ella es que terminé mi carrera y por ella es que quiero continuar adelante en mi vida como profesional para consentirla como se merece.

A mi papá que ha estado siempre a mi lado compartiendo su conocimiento y dándome consejos que me han ayudado a seguir el camino correcto y por todos y cada uno de los esfuerzos que realiza para que podamos junto a mis hermanas cumplir nuestros sueños.

A mi abuela, mis tías, primos, mi familia que me han compartido sus enseñanzas y me han guiado en mi vida.

A mi novia y mis amigos que estuvieron compartiendo a mi lado tanto momentos difíciles como los momentos de alegría.

Por esos momentos de alegría y esas metas q hoy me ayudaron a culminar, gracias.

JORGE EDUARDO PÉREZ ESPARZA

A Dios por darme fortaleza para terminar este periodo de mi vida.

*A mis padres y mis hermanos por el
apoyo y amor que me dan
Sus consejos y compañía han hecho
de mí una gran persona.*

Gracias

Luis Carlos Fernández Rojas

AGRADECIMIENTOS

A la ingeniera Hebenly Celis Leguizamo por su participación en este proyecto.

Al ingeniero Hector por su orientación y acompañamiento en el desarrollo de este proyecto.

Y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron para la satisfactoria culminación de este trabajo de grado.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.	18
2. METODOLOGÍA	21
2.1 PRELIMINARES:	21
2.2 INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE REFRACCIÓN:	21
2.3 CAPTACIÓN DE DATOS EN CAMPO	23
2.4 ANÁLISIS DE DATOS	25
2.4.1 Software PICKWIN	25
2.4.2 Software PLOTREFA	26
2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS	30
2.5.1 Características del terreno:	30
2.5.1.1 Miembro Limos Rojos	30
2.5.1.2 Miembro Gravoso (Qbg)	30
2.5.2 Obtención del Perfil estratigráfico real	31
2.6 COMPARACIÓN DE LOS PERFILES OBTENIDOS MEDIANTE EL ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA CONTRA EL PERFIL GEOTÉCNICO RECOLECTADO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO.	34
3. CONCLUSIONES	36
REFERENCIAS	37
ANEXOS	38

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del municipio de Bucaramanga, Departamento de Santander, Colombia.	18
Figura 2. Localización de la Universidad Industrial de Santander, municipio de Bucaramanga.	19
Figura 3. Localización de la zona de estudio, Universidad Industrial de Santander, longitud y ubicación del tendido sísmico.	20
Figura 4. Conexión geófonos y extensión cable principal.	22
Figura 5. GEODE conexión múltiple.	23
Figura 6. Posicionamiento placa para ensayo.	24
Figura 7. Interfaz Geometrics Seismodule Controller.	24
Figura 8. Selección de la línea de llegada de las ondas longitudinales para el golpe en la ubicación 1 (cerca al geófono 0).	25
Figura 9. Selección de la línea de llegada de las ondas longitudinales para el golpe en la ubicación 2 (Entre geófonos 11-12).	26
Figura 10. Detalle del manejo del Software realizando los 3 picados con respecto a la localización del golpe (geófono 24).	26
Figura 11. Localización de los cambios de pendiente en la gráfica.	27
Figura 12. Ingreso de datos generados en el levantamiento de altimetría (cotas) al software Plotrefa.	27
Figura 13. Perfil generado al realizar la inversión.	28
Figura 14. Perfil generado al utilizar la opción tomografía.	28
Figura 15. Corrección generada por el programa.	29
Figura 16. Perfil estratigráfico definitivo.	29
Figura 17. Mapa geológico ubicación zona de estudio	31
Figura 18. Caracterización de materiales según velocidad de onda longitudinal.	32

Figura 19. Perfil obtenido en base a las velocidades de onda longitudinales.

35

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Posible resultado caracterización de material de subsuelo ensayo de Refracción sísmica.	33
Tabla 2. <i>Ensayo SPT realizado en el parque de los niños. [4]</i>	34

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Tomada en la zona de estudio realizando el levantamiento por altimetría utilizando nivel y mira.	21

RESUMEN

TITULO: DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES DE ONDA MECÁNICA EN UN PERFIL DE SUELO EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO UIS*.

AUTORES: LUIS CARLOS FERNANDEZ ROJAS
JORGE EDUARDO PEREZ ESPARZA**

PALABRAS CLAVE: Refracción, Sondeo, Geode, Geometrics, Bosque, Universidad.

DESCRIPCION

En el siguiente artículo se presentan los resultados obtenidos a partir de los ensayos de refracción sísmica realizados en la zona del Bosque del campus universitario de la Universidad Industrial de Santander, también se encuentra la información recolectada de ensayos realizados anteriormente en las zonas aledañas al lugar donde se realizaron los sondeos (Ensayo de Penetración Estándar realizado en el parque de los niños encontrado en la microzonificación sísmica de Bucaramanga), esto con el fin de realizar una comparación de resultados.

Por medio 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 longitudinales a cada uno de los geófonos. En este proceso se utilizó el paquete de software SEISIMAGER con sus programas PICKWIN y PLOTREFA, donde se determinan los cambios en las pendientes de las líneas de llegada de velocidades y se realiza el perfil stratigráfico donde se especifican las velocidades de la onda P.

Además se muestra el procedimiento para la instalación y uso de estos softwares por medio de un manual donde se realiza un ensayo de refracción sísmica que se encuentra en el Anexo A, y como complemento el anexo B que es un registro audiovisual del ensayo realizado en la Universidad, el cual dura 10 minutos y muestra todo lo hecho en el ensayo.

* Proyecto de grado

** facultad de ingenierías físico mecánicas escuela de ingeniería civil director Hebenly Celis Leguizamo

ABSTRACT

TITLE: DETERMINATION OF MECHANICAL WAVE SPEEDS IN A SOIL PROFILE IN UIS UNIVERSITY CAMPUS^{*}.

**AUTHORS: LUIS CARLOS FERNANDEZ ROJAS
JORGE EDUARDO PEREZ ESPARZA^{**}**

KEYWORDS: Refraction, Probing, Geometrics, Bosque, Universidad.

DESCRIPTION

The following article presents the results obtained from the seismic refraction tests carried out in the Bosque area of the university campus of the Industrial University of Santander, also the information gathered from previous tests in the areas surrounding the site (Standard Penetration Test conducted in the children's park found in the Bucaramanga seismic microzoning), in order to perform a comparison of results.

Through GEODE ULTRA-LIGHT EXPLORATION SEISMOGRAPH OF 24 CHANNELS and software GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER we obtain the register of travel time of longitudinal (P) waves to each geophone. In this process We use the software pack SEISIMAGER with its programs PICKWIN and PLOTREFA, where we determinate the changes in the slopes of the velocity arrival lines and the stratigraphic profile. The stratigraphic profile is performed where the velocities of the P wave are specified.

In addition, the procedure for the installation and use of these software is shown by means of a manual where a seismic refraction test is carried out, which is found in Annex A and, as an addition the Annex B, which is an audiovisual record of the test carried out at the University, which lasts ten minutes and show everything we do in that test.

^{*} Project of grade

^{**} faculty of engineering physical mechanical school engineering civil director Hebenly Celis Leguizamo

INTRODUCCIÓN

Los métodos de refracción sísmica son considerados efectivos y eficientes para obtener información general de grandes volúmenes de superficie en dos direcciones, horizontal y profundidad.

La información que provee el ensayo hace referencia a las características de las ondas primarias (P), las cuales permiten generar perfiles de las diferentes velocidades en las capas del suelo. Básicamente el estudio se basa en el análisis de las velocidades y tiempo de propagación de onda para generar una visión de la profundidad de la zona de estudio.

Los estudios y resultados se registran con la ayuda de cierto número de sensores, los cuales recaudan la información de los movimientos ocurridos en el terreno y se encuentran en función del tiempo para así generar graficas conocidas como sismogramas y posteriormente llegar al perfil correspondiente.

La refracción sísmica es muy usada para encontrar en un suelo el cambio de la estratificación, la profundidad de basamento y las condiciones del suelo (meteorización y fracturación).

Algunas de las limitaciones son, en el caso de analizar un terreno con capas intermedias de menor velocidad de onda este método arrojaría errores, es decir si tenemos una capa de suelo más blando en medio de dos capas de suelo, este método no funcionaría. También se necesitan grandes zonas descubiertas para la realización del método de refracción sísmica, ya que debemos hacer la línea de refracción superficial sin grandes obstáculos, lo que nos afectaría los estudios en zonas urbanas.

La longitud del tendido en superficie está directamente relacionado con el alcance de la exploración en profundidad. [1]

1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La Universidad Industrial de Santander se encuentra ubicada al Nororiente del Municipio de Bucaramanga, Capital del Departamento de Santander, Colombia. Ver Figura 1 y 2.

Figura 1. Localización del municipio de Bucaramanga, Departamento de Santander, Colombia.



Fuente: **Google Maps.**

Figura 2. Localización de la Universidad Industrial de Santander, municipio de Bucaramanga.



Fuente: **Google Maps.**

La zona escogida para realizar el presente estudio se encuentra ubicada al Noroccidente de las instalaciones de la Universidad en el sector denominado el Bosque, al Norte de los edificios de eléctrica e industrial y al Suroriente del edificio de Caracterización de Materiales de Ingeniería Civil, allí se instaló la línea de refracción sísmica de 24 sensores, sentido Oriente-Occidente con una longitud de 48 metros. Ver figura 3.

Figura 3. Localización de la zona de estudio, Universidad Industrial de Santander, longitud y ubicación del tendido sísmico.



Fuente: **Google Maps**

2. METODOLOGÍA

2.1 PRELIMINARES:

En primera instancia se realizó un levantamiento por altimetría en la zona de estudio a lo largo de la línea de refracción, para así obtener las cotas del terreno y obtener un resultado más detallado. Ver fotografía 1.

Fotografía 1. Tomada en la zona de estudio realizando el levantamiento por altimetría utilizando nivel y mira.



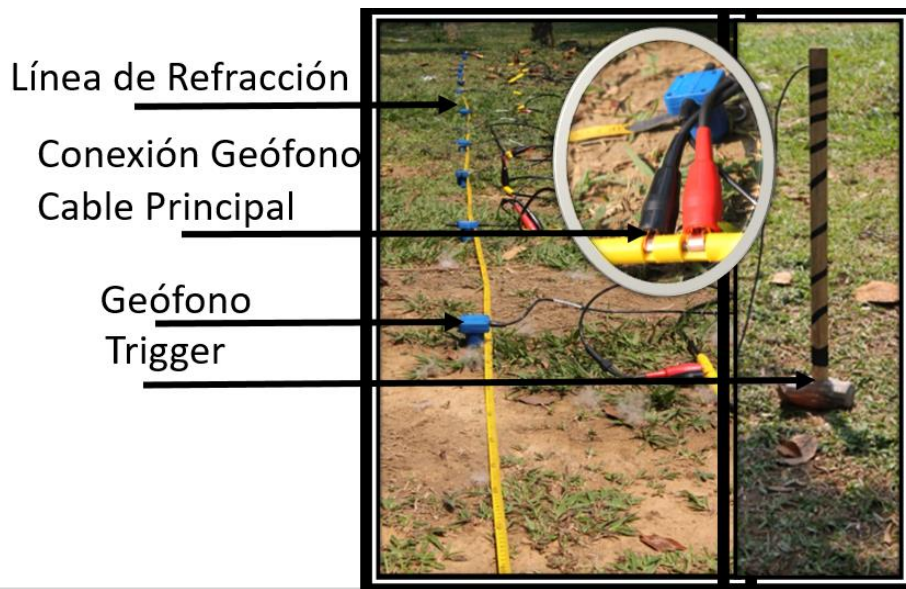
2.2 INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE REFRACCIÓN:

Se procede a colocar los geófonos a la distancia requerida (en este caso cada 2 [m]), midiendo estas con ayuda de una cinta métrica. Los geófonos deben estar lo

más despejado posible de pasto alto y maleza, para asegurarse que entren de forma vertical, ya que hacen que la recepción sea superior.

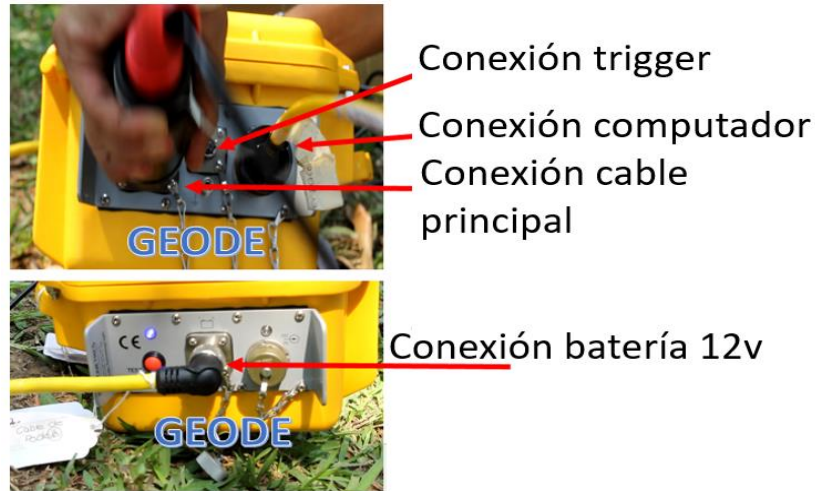
Después se extiende el cable principal paralelo a la línea de refracción teniendo en cuenta de dejar los conectores del cable cerca a los geófonos para su fácil conexión, realizando esta inmediatamente. Ver Figura 4.

