SI-178 CONSULTORÍA PARA LA REVISIÓN Y/O AJUSTE Y/O ACTUALIZACIÓN Y/O MODIFICACIÓN Y/O COMPLEMENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, HIDRÁULICOS Y DISEÑOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL TALUD DERECHO DE LA VÍA DIRECCIÓN TUNJA-BOGOTÁ SECTOR SAN IGNACIO AVENIDA ORIENTAL ENTRE LAS CALLES 19 Y 20 DE LA CIUDAD DE TUNJA DEPARTAMENTO DE BOYACÁ DE CONFORMIDAD A LO ESTABLECIDO EN EL FALLO Nº 15001 – 33 – 33 – 007 – 2011 – 00178 CONTRA EL MUNICIPIO DE TUNJA.

INFORME EXPLORACION GEOFISICA 1423

PROYECTO ELABORADO PARA:

MUNICIPIO DE TUNJA



CONTROL INGENIERÍA S.A.S.

NIT: 900446925-7

Contactos:
Tel: (038) 747 4417
Cel: 318 683 5421 / 312411 3265
Calle 43 # 8a - 06 Tunja - Boyacá
www.appcontrolingenieria.com

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO 2

1. GENERALIDADES 3
1.1 Introducción: 3
1.2 Objetivos 4
1.3 Descripción del proyecto 4
1.4 Ubicación. 4

MARCO TEORICO 6
1.5 Línea de refracción sísmica 6
1.6 Prospección Líneas Sísmicas De Refracción 11
1.7 ENSAYO MASW 13

METODOLOGÍA DE ADQUISICIÓN EN CAMPO DE LÍNEAS SÍSMICAS DE REFRACCIÓN: 16

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO 17
1.8 Geología regional en la zona de estudio. 19
1.9 Datos de registros LRS No 1 20
1.10 Dromocronas LSR No 1 26
1.11 Datos de registros LRS No 2 29
1.12 Dromocronas LSR No 2 35

3. CONCLUSIONES: 50

BIBLIOGRAFÍA 53

CONTROL INGENIERÍA S.A.S.

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción:

Actualmente, diferentes entidades de orden nacional como la ALCALDIA DE TUNJA a través del proceso desarrollan proyectos para generar conocimiento aplicable a la estructuración de proyectos de inversión de interés sobre todo el territorio. Este conocimiento se aporta mediante la investigación, evaluación y monitoreo de procesos naturales y antrópicos que podrían generar amenazas de origen geológico, esto con el fin de apoyar la elaboración de los planes de ordenamiento territorial, gestión del riesgo, desarrollo de infraestructura entre otros, con el objetivo de contribuir al desarrollo del país. Entre estos proyectos, se identifica la estructuración y rehabilitación de corredores viales afectados por procesos de inestabilidad geotecnia.

Con el fin de dar cumplimiento a lo anterior y con base en los requerimientos establecidos en el contrato "SI-178 CONSULTORÍA PARA LA REVISIÓN Y/O AJUSTE Y/O ACTUALIZACIÓN Y/O MODIFICACIÓN Y/O COMPLEMENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, HIDRÁULICOS Y DISEÑOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL TALUD DERECHO DE LA VÍA DIRECCIÓN TUNJA-BOGOTÁ SECTOR SAN IGNACIO AVENIDA ORIENTAL ENTRE LAS CALLES 19 Y 20 DE LA CIUDAD DE TUNJA DEPARTAMENTO DE BOYACÁ DE CONFORMIDAD A LO ESTABLECIDO EN EL FALLO Nº 15001 – 33 – 33 – 007 – 2011 – 00178 CONTRA EL MUNICIPIO DE TUNJA y el municipio de Tunja,; a través de los resultados de exploración geotécnica indirecta realizados en el área descrita se esperan obtener las propiedades mecánicas y reológicas representativas de los materiales que componen el subsuelo, con el fin de generar insumos para la posterior elaboración de un modelo geológico.

La integración de métodos geofísicos permite realizar interpretaciones globales relacionadas con cualquier fenómeno geológico que sea de carácter prospectivo para la geotecnia y en el campo de la investigación para determinar las características geológico-geotécnicas de un terreno, como parte de las técnicas del reconocimiento geotécnico (Naranjo & Dranichnikov, 2012). Estos métodos representan una herramienta indispensable en la exploración de suelos y pueden ser clasificados como métodos eléctricos, gravimétricos y métodos sísmicos de refracción, siendo estos últimos los aplicados para el desarrollo del actual proyecto.

En el presente informe se recopila la información correspondiente a la descripción geológica, el diseño de adquisición, inversión y procesamiento de la información obtenida a través de la aplicación del método de refracción sísmica adquirido en dos (2) líneas sísmicas, esto como parte de los insumos necesarios

para la elaboración de la configuración del modelo geológico-geotécnico de la zona de estudio.

1.2 Objetivos

A partir de la información sísmica adquirida en cada línea obtener la información necesaria para realizar el cálculo de las velocidades de onda de cuerpo para el caso de la onda compresionales (ondas P) y para el caso de las ondas transversales (ondas S) mediante técnica MASW. Esto con el objeto de obtener la información necesaria para el posterior cálculo de parámetros reológicos y mecánicos.