Figura 4. Conexión geófonos y extensión cable principal.



Se conecta el cable principal y la batería de 12 voltios al GEODE (verificando que esta esté en buen estado y cargada para el ensayo). Posteriormente se realiza la conexión del cable disparador (trigger) a la porra y al GEODE, este disparador es el que activa los geófonos al momento del golpe para recibir las ondas de refracción. Finalmente se conecta el computador al GEODE. Ver figura 5.

Figura 5. GEODE conexión múltiple.



2.3 CAPTACIÓN DE DATOS EN CAMPO

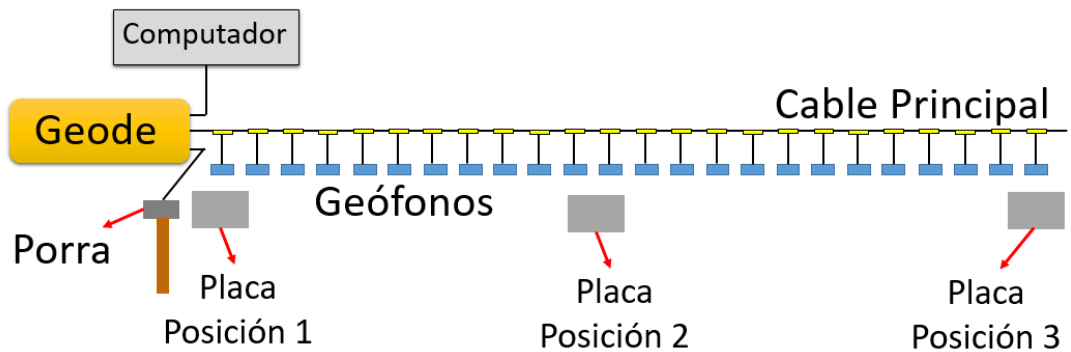
Por medio del programa GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER se adquieren los datos del tiempo que demora en llegar la onda a cada geófono, y teniendo en cuenta la ubicación de ellos, obtenemos las velocidades de onda del subsuelo.

Se realiza una verificación del funcionamiento de los geófonos en el programa por medio de golpes suaves cerca a los geófonos mirando desde el monitor si se detectan los cambios en las líneas de cada canal.

Se configura el software según sea requerido para el estudio, realizando modificaciones en distancias, tiempos de adquisición, ubicación del disparador, ganancias de los geófonos, la cantidad de golpes, entre otros. Estas modificaciones se podrán ver de manera detallada en el registro audiovisual del Anexo B.

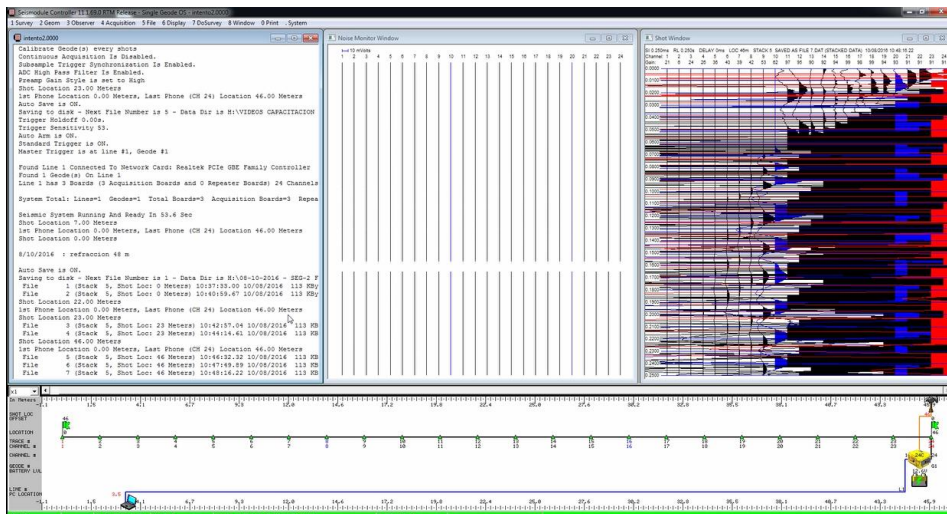
Para empezar con el ensayo debemos ubicar en el suelo una placa metálica la cual será golpeada con el martillo para obtener el primer sismograma. Esta placa debe ser ubicada en tres posiciones, la primera al comienzo de la línea de refracción (geófono 0), una en el punto medio de la línea (entre los geófonos 11 y 12) y otra al final de la línea de refracción (geófono 23), realizando el número de golpes configurado en cada posición. Ver figura 6.

Figura 6. Posicionamiento placa para ensayo.



De esta manera se culmina la obtención de datos de campo. Al final se obtiene el siguiente registro de datos: Ver figura 7.

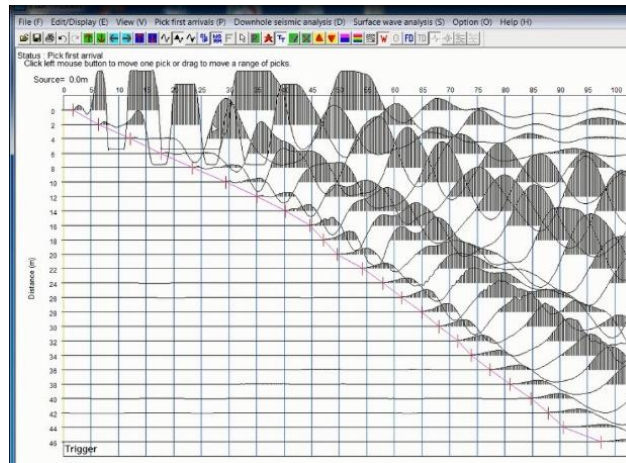
Figura 7. Interfaz Geometrics Seismodule Controller.



2.4 ANÁLISIS DE DATOS

2.4.1 Software PICKWIN Este software se utiliza para marcar la llegada de las ondas P a cada uno de los geófonos. Se importa el archivo generado en GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER al programa PICKWIN donde se realiza la identificación del tiempo de llegada de las ondas primarias a cada uno de los geófonos, se realiza el respectivo picado que consiste en trazar puntos en la llegada de cada onda para realizar una línea que representa la velocidad de la onda en la línea de refracción. Ver figura 8.

Figura 8. Selección de la línea de llegada de las ondas longitudinales para el golpe en la ubicación 1 (cerca al geófono 0).



Se realiza el mismo procedimiento para los tres archivos generados durante el proceso de obtención de datos de campo. Ver figura 9 y 10.

Figura 9. Selección de la línea de llegada de las ondas longitudinales para el golpe en la ubicación 2 (Entre geófonos 11-12).

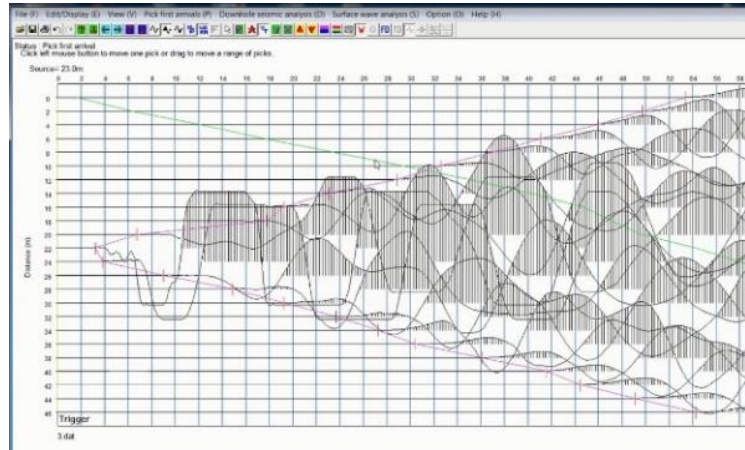
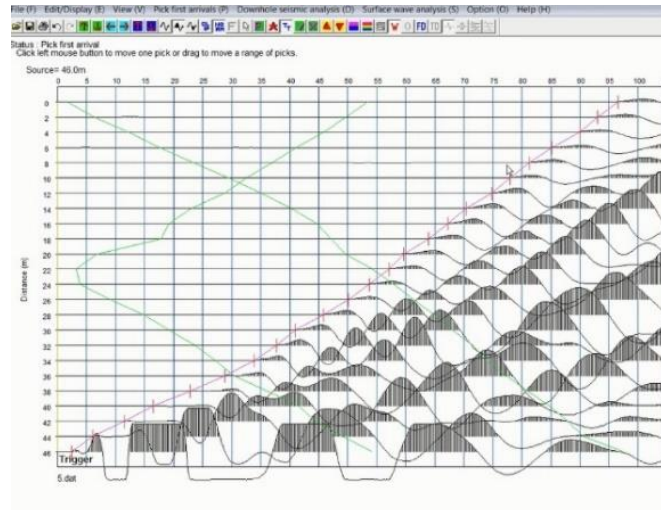
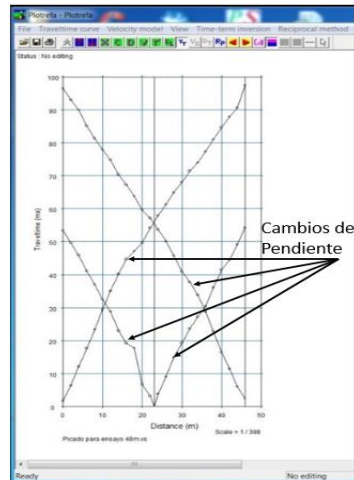


Figura 10. Detalle del manejo del Software realizando los 3 picados con respecto a la localización del golpe (geófono 24).



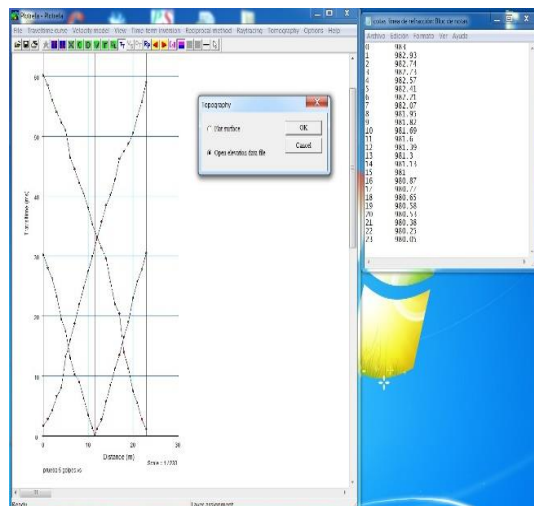
2.4.2 Software PLOTREFA Este software revisa la obtención de datos y se corrigen los errores en el gráfico de distancia vs tiempo de viaje. La información del programa PICKWIN es importada al software PLOTREFA, allí se obtienen gráficas como se puede observar en la figura 11. En este gráfico se señalan los cambios de pendiente, que indican los cambios de velocidad en el suelo.

Figura 11. Localización de los cambios de pendiente en la gráfica.



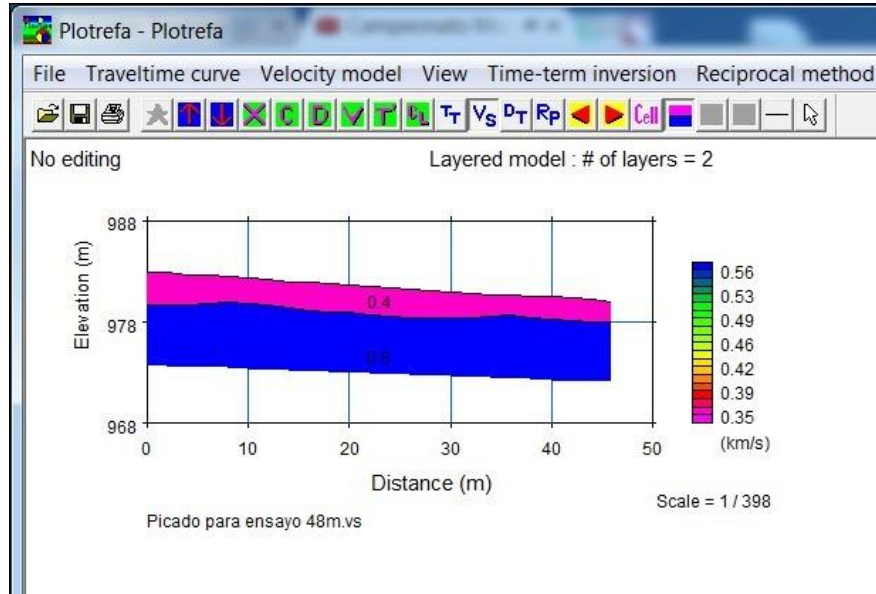
Se ingresan los datos obtenidos en el levantamiento por altimetría. Ver Figura 12.

Figura 12. Ingreso de datos generados en el levantamiento de altimetría (cotas) al software Plotrefa.



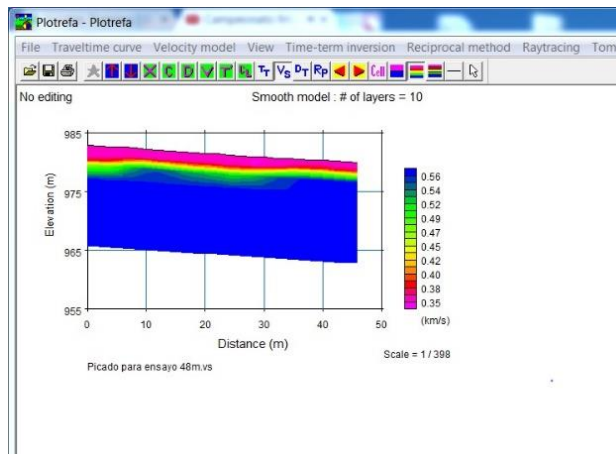
Se corre el programa según los pasos mostrados en el video y se obtiene el perfil de la figura 13.

Figura 13. Perfil generado al realizar la inversión.



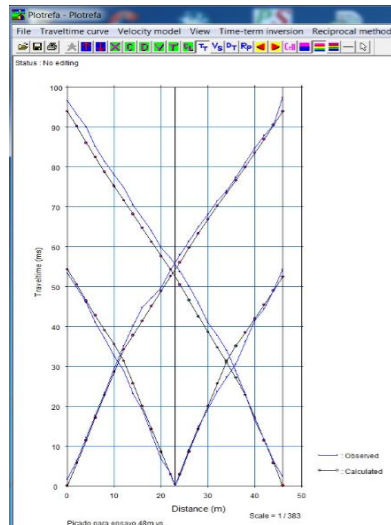
Se utiliza la opción tomografía la cual genera un modelo proyectando los datos obtenidos utilizando un algoritmo para suavizar las líneas de los perfiles y ofrecer mayor exactitud en el perfil. Ver figura 14.

Figura 14. Perfil generado al utilizar la opción tomografía.



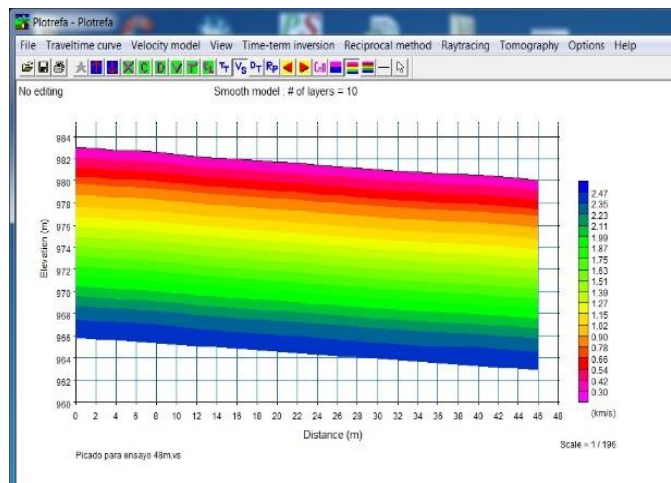
Si se compara este perfil tomográfico con la realidad podemos notar que las capas inferiores no se asemejan a la realidad. El software PLOTREFA tiene la opción de realizar una corrección sobre los datos ya obtenidos. Ver figura 15.

Figura 15. Corrección generada por el programa.



Después de realizar la corrección obtenemos el perfil que se asemeja a los resultados obtenidos por el ensayo de SPT. Ver figura 16.

Figura 16. Perfil estratigráfico definitivo.



2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.5.1 Características del terreno: La Universidad Industrial de Santander se encuentra en la microzonificación sísmica del Área Metropolitana de Bucaramanga en la Unidad Mesas, Subunidad Mesa de Bucaramanga. Presenta pendientes de 2-7% principalmente y hacia los bordes de 0 – 2%. Litológicamente está constituido por un Segmento Gravoso y un segmento de Limos Rojos caracterizado por gravas arenolodosas y lodoarenosas y arcillas gravosas. [2]

El mapa geológico del sector se presenta en la figura 17.

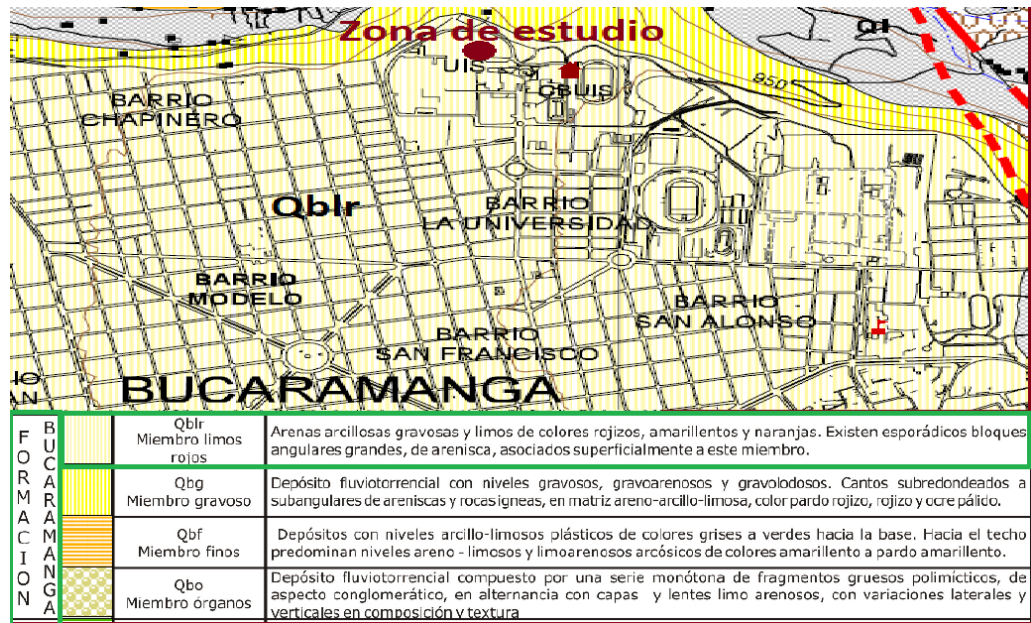
A continuación se describen las dos capas dentro del alcance de nuestro proyecto.

2.5.1.1 Miembro Limos Rojos Este miembro se localiza en el sector urbanizado de Bucaramanga aunque no en forma uniforme. Geomorfológicamente este miembro constituye lo que anteriormente se denominaba como “Meseta de Bucaramanga”, con relieve semiplano y pendientes entre 2 y 7%. Está constituido por arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas. Existen esporádicos bloques angulares grandes, de arenisca, asociados superficialmente a este miembro; estos cantos pueden estar embebidos dentro de limos rojos y se caracterizan por estar meteorizados.

2.5.1.2 Miembro Gravoso (Qbg) Es un nivel grueso que no presenta estructuras internas, el contacto inferior es neto, continuo, suavemente ondulado. Geomorfológicamente en la escarpa norte forma una pendiente mayor del 40%, conformando la parte superior de esta escarpa. Texturalmente es una grava arenolodosa y lodoarenosa. Las gravas son subredondeadas de esfericidad media, mal calibradas; presentan areniscas blancas silíceas 45%, areniscas violetas 15% ígneos y metamórficos 10%. Al alterarse forma un suelo naranja sobre el cual se ha edificado la ciudad. El ambiente de depositación de este

miembro corresponde a un flujo de escombros con fase intermedia gravosa a arenolodosa, que marcan el último levantamiento del macizo de Santander.

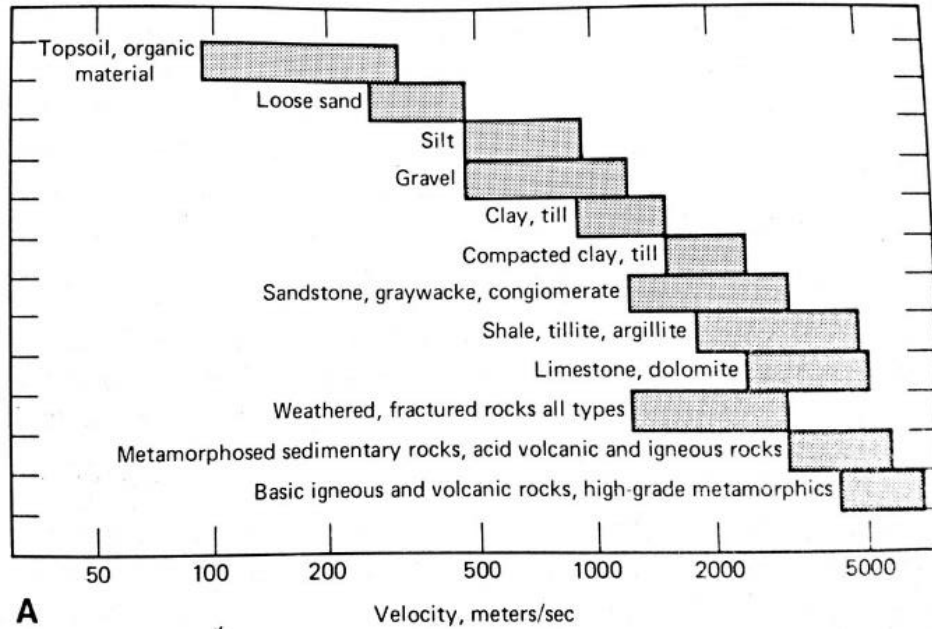
Figura 17. Mapa geológico ubicación zona de estudio



Fuente: Ingeominas.

2.5.2 Obtención del Perfil estratigráfico real. Las velocidades de propagación de las ondas longitudinales permiten por comparación, inferir los posibles tipos de materiales de cada estrato según pueda observarse en la figura 18. [3]

Figura 18. Caracterización de materiales según velocidad de onda longitudinal.



Fuente: **Perry H. Rahn., Engineering Geology An Enviromental Approach, USA, Elsevier Science Publishing, 1986**

De acuerdo a los resultados de la tomografía y correlacionando los datos con la Figura 18 se obtiene un perfil preliminar del terreno estudiado. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Posible resultado caracterización de material de subsuelo ensayo de Refracción sísmica.

Estrato	Profundidad [m]	Intervalo de Velocidades de onda longitudinal [km/s]	Material posible
1	0 - 1	0,3	Suelo superficial
2	1 - 2	0,31 - 0,48	Arena Limo-Arcillosa
3	2 - 5	0,481 - 0,90	Limo Grava
4	5 - 17	0,91 - 2,47	Arcilla Arenosa Arcilla Arenosa Cementada Arenisca

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

El segundo estrato podría ser una Arena Limo-Arcillosa, ya que entre este intervalo encaja este tipo de suelo.

En el tercer estrato encontramos que según la velocidad de onda podríamos encontrar allí suelos como Limos y Grava.

En el estrato 4 se podrían encontrar Arcilla Arenosa, Arcilla Arenosa Cementada y/o Arenisca.

2.6 COMPARACIÓN DE LOS PERFILES OBTENIDOS MEDIANTE EL ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA CONTRA EL PERFIL GEOTÉCNICO RECOLECTADO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO.

En búsqueda de información geotécnica cercana al sitio del ensayo se encontró información suministrada por parte de la sección de Geomática de la Universidad Industrial de Santander acerca del ensayo por medio del método SPT encontrado en la microzonificación sísmica realizado en el parque de los niños, ver tabla 2.

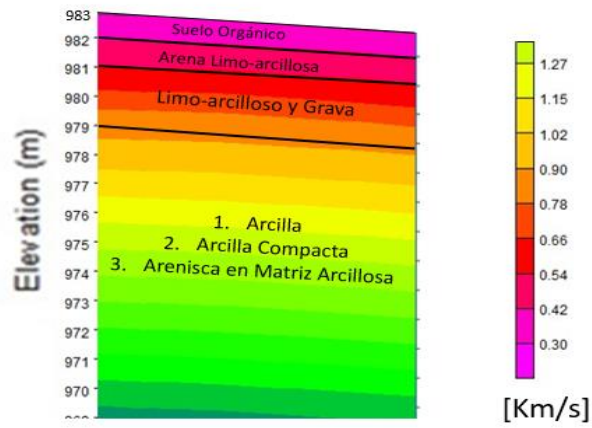
Tabla 2. Ensayo SPT realizado en el parque de los niños. [4]

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 y 2 se puede hacer una correlación para obtener los diferentes materiales que son asignados a cada capa dependiendo de la velocidad de onda longitudinal (Onda P).

Figura 19. Perfil obtenido en base a las velocidades de onda longitudinal.



En el Anexo A, se encuentran los pasos detallados para realizar el ensayo de refracción sísmica con el uso del Geode.