1.3 Descripción del proyecto

El presente informe contiene información y descripción de la exploración geotecnia indirecta por métodos geofísicos del siguiente proyecto que se realiza en la zona urbana del municipio de Tunja, proyecto SI-178 CONSULTORÍA PARA LA REVISIÓN Y/O AJUSTE Y/O ACTUALIZACIÓN Y/O MODIFICACIÓN Y/O COMPLEMENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, HIDRÁULICOS Y DISEÑOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL TALUD DERECHO DE LA VÍA DIRECCIÓN TUNJA-BOGOTÁ SECTOR SAN IGNACIO AVENIDA ORIENTAL ENTRE LAS CALLES 19 Y 20 DE LA CIUDAD DE TUNJA DEPARTAMENTO DE BOYACÁ DE CONFORMIDAD A LO ESTABLECIDO EN EL FALLO Nº 15001 – 33 – 33 – 007 – 2011 – 00178 CONTRA EL MUNICIPIO DE TUNJA.

1.4 Ubicación.

El talud al cual se le realizará revisión de los estudios y diseños se encuentra ubicado en el costado derecho de la avenida oriental entre las calles 19 Y 20.

CONTROL INGENIERÍA S.A.S.

Ilustración 1. Localización General. Ubicación Geográfica del talud Carrera 10 entre calles 13A - 15.



Fuente Google Maps

CONTROL INGENIERÍA S.A.S.

1.5 Línea de refracción sísmica

La prospección por refracción sísmica permite interpretar la estratigrafía del subsuelo gracias al uso del principio físico del fenómeno de la refracción total de una onda sísmica que incide sobre una interfase localizada entre dos cuerpos con diferentes propiedades mecánicas, (horizonte de refracción). La condición fundamental para llevar a cabo estudios de sísmica por refracción es que la sucesión de los estratos a investigar se caracterice por velocidades sísmicas crecientes al aumentar la profundidad. De este modo se pueden evaluar hasta 4 o 5 horizontes de refracción diferentes.

Los ensayos se basan en la medición de los tiempos de recorrido de las ondas elásticas para las cuales -suponiendo amplias superficies de separación con respecto a la longitud de onda o en todo caso con una débil curvatura- los frentes de onda se representan por medio de los relativos rayos sísmicos. El análisis se basa en el principio de Fermat y en la ley de Snell.

El principio de Fermat establece que el rayo sísmico recorre la distancia entre la fuente y el receptor siguiendo el trayecto para el cual el tiempo empleado de recorrido es mínimo. En este principio, dado un plano que separa dos medios con diferentes características mecánicas, el rayo sísmico es el que se extiende a lo largo de un plano perpendicular a la interfase que contiene tanto la fuente como el recibidor.

La ley de Snell es una fórmula que describe los tipos de refracción de un rayo sísmico en la transición entre dos medios caracterizados por diferentes velocidades de propagación de las ondas o, equivalentemente, por diferentes índices de refracción. El ángulo formado entre la interfase y el rayo se denomina ángulo de incidencia θi, mientras que el formado entre el rayo refractado y la superficie normal se denomina ángulo de refracción θr. La fórmula matemática es:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Donde v_1 y v_2 son las velocidades de los dos medios separados por la interfase.

Cuando $v_1 > v_2$ se tiene que $\theta_i > \theta_r$ y por lo tanto la sísmica por refracción nos es factible ya que el rayo refractado se inclinaría hacia abajo. Cuando $v_1 < v_2$ se tiene que $\theta_i < \theta_r$ y existe un ángulo crítico de incidencia por lo que $\theta_r = 90°$ y el

rayo refractado viaja paralelamente a la interfase. La expresión que define el ángulo crítico es:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

La forma más sencilla de analizar los datos de refracción es construyendo un gráfico tiempo-distancia cuyo origen corresponda a la fuente de generación de las ondas elásticas. En el eje de las abscisas se representan las posiciones de los geófonos y en las ordenadas los tiempos de primera llegada. A los geófonos más cercanos a la fuente llegan primero los impulsos que han seguido el recorrido directo en un tiempo T dado por la relación

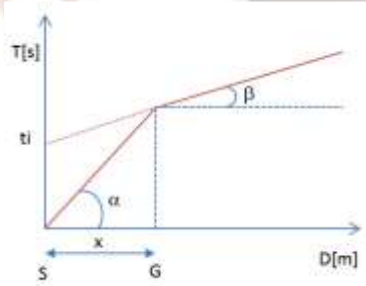
$$T = x_i / V_1$$

Donde x_i es la distancia entre el punto de disparo y el punto de detección.

La ecuación anterior representa una recta que pasa por el origen de los ejes tiempos-distancias y su coeficiente angular permite calcular la velocidad V1 del primer medio como

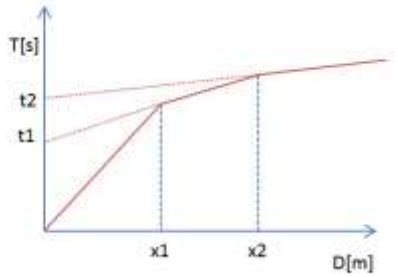
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

Los tiempos de llegada de los rayos refractados en el diagrama tiempos-distancias se disponen según una recta que tendrá una inclinación menor a la de las ondas directas.



La curva tiempos-distancias tiende a un comportamiento regular según una polilínea cuyos vértices se denominan codos, los cuales representan, físicamente, la condición donde se da la llegada contemporánea de las ondas directas y la refractadas. Por lo tanto, para cada uno de los segmentos se determina el tiempo de retraso t_i que representa la diferencia entre el tiempo que el rayo sísmico emplea en recorrer un tramo a la velocidad propia del estrato en el cual se transmite y el tiempo que emplearía para viajar a lo largo del componente horizontal de ese tramo a la máxima velocidad alcanzada en toda la trayectoria de refracción.

Gráficamente el tiempo de retraso está dado por la intersección de la recta que comprende un segmento de la curva tiempo-distancia con el eje de los tiempos.