3. CONCLUSIONES

- Se demostró que por medio del ensayo de refracción sísmica se puede obtener una aproximación del perfil cercano a la realidad.
- El ensayo de refracción sísmica requiere la implementación de otros ensayos con muestreo para conocer el espesor y material de cada estrato con mayor exactitud.
- Por su versatilidad, con este ensayo podemos abarcar grandes volúmenes de suelo rápida y económicamente.
- Se realizó el registro visual del procedimiento del ensayo donde se especifican el manejo de los programas GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER, PICKWIN y PLOTREFA y se encuentra en el siguiente link:
https://www.youtube.com/watch?v=_vaJSRUC5bY&t=39s

REFERENCIAS

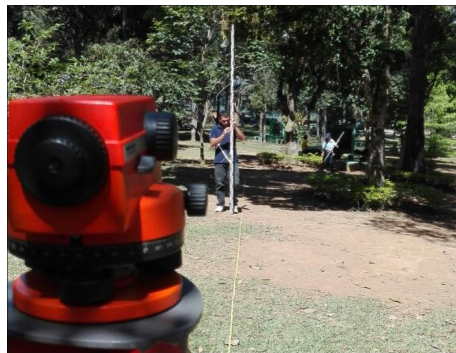
- [1] Refracción sísmica, ensayo. Disponible: <http://www.osso.org.co/docu/tesis/2001/comportamiento/refraccion.pdf> [citado el 11 de septiembre de 2016]
- [2] Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Bucaramanga, dirección web: <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/POTbucaramanga4.pdf> [citado el 17 de septiembre de 2016]
- [3] Mariano Ruiz Vázquez. Silvia González Huesca., Geología Aplicada a la Ingeniería Civil, MEXICO, LIMUSA S.A., 2001. [citado el 23 de septiembre de 2016]
- Perry H. Rahn., Engineering Geology an Enviromental Approach, USA, Elsevier Science Publishing, 1986.
- Videoteca, manejo y uso GEODE y softwares. Disponible: <http://www.geometrics.com/seismic-training/>. [Septiembre – Octubre]
- Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga, Mapa geológico Ingeominas. , Junio 2001. [4]
- Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga, Subdirección de amenazas geoambientales, Ingeominas. , Bogotá, Octubre de 2001

ANEXOS

ANEXO A MANUAL DE USO PARA ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA POR MEDIO DEL GEODE ULTRA-LIGHT EXPLORATION SEISMOGRAPH DE 24 CANALES.

Este manual de uso está complementado con un video que se puede encontrar en el siguiente link: <https://www.youtube.com/watch?v=vaJSRUC5bY&t=39s>

En primera instancia se debe definir el lugar donde se va a realizar la línea de refracción analizando la distancia de separación entre geófonos (Para este caso cada 2 [m]), además se debe realizar un levantamiento por altimetría en la zona de estudio para determinar las cotas de cada uno de los geófonos correspondientes a la línea; estas se deben organizar en un archivo de Excel donde se ubique en una columna la distancia a la que se encuentra la posición de cada uno de los geófonos y la columna siguiente se coloca la cota del terreno, se guarda como un archivo de texto formato Texto (MS-DOS) y se verifica abriéndolo con el block de notas. Ver fotografía 1 y Figura 1.



Fotografía 1. Levantamiento por altimetría utilizando nivel y mira.

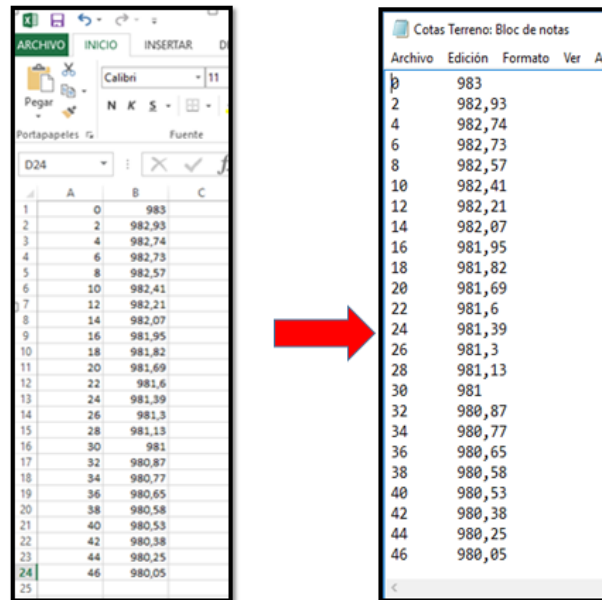


Figura 1. Datos del levantamiento exportados al Block de notas.

Instalación de la línea de refracción:

Se procede a colocar los geófonos a la distancia requerida (en este caso cada 2 [m]), midiendo estas con ayuda de una cinta métrica. Los geófonos deben entrar de forma vertical.

Después se extiende el cable principal paralelo a la línea de refracción teniendo en cuenta de dejar los conectores del cable cerca a los geófonos para su fácil conexión, realizando esta inmediatamente. Ver Figura 2.

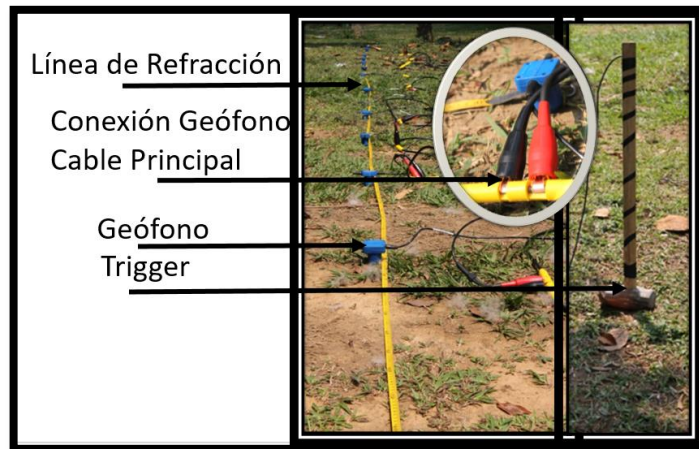


Figura 2. Conexión geófonos y extensión cable principal.

Se conecta el cable principal y la batería de 12 voltios al GEODE. Posteriormente se realiza la conexión del cable disparador (trigger) a la porra y al GEODE, este disparador es el que activa los geófonos al momento del golpe para recibir las ondas de refracción. Ver Figura 3.

Finalmente se conecta el computador al GEODE. Ver figura 3.



Figura 3. GEODE conexión múltiple, Conexión Trigger-Porra.

Captación de datos en campo:

Por medio del programa GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER se adquieren los datos del tiempo que demora en llegar la onda a cada geófono, y teniendo en cuenta la ubicación de ellos, se captan las velocidades de onda del subsuelo.

Se ingresa al programa y se verifica el funcionamiento de los geófonos por medio de golpes suaves cerca a estos mirando desde el monitor si se detectan los cambios en las líneas de cada canal en el panel de ruido. Ver Figura 4.

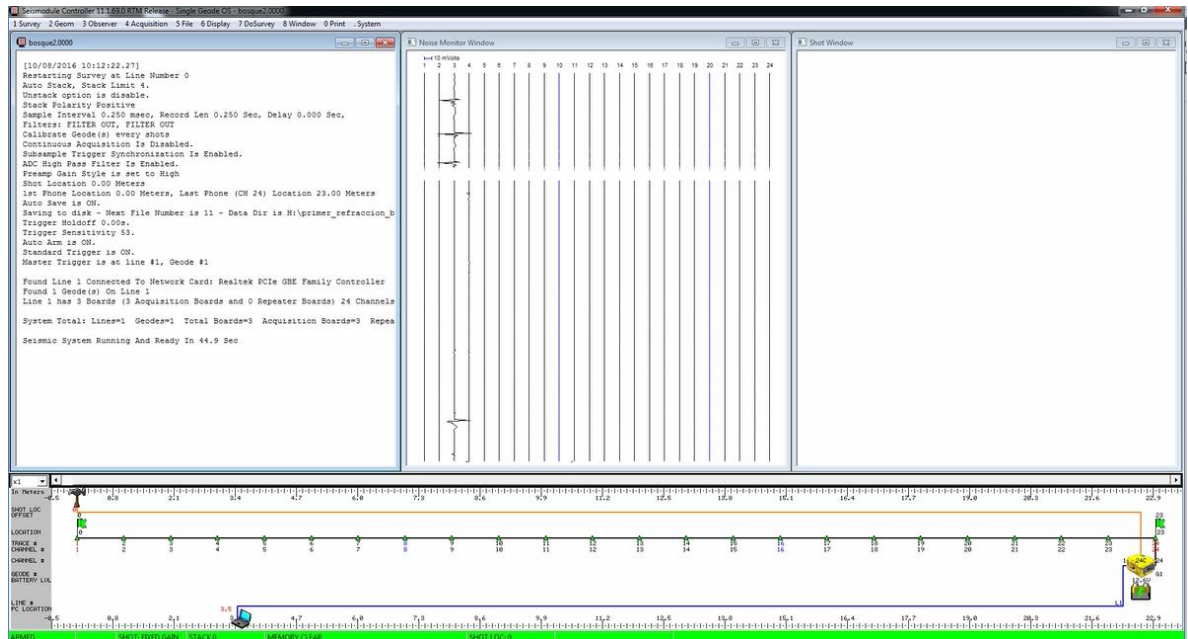
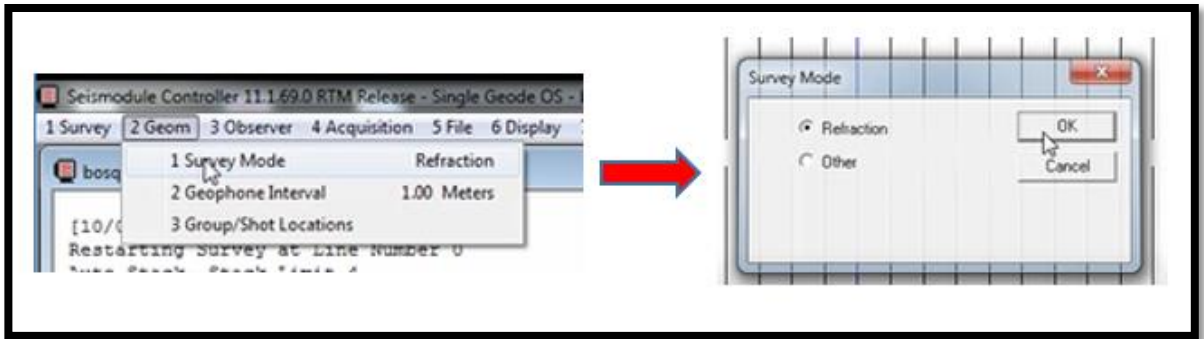


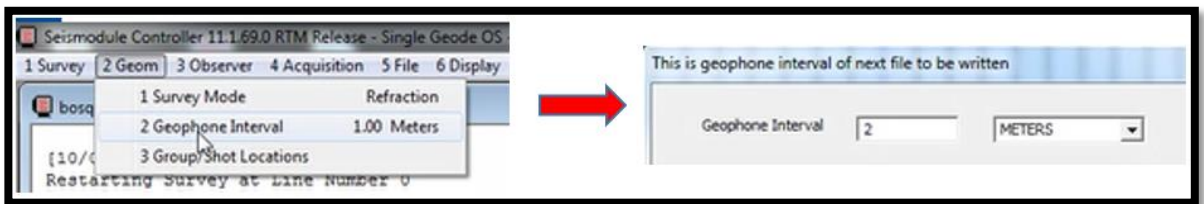
Figura 4. Interfaz programa Geometrics Seismodule Controller.

Se configura el software según sea requerido para el estudio, realizando modificaciones en distancias, tiempos de adquisición, ubicación del disparador, ganancias de los geófonos, la cantidad de golpes, entre otros. Como se verá a continuación para el ensayo realizado se realizaron las siguientes modificaciones y verificaciones:

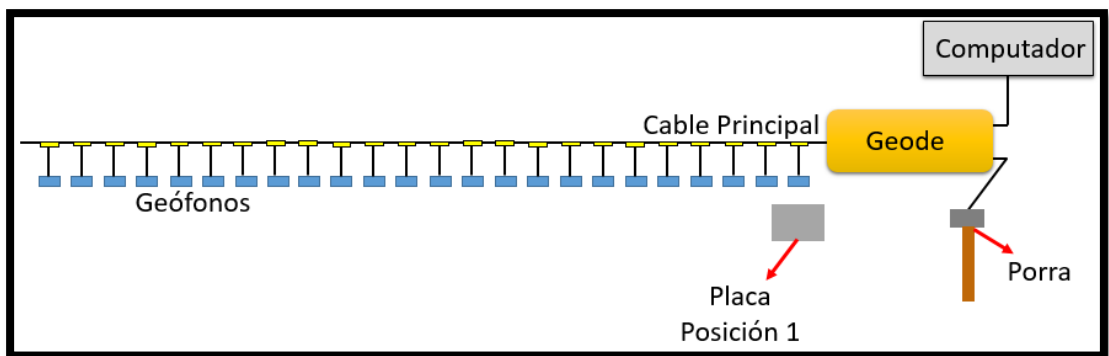
Modo de ensayo: Refracción.