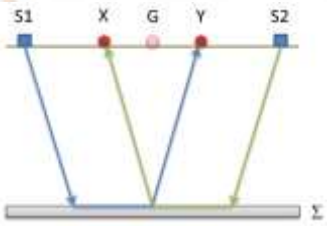


Entonces, conociendo los tiempos t_i es posible obtener los espesores de los refractores mediante la relación:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}}\left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1 V_i} - \ldots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1 V_{(i-2)}}\right)$$

En situaciones morfológicamente complejas, como método de elaboración se puede utilizar el Método de reciprocidad generalizada (Generalized Reciprocal Method) examinado por Palmer en 1980.

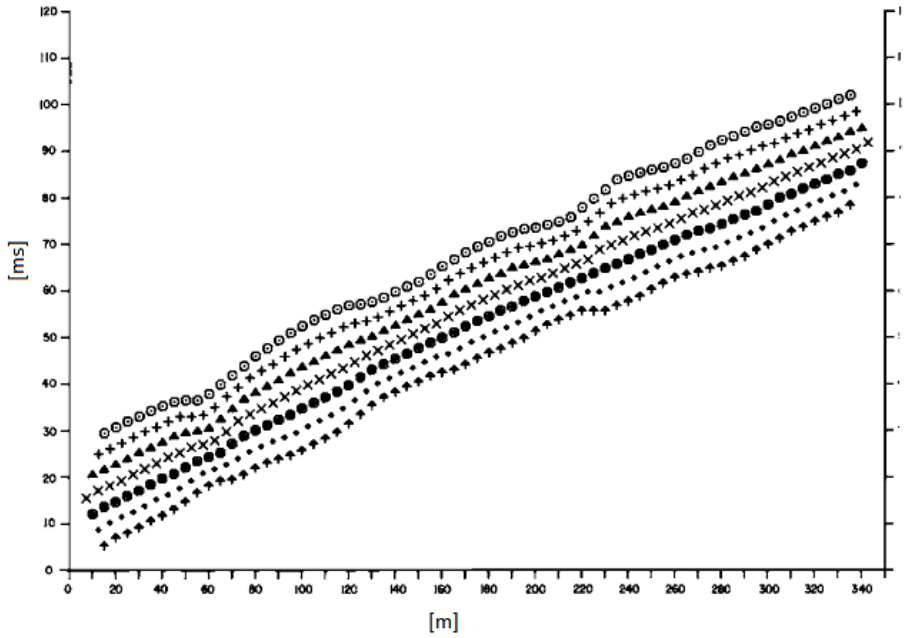
Este método se basa en la búsqueda de una distancia virtual XY entre geófonos tal que los rayos sísmicos que parten de puntos de disparo simétricos respecto al tendido, lleguen al geófono colocado en la posición X y al colocado en la posición Y, proviniendo desde un mismo punto del refractor



El primer paso operativo es construir un diagrama tiempos-distancias identificando en los sismogramas obtenidos con los datos de campo, las primeras llegadas de las ondas sísmicas. Para determinar la distancia óptima XY es necesario considerar varios puntos de disparo, tanto de los extremos como del interior del tendido. Esto hace posible identificar con más precisión los tiempos relativos de un mismo refractor que sirven para caracterizar las dromocronas, las cuales son fundamentales para la interpretación. En las interpretaciones multi estratos, para generar las dromocronas se puede aprovechar las técnicas de phantoming y así superar la falta de datos de algunos refractores.

Partiendo de la construcción de las dromocronas es posible determinar *la función velocidad* según la ecuación

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



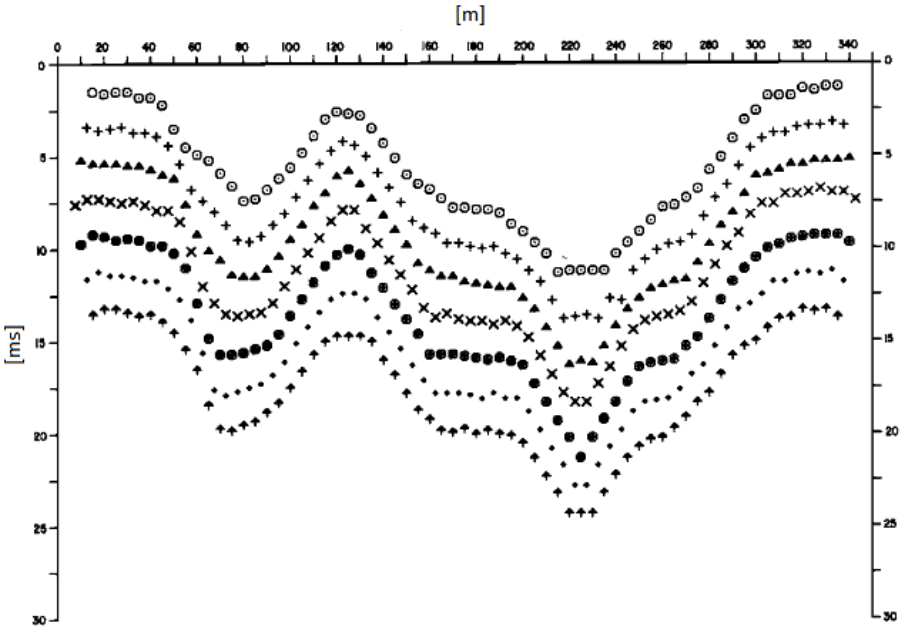
Donde T_{S1Y} y T_{S2X} son los tiempos de recorrido de los rayos sísmicos para llegar, respectivamente, de la fuente S1 a X y de la fuente S2 a Y, mientras que T_{S1S2} es el tiempo de recorrido entre dos puntos de disparo S1 y S2, externamente simétricos con respecto al tendido. T_V es el tiempo calculado en un geófono G puesto entre X y Y, no necesariamente coincidente con la posición de un geófono del tendido.