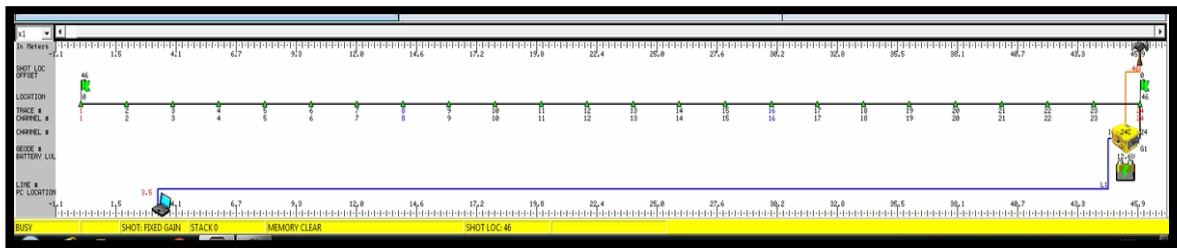
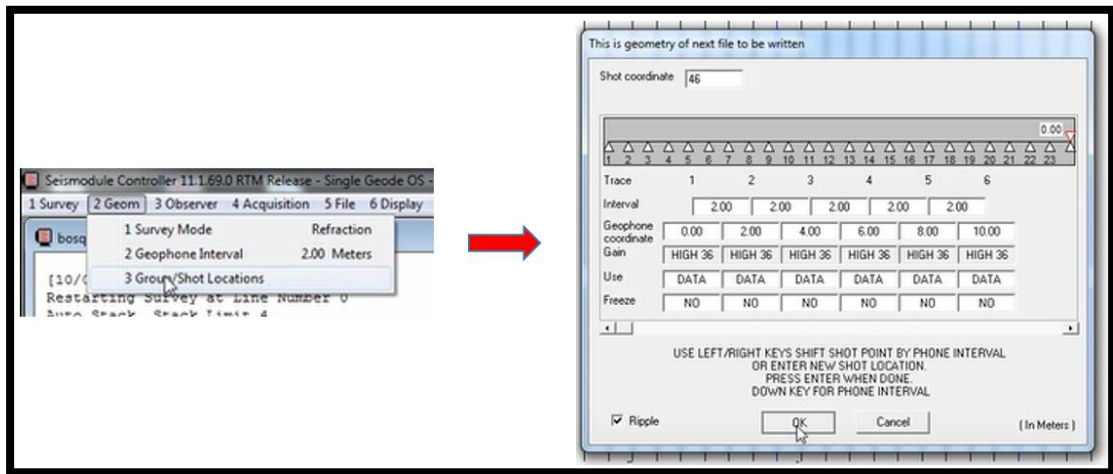


Se asigna el intervalo de distancia entre geófonos (para este ensayo cada 2[m]).

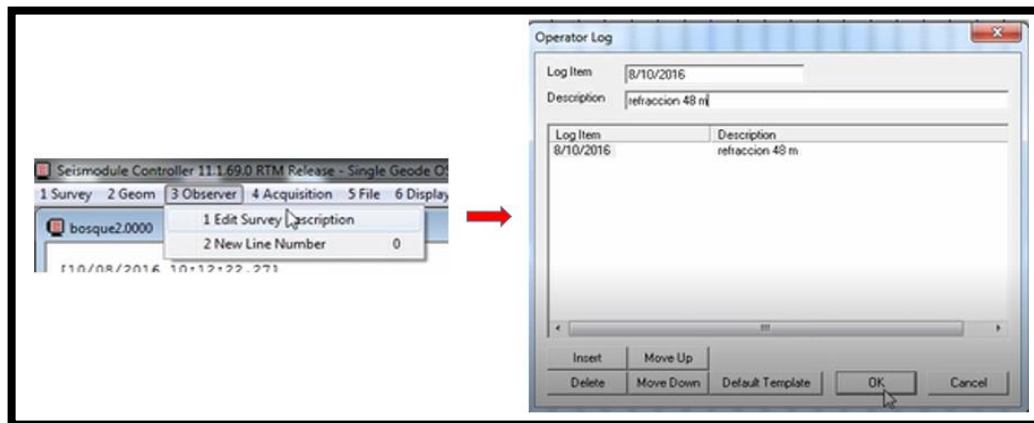


Localización de coordenada del primer golpe (Geófono ubicado a 46 [m]). Esto implica que la placa a golpear en este caso se encuentra al lado del GEODE, es decir el martillo en la interfaz se cambia de posición y queda al lado del GEODE, antes se encontraba en la coordenada 0.

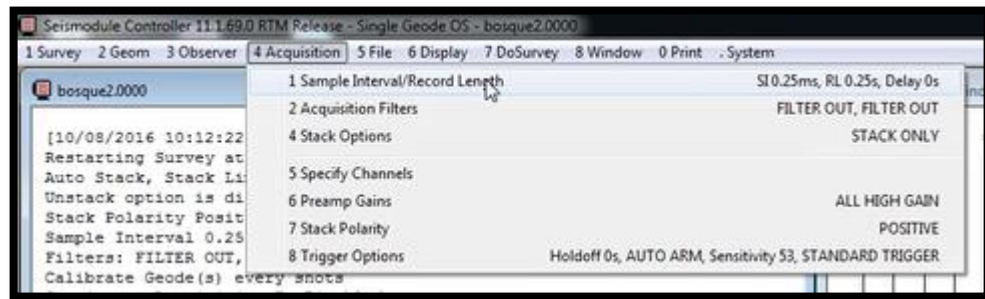




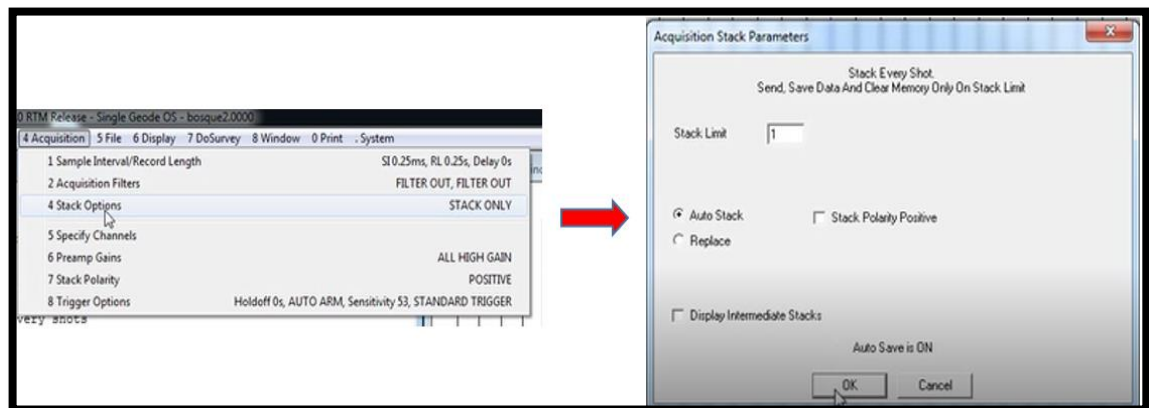
Se edita la carpeta donde el ensayo será guardado y la descripción del ensayo a realizar. Aquí se colocó la fecha del ensayo y para la descripción la longitud de la línea de refracción.



Se verifica que las opciones Sample Interval/Record Length y Acquisition Filters se encuentren en las condiciones de la figura siguiente, de lo contrario entrar a estas y realizar las respectivas modificaciones con los valores mostrados.



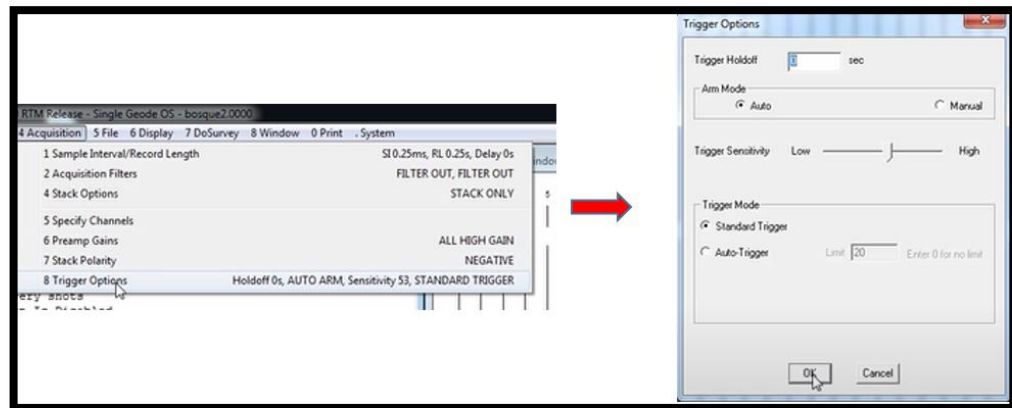
Ahora se verifica la opción Stack Options, donde se cambia el valor de stack limit 1, y se desmarca la opción Stack Polarity Positive.



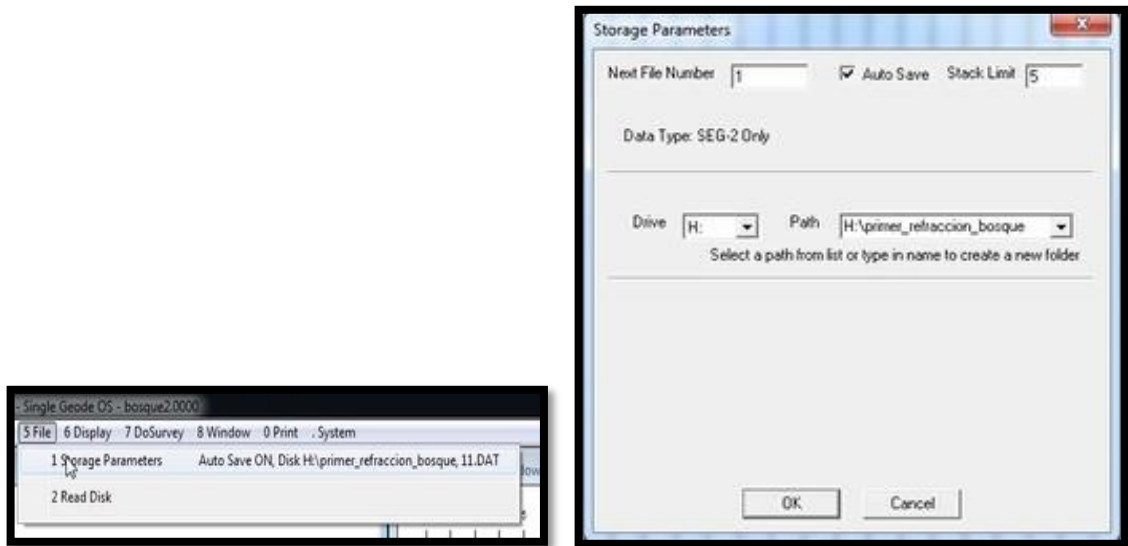
En la misma opción acquisition, se revisan los parámetros Preamp Gains y Stack polarity, que deben quedar, Pream Gains-ALL HIGH GAIN y Stack Polarity-NEGATIVE.



Ahora se accede a la opción Trigger Options donde se deben colocar las opciones siguientes: (Trigger Holdoff=0 sec), Arm Mode-Auto y Trigger Mode- Standard Trigger.

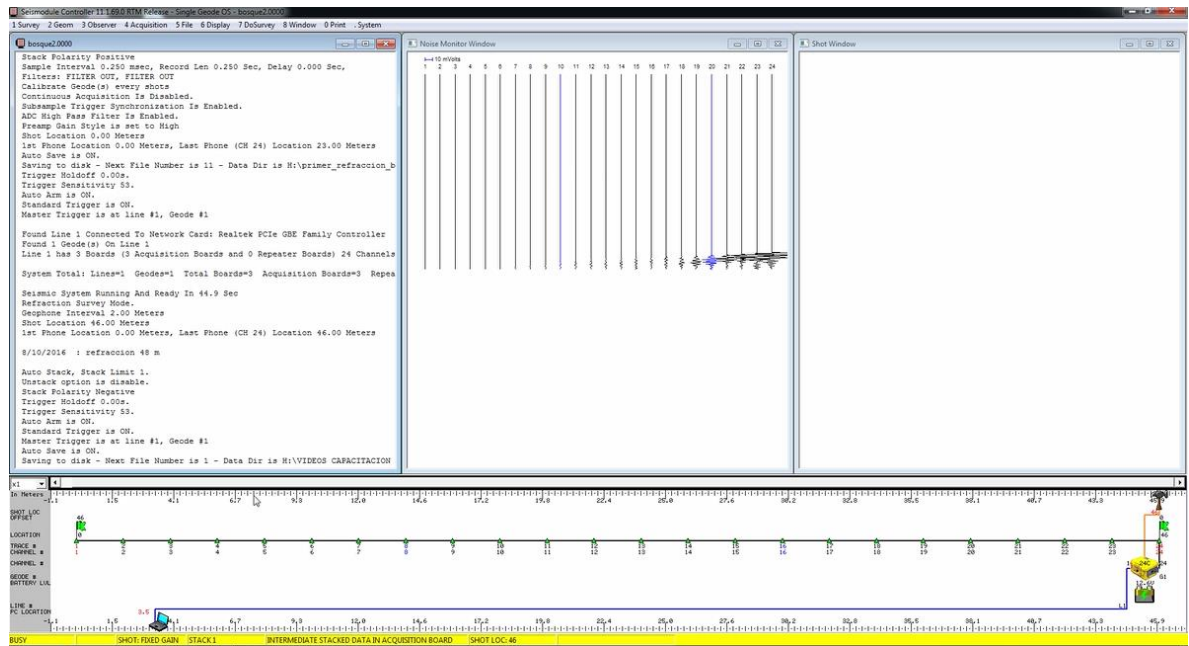


En la opción Storage Parameters, se realiza la configuración del lugar donde se desean guardar los datos del ensayo, también la numeración con la que partirá el nombre del ensayo y la cantidad de golpes por archivo generado, es decir, para este caso lo guardará en la carpeta H:\primer_refraccion_bosque, con el número 1 y el archivo será generado al realizar el quinto golpe. Cabe aclarar que estos 5 golpes son realizados para la placa en la posición (Geófono ubicado a 46 [m]) como se explicó anteriormente.