El cálculo de la función T_V se lleva a cabo para cada valor de XY comprendido entre cero y la mitad del tendido con variación igual a la distancia real entre los geófonos del tendido. La mejor recta de regresión de las funciones de velocidad obtenidas, permite determinar el XY óptimo y la velocidad del refractor que se obtiene del coeficiente angular.

Mediante la función tiempo-profundidad es posible encontrar la profundidad del refractor expresada en unidad de tiempo. Dicha función se expresa con:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n}\right)}{2}$$

Donde V_n es la velocidad del refractor.



De la misma manera que con la función velocidad, se determinan varias funciones tiempo-profundidad para el conjunto de los valores XY en estudio. Entre las funciones encontradas, la que presente la mayor articulación compete al valor óptimo de XY.

Finalmente, es posible determinar el espesor del refractor en las correspondientes posiciones de los geófonos G mediante la relación:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h representa la profundidad mínima desde el geófono G por lo tanto la morfología del refractor se define con la envolvente de las semicircunferencias de rayo h.

Una de las principales ventajas del G.R.M. es que el factor de conversión de la profundidad es relativamente insensible a las pendientes hasta aproximadamente 20°

1.6 Prospección Líneas Sísmicas De Refracción

La refracción sísmica es particularmente empleada para el reconocimiento de áreas donde no existe información geológica de la superficie, particularmente en estudios de ingeniería y geotecnia para determinar la velocidad de compresión (Vp), profundidad, y espesores de las diferentes capas que componen el subsuelo.

El método se basa en la medición del tiempo de viaje de las ondas refractadas críticamente en las interfaces de las capas con diferentes propiedades físicas; fundamentalmente por contraste entre impedancias acústicas ($i = \rho.v.$; en donde ρ es la densidad y v la velocidad de la capa). La energía sísmica se genera mediante un impacto controlado en superficie (o a una determinada profundidad), que va propagándose en forma de onda elástica a través del subsuelo interaccionando con las distintas capas.

Perturbaciones generadas al suelo originan los diferentes tipos de ondas mecánicas entre estas las ondas "P" (longitudinales) y ondas "S" (transversales), de manera que una parte de la energía se refleja y permanece en el mismo medio que la energía incidente, y el resto se transmite al otro medio con un fuerte cambio de la dirección de propagación debido al efecto de la interface (refracción). De esta interacción, la sísmica de refracción solo considera las refracciones con ángulo crítico ya que son las únicas ondas refractadas que llegan a la superficie y pueden ser captadas por los geófonos.

Cada capa se distingue por su impedancia acústica y se le llama refractor. El resultado de este método es una imagen sísmica del terreno en forma de campo de velocidades posteriormente es interpretado geológicamente.

La refracción sísmica se presenta, para cada línea, en dos perfiles llamados modelo simplificado y tomografía, los cuales corresponden a los métodos de interpretación conocidos como "Tiempos Interceptados" y "Tomografías Sísmica" respectivamente. Ambos perfiles representan velocidades compresionales (Vp).

El modelo simplificado es un modelo sencillo, general, de dos a cuatro capas que muestra los conjuntos principales de capas del subsuelo, caracterizados por su velocidad compresional (Vp) y sus espesores, producto de interpretar con el método de tiempos interceptados.

La tomografía sísmica es un método de cálculo que permite modelar el subsuelo con elementos finitos reproduciendo las trayectorias de los frentes de onda desde y hacia cada punto de disparo y desde y hacia cada uno de los geófonos. El resultado es un modelo detallado del subsuelo en 10 o más capas que muestran la variación de la velocidad compresional con la profundidad, muy útil para definir el contacto con roca con base en el aumento de la velocidad.

La ripabilidad o excavabilidad de un suelo representa una medida del grado de dificultad que se presenta al excavar el terreno mediante la rotura con un tractor o bulldozer que permite su excavación o carga directa.

Un material puede ser clasificado como ripable, ripable marginalmente o no ripable, dependiendo de la capacidad de los equipos convencionales para excavarle. Son varios los criterios que se han venido utilizando para juzgar a priori la ripabilidad de un terreno, el más utilizado consiste en determinar la velocidad sísmica de propagación de las ondas de compresión Vp a través del suelo mediante la sísmica de refracción.

Las posibilidades de ripado se definen, para diversos tipos de suelos densos, por medio de su velocidad sísmica Vp. Para cada material se definen los márgenes de velocidad sísmica para los cuales es ripable o no ripable.

En este caso la ripabilidad se determina de acuerdo al criterio presentado por Caterpillar para un tractor D-9 con ripper usando como referencia la Tabla 1 :

Tabla 1 Clasificación Ripabilidad del suelo en función de la velocidad de las ondas de compresión.

Velocidad de las ondas de compresión	Categoría
Vp<600 m/s	Materiales sueltos
Vp=600 - 1300 m/s	Ripado fácil
Vp=1300 - 1700 m/s	Ripado normal
Vp=1700 - 1850 m/s	Ripado duro
Vp> 1850 m/s	No son ripables

Fuente: (Hunt, Roy , 1986)

Cálculo de velocidad de onda Vp, Vs y relación Poisson (u)

Es importante aclara que el equipo empleado para en ensayos de refracción símica registra ondas P, es así como la tomografía de su interpretación se fundamenta en velocidades de ondas de corte (Vp), y a partir del coeficiente de Poisson se puede determinar la velocidad de onda de corte (Vs) como se establece en la siguiente ecuación:

$$\frac{Vp}{Vs} = \sqrt{\frac{1-v}{0{,}5-v}}$$ Ecuación No 1

donde la velocidad de la onda p (Vp) y la Velocidad de la onda s (Vs) están dados en metros sobre segundo (m/s) y el módulo de Poisson (u) no tiene unidades.