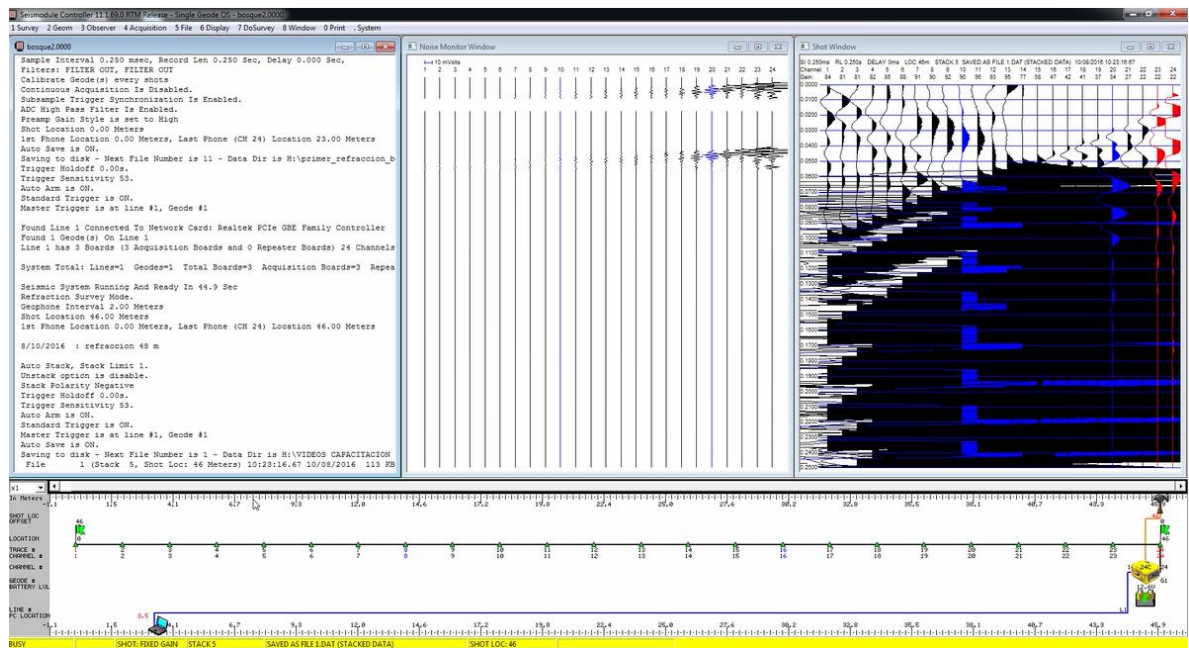


Se procede a realizar los golpes requeridos según la configuración que se propuso, antes de empezar la prueba se puede deshabilitar la lectura de datos oprimiendo la tecla 1 (Barra inferior se pone de color rojo), si se quiere reactivar de nuevo la misma tecla. Al realizar el primer golpe la barra de la parte inferior se pone amarilla y luego de nuevo en verde, lo que significa que se puede realizar el siguiente golpe, así hasta completar los golpes configurados.

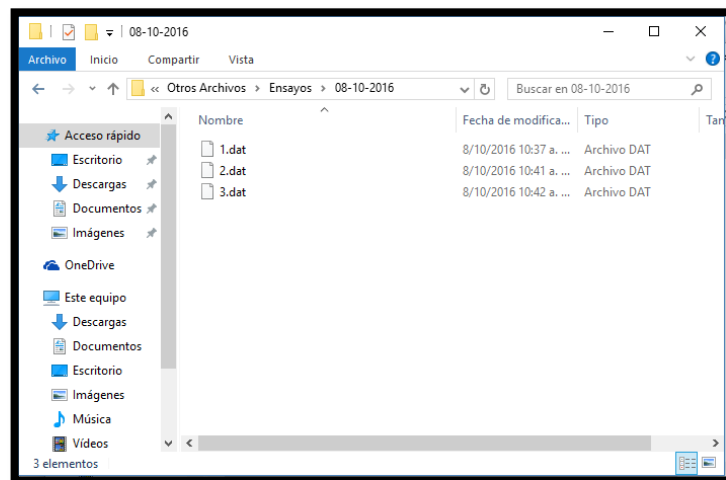
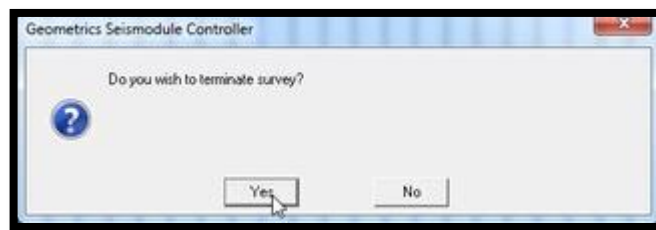
Al realizar un golpe aparece algo como lo siguiente:



Al realizar el último golpe de la configuración, aparece el sismograma en la parte derecha del programa, así:



Este será el archivo guardado con el nombre 1, para la placa en la posición 1. Se cambia de posición la placa y se coloca a 23[m] del GEODE, es decir en el punto medio de la línea de refracción (no necesariamente son 3 posiciones de la placa, la posición de los golpes y la cantidad de estos se pueden elegir a gusto, según la calidad que se quiera obtener en el ensayo) se configura el programa en Shot location-Shot coordinate-23 para darle la posición 2 en el software y se realizan los golpes necesarios para generar el segundo archivo con el nombre 2. Por último se realiza el mismo procedimiento para la placa en la posición 3, es decir Shot location-Shot coordinate-0. Se cierra el programa y de esta manera obtenemos los 3 archivos, los cuales quedan guardados automáticamente, de la siguiente manera:

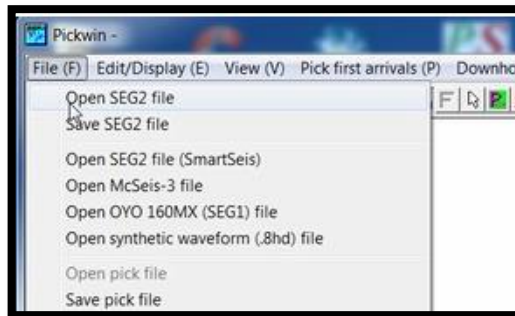


De esta manera concluye el ensayo de campo y se procede a la utilización del software PICKWIN.

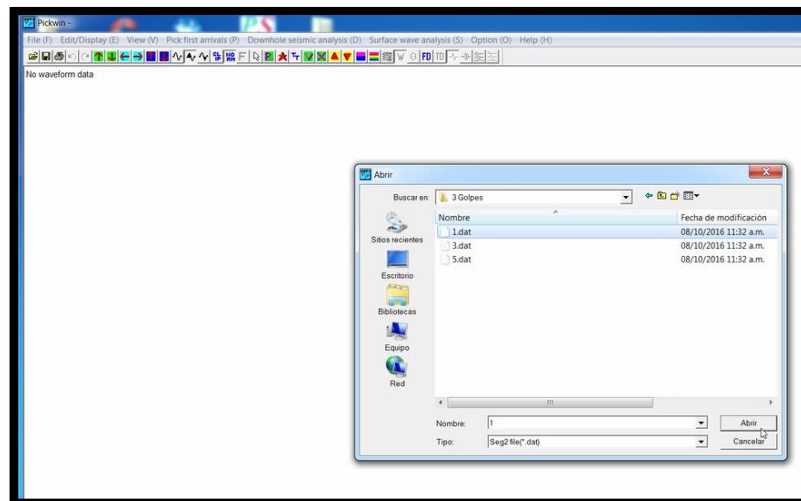
Análisis de datos

Software PICKWIN

Este software se utiliza para marcar la llegada de las ondas P a cada uno de los geófonos. Se importa el archivo generado en GEOMETRICS SEISMODULE CONTROLLER al programa PICKWIN.



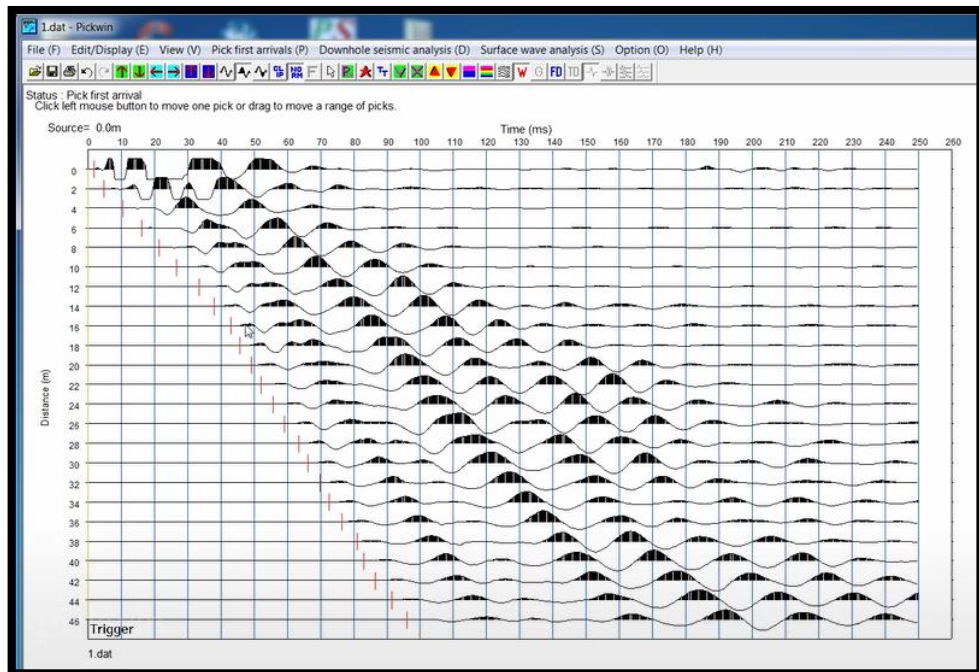
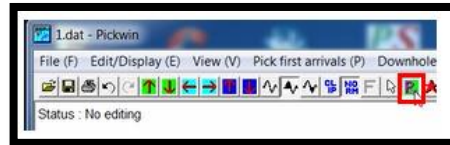
Se abre el primer archivo generado en campo, es decir el archivo 1.



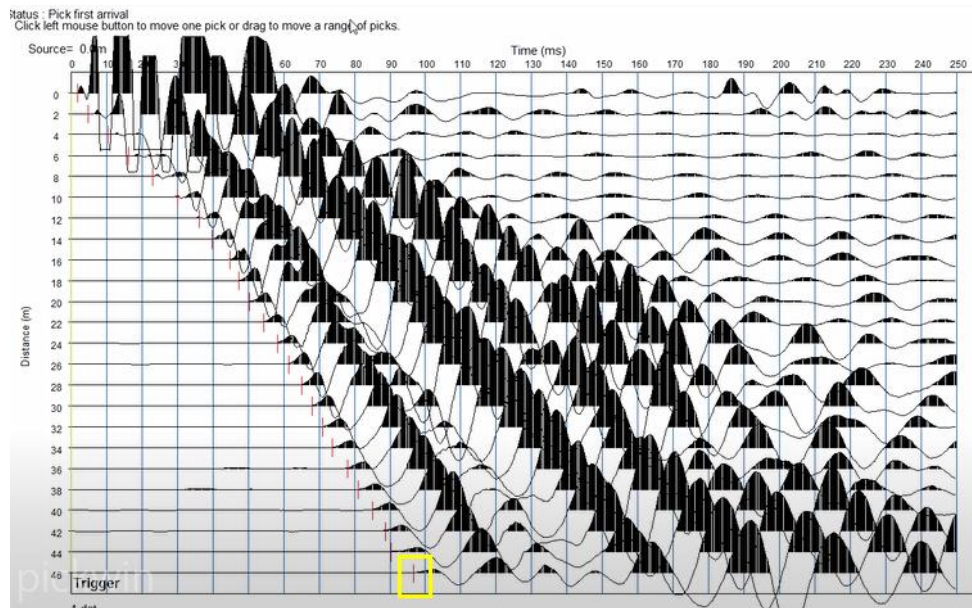
Ahora se realiza la identificación del tiempo de llegada de las ondas primarias a cada uno de los geófonos, se realiza el respectivo picado que consiste en trazar

puntos en la llegada de cada onda para realizar una línea que representa la velocidad de la onda en la línea de refracción.

Se da click en la opción Pick y el programa devuelve un picado el cual toca corregir de tal manera que quede lo más cerca posible a la onda de llegada (Onda P).