Por otra parte, considerando lo anterior del análisis o interpretación de la refracción sísmica se obtiene las velocidades de onda de compresión Vp, mientras que del análisis o interpretación MASW se obtienen las velocidades de onda de corte Vs, con estos dos valores podemos despejar de la Ecuación 1, la Relación de Poisson (u) obteniendo la Ecuación 2

$$\nu = \{(Vp/Vs)^2 - 2\}/2\{(Vp/Vs)^2 - 1\}$$ Ecuación No 2

Estableciendo el valor de la Relación de Poisson (u), para cada estrado de suelo, indirectamente se calculan las velocidades de onda de corte Vs.

1.7 ENSAYO MASW

La geofísica analiza el comportamiento de las ondas que se propagan al interno de un material. De hecho, las señales sísmicas se modifican en función de las características del medio que atraviesan. Dichas ondas se pueden generar artificialmente usando martillo, explosivo, etc.

Movimiento de la señal sísmica

La señal sísmica se puede descomponer en varias fases, cada una de las cuales identifica el movimiento de las partículas embestidas por las ondas sísmicas. Las fases pueden ser:

- P - Longitudinal: onda profunda de compresión;
- S - Transversal: onda profunda de corte o de cizalla;
- L - Love: onda de superficie, compuesta por ondas P y S;
- R - Rayleigh: onda de superficie con movimiento en forma de elipse retrógrada.

Ondas de Rayleigh – **"R"**

En el pasado, los estudios sobre la difusión de las ondas sísmicas se han centrado en la propagación de las ondas profundas (P,S), considerando las ondas superficiales como un disturbo de la señal acústica a analizar. Recientes estudios han permitido crear modelos matemáticos avanzados para el análisis de las ondas de superficie en medios con distinta rigidez.

Análisis de la señal con técnica MASW

Según la hipótesis fundamental de la física lineal (Teorema de Fourier), las señales se pueden representar como la suma de señales independientes,

llamadas armónicos de la señal. Dichos armónicos, por análisis monodimensional, son funciones trigonométricas seno y coseno y se comportan en modo independiente, sin interactuar entre sí. Concentrando la atención en cada componente armónico, el resultado final del análisis lineal será equivalente a la suma de los comportamientos parciales de cada armónico. El análisis de Fourier (Análisis espectral FFT) es el instrumento fundamental para la descomposición espectral de la señal.

El análisis de las ondas Rayleigh con la técnica MASW se lleva acabo mediante un tratamiento espectral de la señal que hace posible identificar con bastante facilidad la señal de las ondas Rayleigh con respecto a otros tipos de señales, teniendo en cuenta que las ondas Rayleigh se propagan a una velocidad que está en función de la frecuencia. Esta relación velocidad-frecuencia, que se conoce como espectro de dispersión, queda caracterizada en la llamada curva de dispersión, la cual se extrae mediante la transformada f-k y se conoce como curva de dispersión experimental y representa las amplitudes máximas del espectro en ese dominio.

Modelo

A partir de un modelo geotécnico sintético caracterizado por espesor, densidad, coeficiente de Poisson, velocidad de las ondas S y velocidad de las ondas P, es posible simular la curva de dispersión teórica que liga la velocidad y la longitud de onda según la relación:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando los parámetros del modelo geotécnico sintético, se puede obtener una superposición de la curva de dispersión teórica con la experimental: esta fase se llama de inversión y permite determinar el perfil de las velocidades en medios con distintas rigideces.

Modos de vibración

Tanto en la curva de inversión teórica como en la experimental es posible identificar las diferentes configuraciones de vibración del terreno. Los modos de las ondas Rayleigh pueden ser: deformaciones en contacto con el aire, deformaciones casi nulas en la mitad de la longitud de onda y deformaciones nulas a grandes profundidades.

Profundidad del estudio

Las ondas Rayleigh decrecen en profundidades aproximadamente iguales a la longitud de onda. Pequeñas longitudes de onda (altas frecuencias) permiten

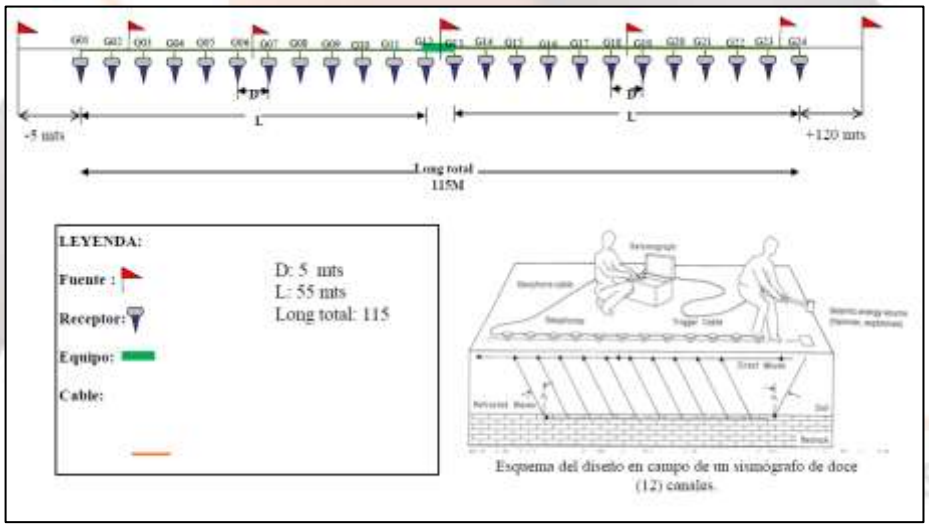
estudiar zonas superficiales, mientras que grandes longitudes de onda (bajas frecuencias) permiten estudios a profundidades mayores.

CONTROL INGENIERÍA S.A.S.

METODOLOGÍA DE ADQUISICIÓN EN CAMPO DE LÍNEAS SÍSMICAS DE REFRACCIÓN:

La metodología para la adquisición de las líneas sísmicas de refracción sísmica, se hace un tendido a lo largo de una línea disponiendo una serie de geófonos a una equidistancia de acuerdo con la longitud de cada línea con 24 Geófonos de 10 Hz espaciados a 3m (Línea 1) y 2 m (Línea 2) entre sí. Se generan energizaciones en el terreno empleando como fuente de energía en un martillo de aproximadamente 20 lb, disparos o impactos del martillo en diferentes puntos de la línea. Para cada punto de energización se registran las ondas generadas en cada uno de los geófonos en un sismógrafo multicanal OYO McSeis Mx, resolución de 24 bits y permite trazas de muestreo de 2 ms con un máximo de 24 canales por unidad. En Figura se muestran esquema para la ejecución de las líneas sísmicas realizadas en campo.

Figura 1 Esquema de adquisición de líneas sísmicas



A continuación, nombran los principales se equipos utilizados en campo:

Sismógrafo OYO McSeis Mx
Almádana de 20 libras.
2 rollos de cable con 12 canales cada uno.
24 geófonos para adquirir andas P y S.
Batería de 12 Voltios.
Computador portátil.
GPS Garmin etrex Venture HC
Software de procesamiento: Easy MASW y Easy Refrac de Geostru.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

Descripción:	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS
Operador	ERNESTO SERRANO
Responsable	GONZALO FIGUEREDO
Fecha	14-11-2023

A continuación, se presentan la ubicación y un registro fotográfico del registro de las líneas sísmicas.

Figura 2 Localización LRS. Fuente: el estudio



Figura 3 Registro fotográfico Localización de LSR No 1



Figura 4 Registro fotográfico Localización de LSR No 2



1.8 Geología regional en la zona de estudio.

De acuerdo con la cobertura de geología del Geoportal del Servicio Geologico Colombiano, la zona objeto de estudio en el presente informe se encuentra ubicada en la unidad E1-Sc conformada por Conglomerados intercalados con arenitas de grano medio a grueso y lodolitas carbonosas.



Figura 5 Mapa Atlas Geológico Colombiano.
Consultado en https://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Atlas_Geologico_colombiano_2015/

CONTROL INGENIERÍA S.A.S.

1.9 Datos de registros LRS No 1

Se presentan a continuación los registros obtenidos en la exploración e campo:

Datos de registro LRS No 1

Tabla 2 Geometría geófonos LRS No 1

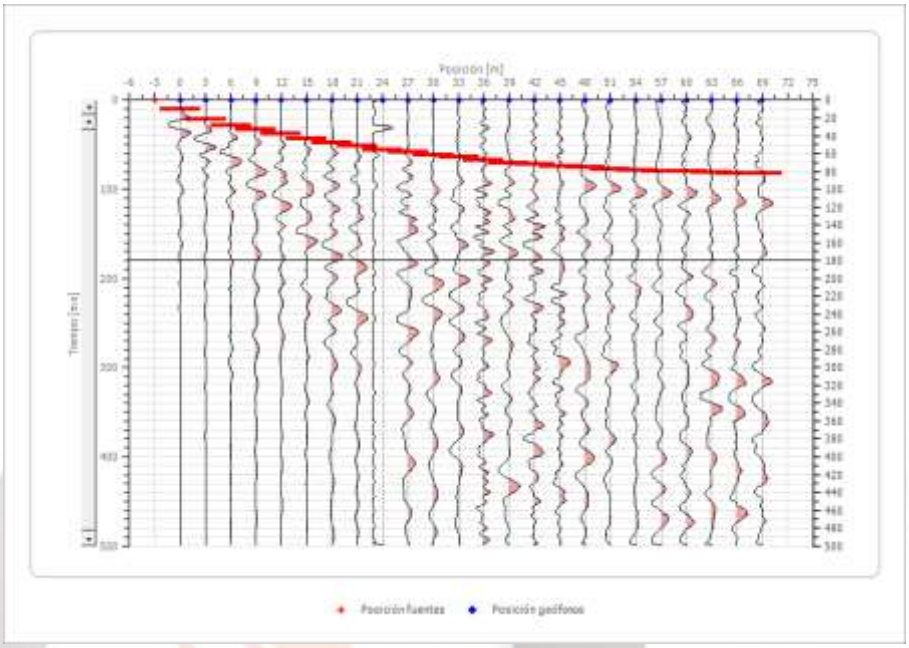
	Posición X [m]	Posición Z [m]
1	0.0	2760.5
2	3.0	2761.1
3	6.0	2758.6
4	9.0	2760.3
5	12.0	2758.7
6	15.0	2759.1
7	18.0	2758.6
8	21.0	2758.0
9	24.0	2758.0
10	27.0	2758.4
11	30.0	2758.6
12	33.0	2759.0
13	36.0	2760.3
14	39.0	2760.5
15	42.0	2760.5
16	45.0	2758.8
17	48.0	2757.4
18	51.0	2756.7
19	54.0	2757.1
20	57.0	2758.8
21	60.0	2759.0
22	63.0	2758.1
23	66.0	2757.7
24	69.0	2757.5

CONTROL INGENIERÍA S.A.S.