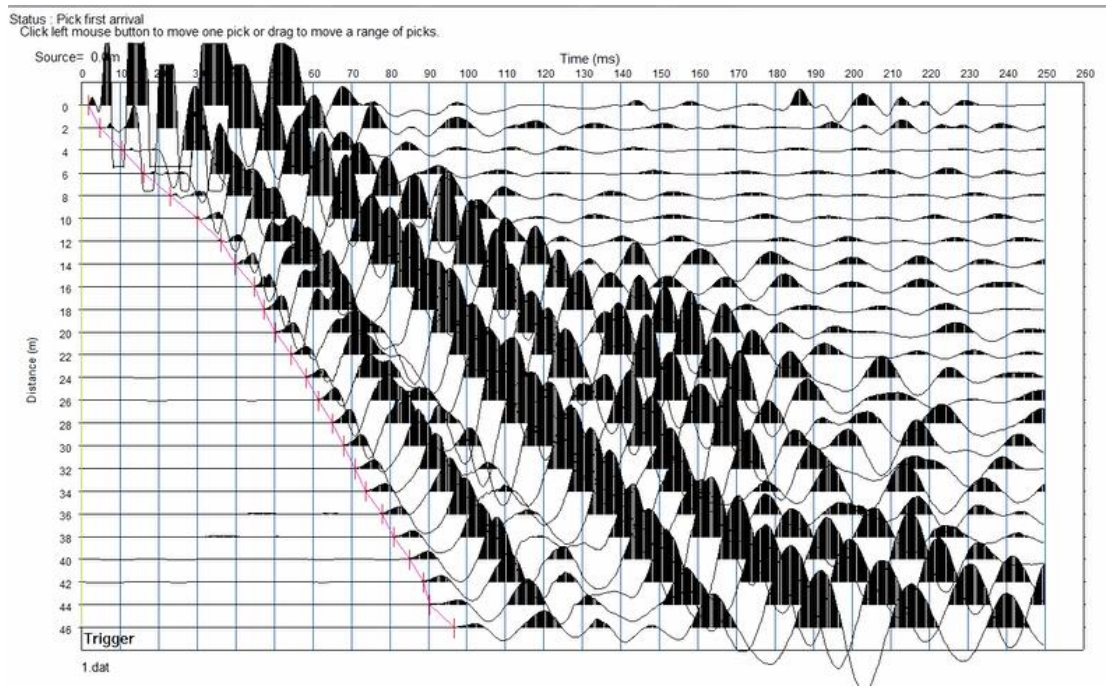


Se corrige haciendo click en el punto donde se puede encontrar la llegada de la primera onda.

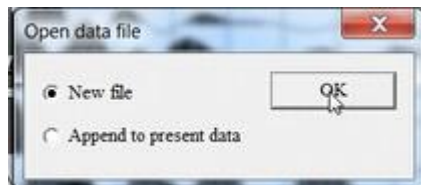
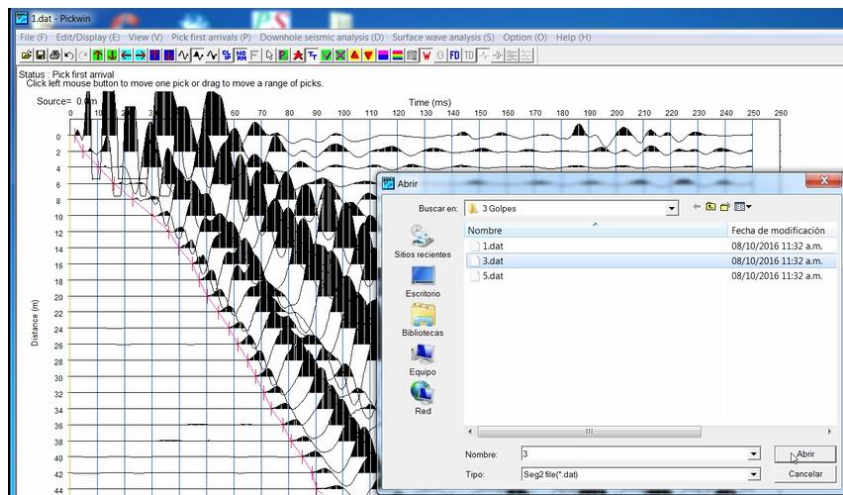


Se da click en la opción de la estrella roja resaltada en la imagen siguiente y esta genera la línea de picado.

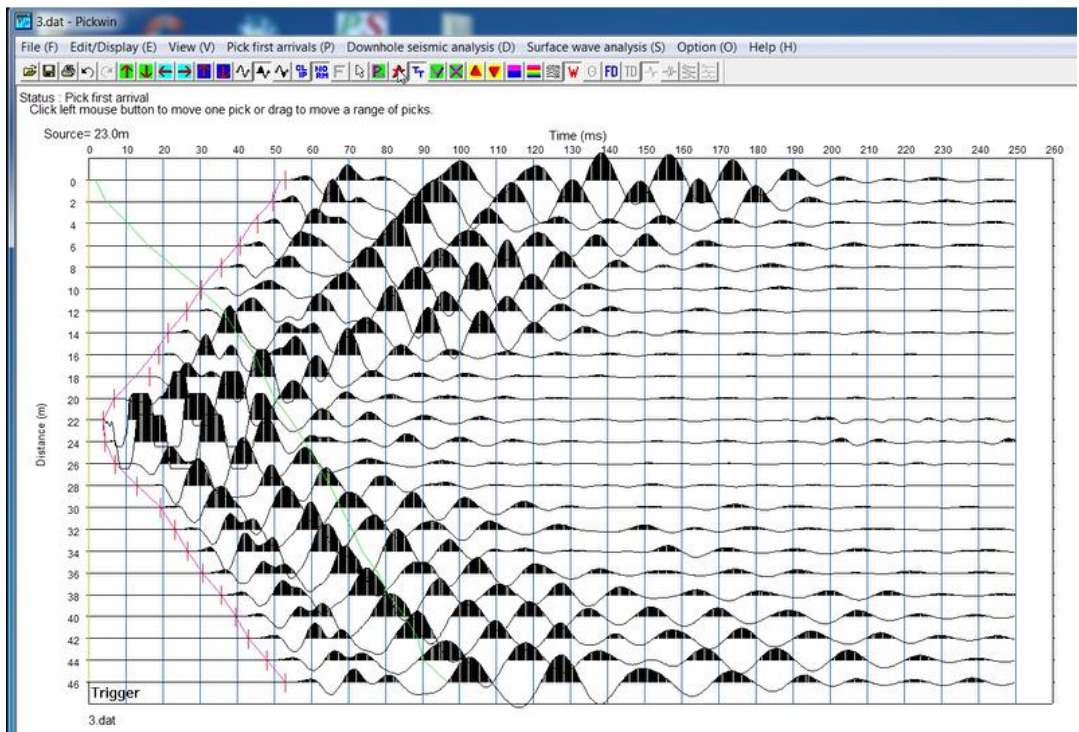




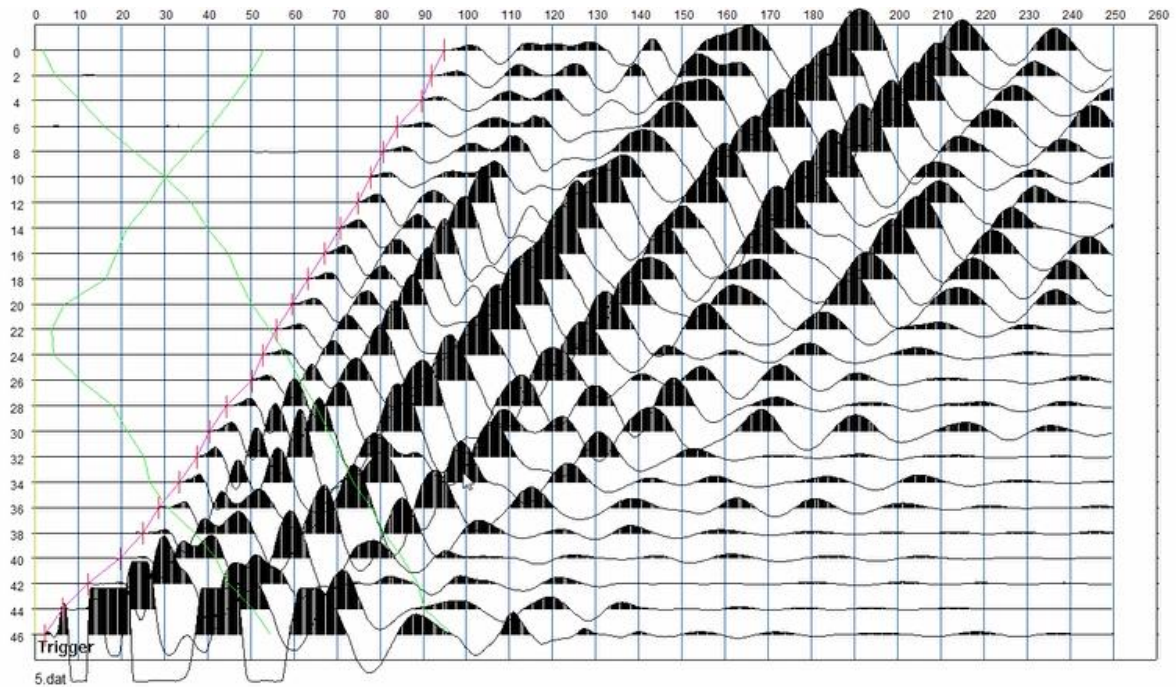
Se realiza el mismo procedimiento para los tres archivos generados durante el proceso de obtención de datos de campo. Cabe resaltar que el archivo se abre uno sobre el otro y no se cierra el programa hasta no terminar los 3 picados. Como se puede detallar en la imagen el picado del primer archivo queda en la parte posterior de un color diferente al de las ondas donde vamos a generar nuestro segundo y tercer picado.



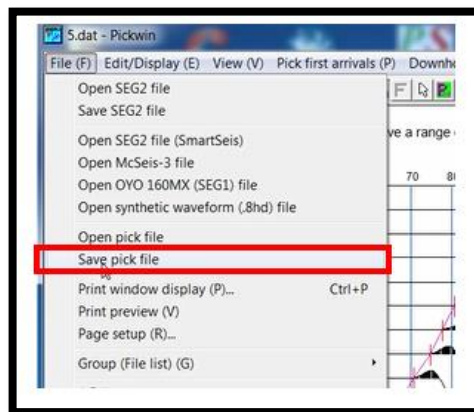
Así queda el segundo picado:



Tercer picado:



Se guarda el archivo de la siguiente manera:



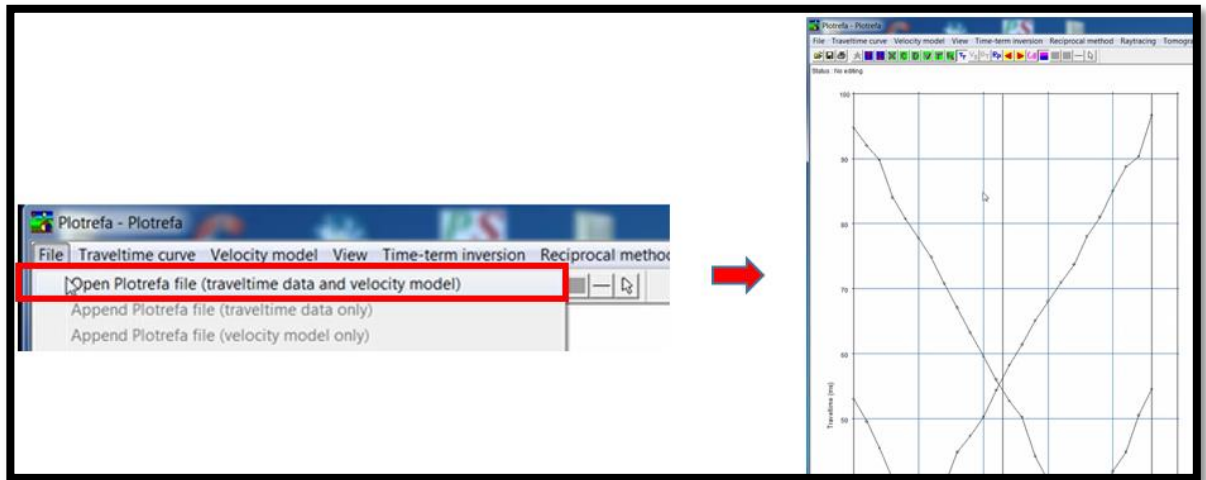
De esta manera culmina la utilización del programa PICKWIN.

Software PLOTREFA

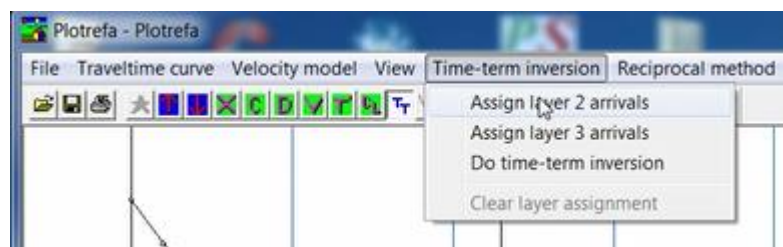
Este software revisa la obtención de datos y se corrigen los errores en el gráfico de distancia vs tiempo de viaje. La información del programa PICKWIN es

importada al software PLOTREFA, allí se obtienen gráficas donde se determinan los cambios de pendiente, que indican los cambios de velocidad en el suelo.