Datos impactos

Impacto 1

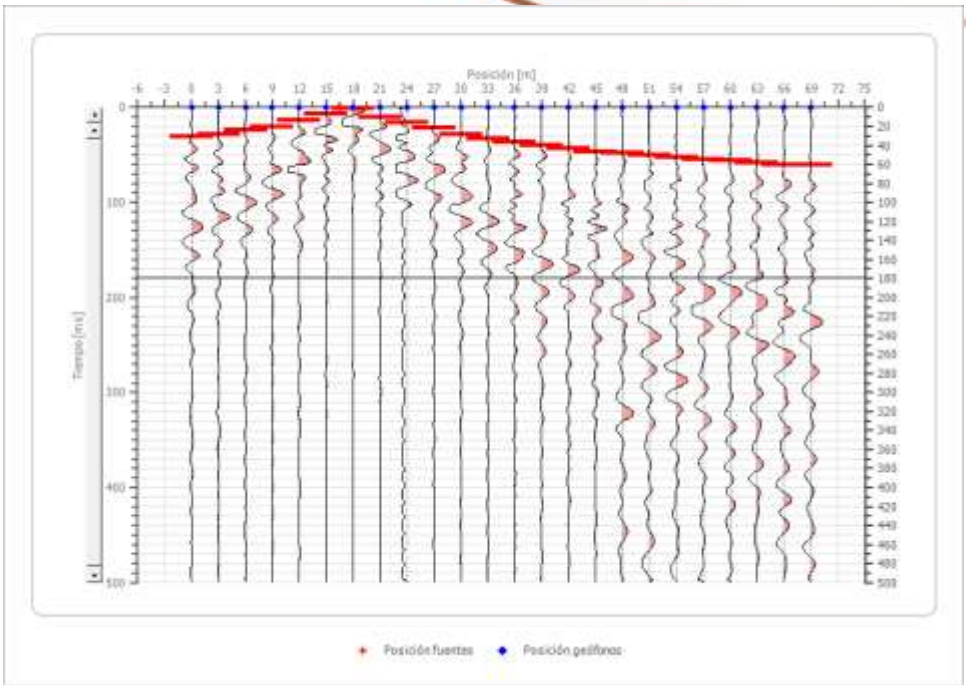
Posición fuente X	-3	[m]
Posición fuente Z	2761	[m]



Posición geófono [m]	Tiempo [ms]
0.0	10.0000
3.0	22.0000
6.0	28.4738
9.0	33.2574
12.0	38.0410
15.0	43.7358
18.0	48.2916
21.0	51.2528
24.0	55.8087
27.0	58.0866
30.0	61.5034
33.0	64.2369
36.0	67.1982
39.0	70.3872
42.0	72.4374
45.0	74.7153
48.0	75.8542
51.0	77.2210
54.0	78.3599
57.0	79.4989
60.0	80.1822
63.0	81.0934
66.0	82.0046
69.0	82.6879

Impacto 2

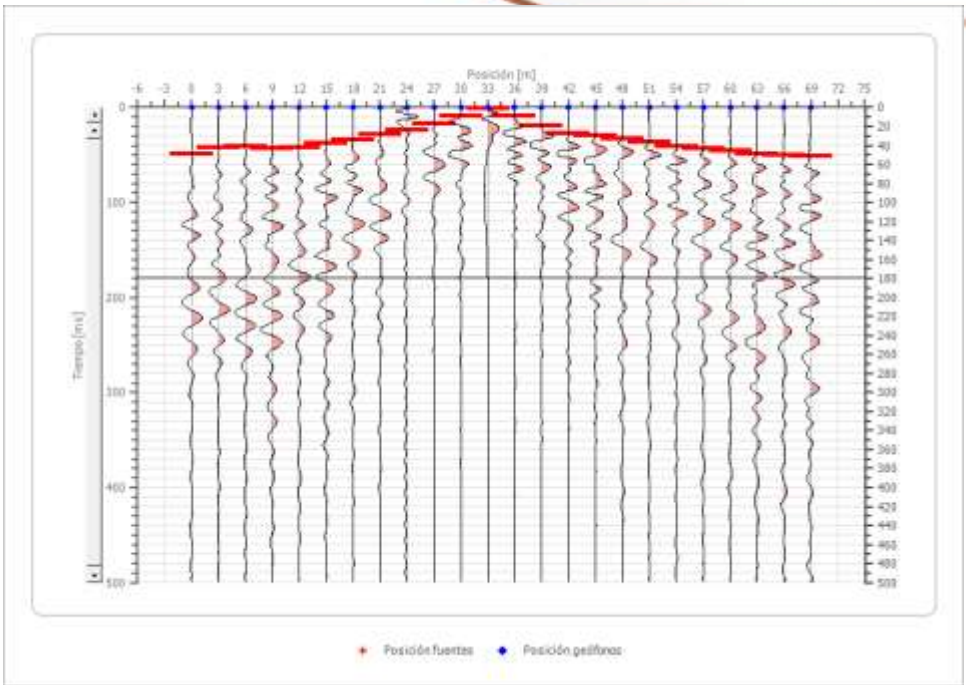
Posición fuente X	17	[m]
Posición fuente Z	2759	[m]



Posición geófono [m]	Tiempo [ms]
0.0	30.8884
3.0	29.0000
6.0	24.3280
9.0	20.0000
12.0	14.0000
15.0	6.2870
18.0	1.0934
21.0	10.7062
24.0	15.4897
27.0	21.8679
30.0	28.4738
33.0	33.2574
36.0	36.6743
39.0	39.6355
42.0	43.0524
45.0	46.4692
48.0	48.0638
51.0	50.3417
54.0	52.3918
57.0	54.2141
60.0	56.2642
63.0	58.5421
66.0	60.1367
69.0	61.0478