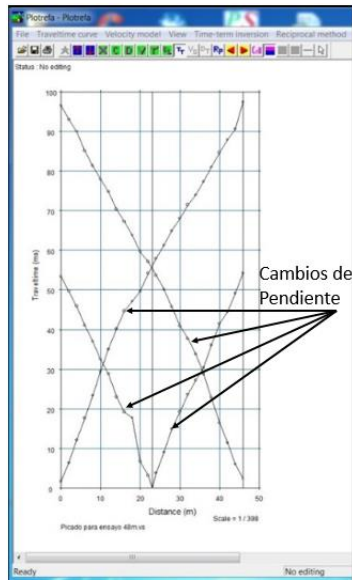
Se abre el archivo generado en PICKWIN.



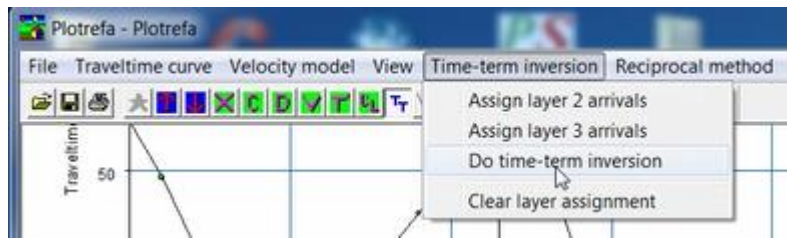
Se da click en la opción Time-Term inversión-Assign layer 2 arrivals, el cual genera unos puntos rojos en la gráfica que se tenía anteriormente y de los cuales se va a marcar con un click donde se encuentra el cambio de pendiente.



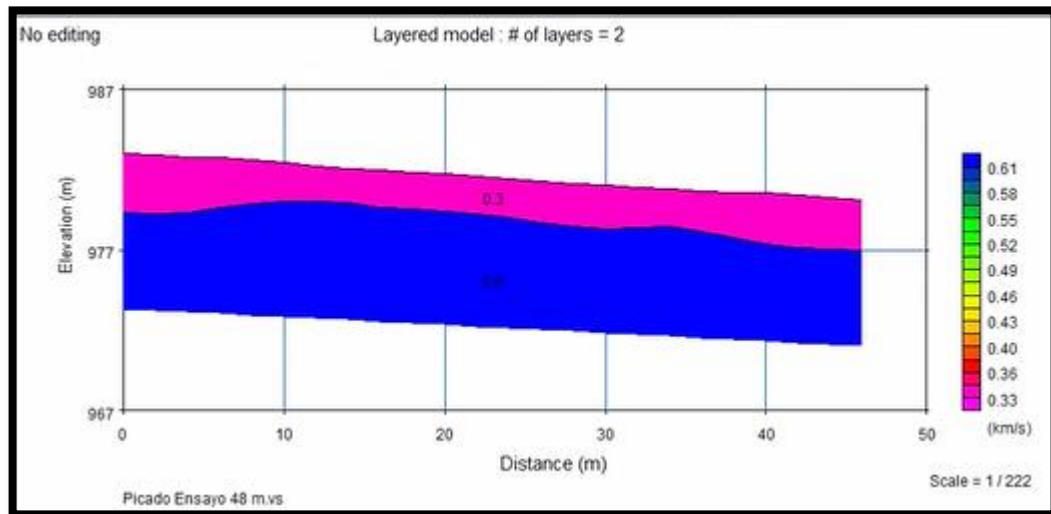
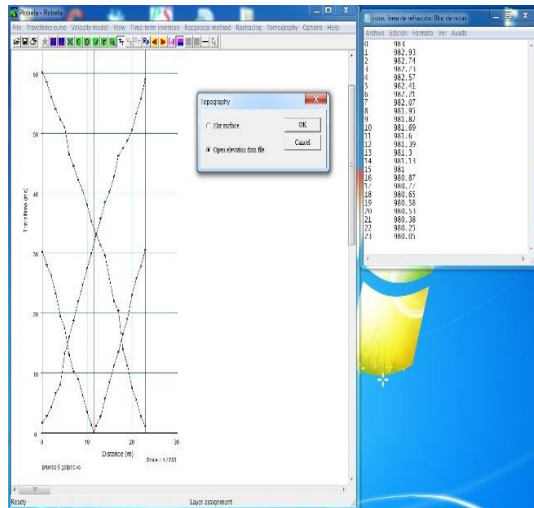
Al marcar el cambio de pendiente los puntos que están por encima del punto seleccionado se vuelven de color verde, sólo se marca un cambio de pendiente por línea.



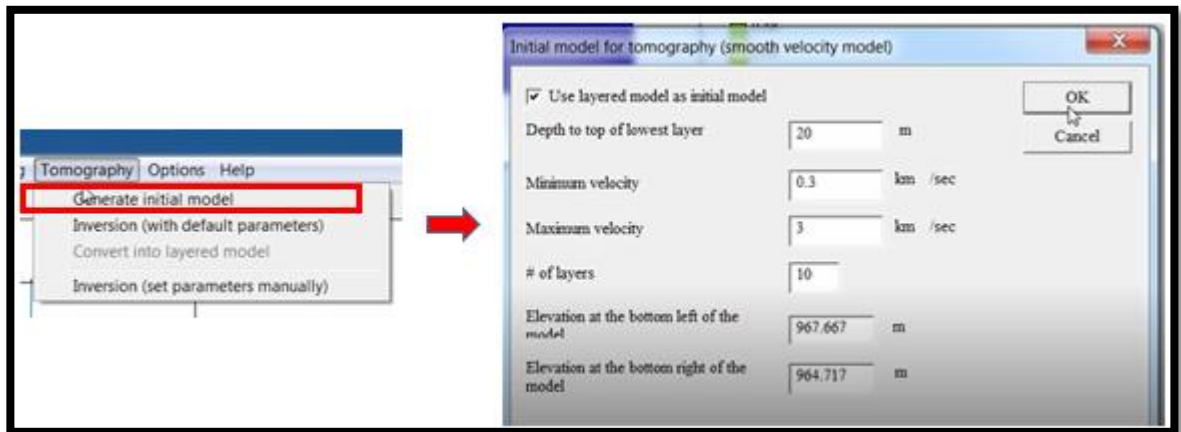
De Nuevo al ir a la función Time-term inversión se da click en la opción Do time-term inversion.



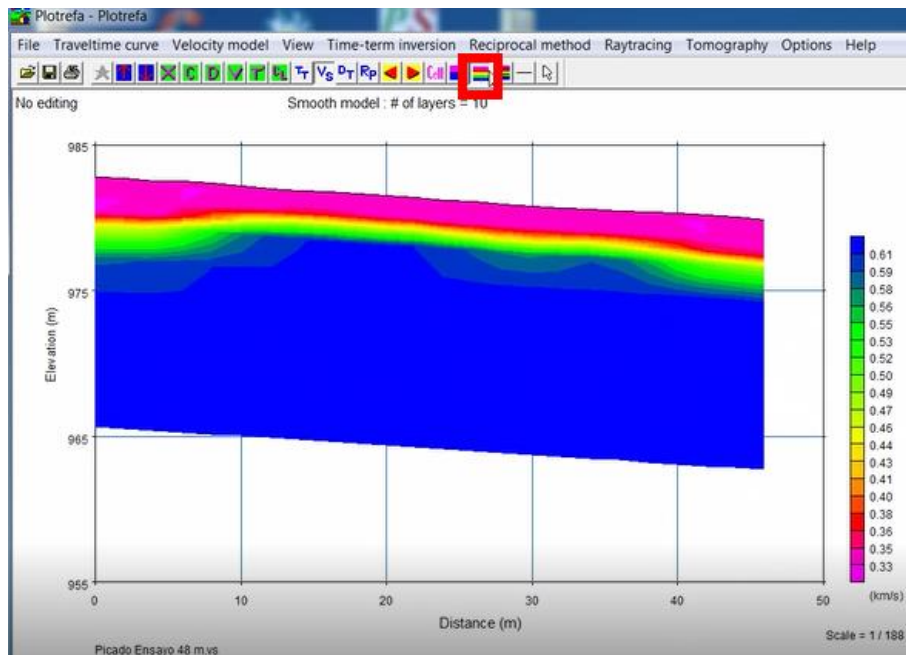
Se ingresan los datos obtenidos en el levantamiento por altimetría, dando click en la opción open elevation data file, por último salen dos advertencias, de da click en aceptar en ambas y se obtiene el perfil de velocidad de onda modelado en dos capas.



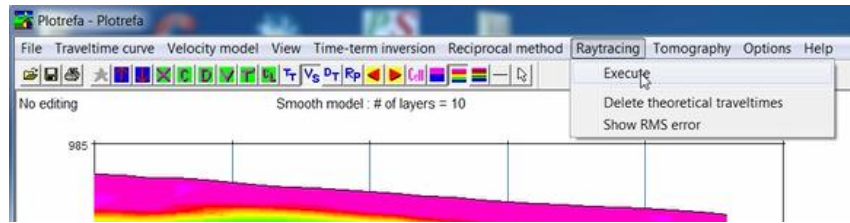
Se utiliza la opción tomografía la cual genera un modelo proyectando los datos obtenidos utilizando un algoritmo para suavizar las líneas de los perfiles y ofrecer mayor exactitud en el perfil, se dejan los datos allí por defecto.



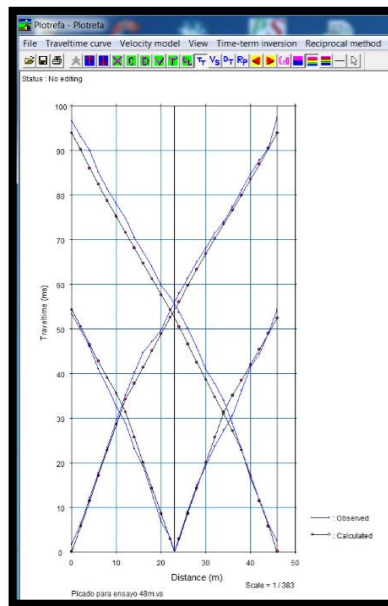
Se obtiene el perfil de suelo un poco más detallado. Al dar en la opción a continuación, el perfil queda así:



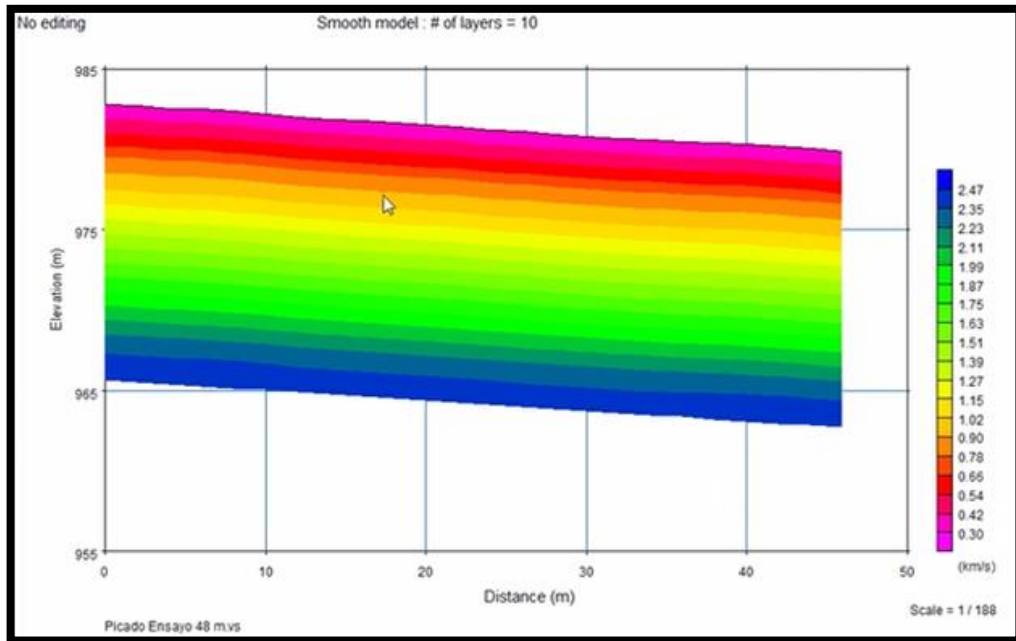
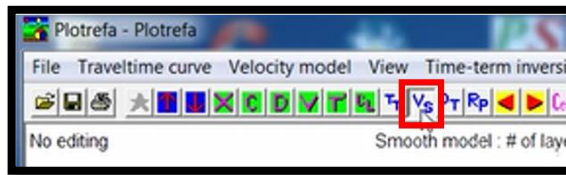
El software PLOTREFA tiene la opción de realizar una corrección sobre los datos ya obtenidos. Para esto se va a la opción Raytracing-Execute.



Al hacer esta corrección el perfil queda de la siguiente manera:



Para observar el perfil toca ir a la opción Vs, por último se hace de nuevo click en tomografía, se dejan las opciones por defecto y se obtiene el perfil definitivo.



En caso de alguna duda visitar la página donde se encuentra el video sobre el ensayo.