Impacto 3

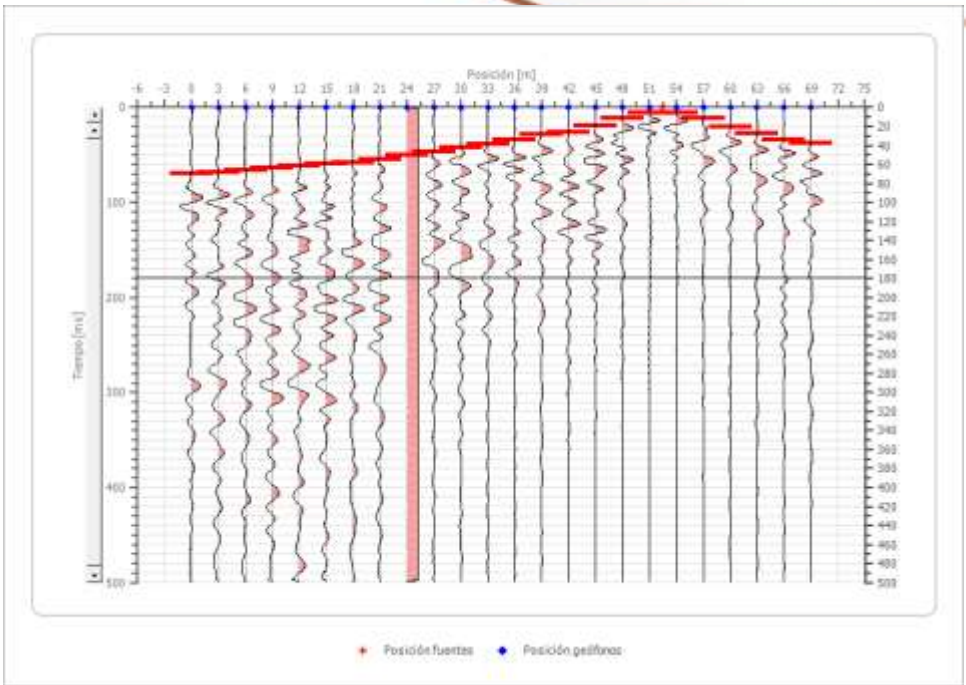
Posición fuente X	35	[m]
Posición fuente Z	2760	[m]



Posición geófono [m]	Tiempo [ms]
0.0	49.0000
3.0	42.1412
6.0	40.5467
9.0	43.4624
12.0	42.0957
15.0	37.1298
18.0	33.7130
21.0	28.9294
24.0	24.1458
27.0	17.5399
30.0	8.8838
33.0	0.8200
36.0	8.7472
39.0	19.4077
42.0	27.0615
45.0	30.0000
48.0	33.0752
51.0	37.0000
54.0	41.0000
57.0	43.7358
60.0	46.1959
63.0	49.0000
66.0	50.0000
69.0	51.3895

Impacto 4

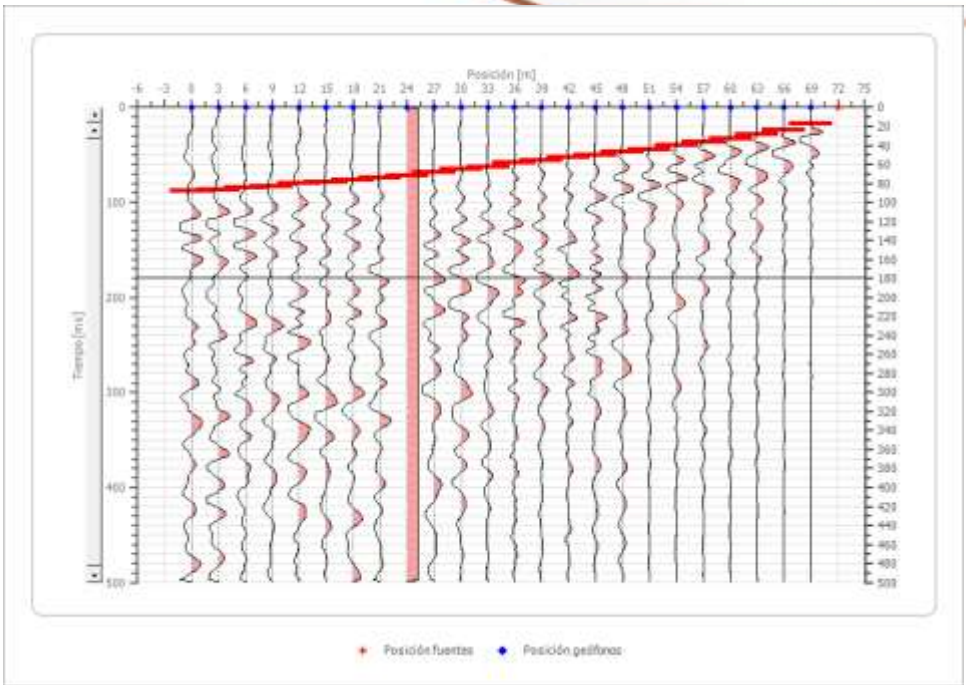
Posición fuente X	53	[m]
Posición fuente Z	2757	[m]



Posición geófono [m]	Tiempo [ms]
0.0	70.1595
3.0	68.1093
6.0	65.8314
9.0	64.2369
12.0	61.5034
15.0	59.8633
18.0	58.0866
21.0	54.4419
24.0	50.3417
27.0	46.6970
30.0	42.3690
33.0	38.2688
36.0	34.1686
39.0	28.9749
42.0	25.6948
45.0	18.8610
48.0	11.0000
51.0	5.7403
54.0	5.7403
57.0	11.0000
60.0	21.0478
63.0	27.8815
66.0	34.4419
69.0	37.4487

Impacto 5

Posición fuente X	72	[m]
Posición fuente Z	2758	[m]



Posición geófono [m]	Tiempo [ms]
0.0	87.8747
3.0	86.3326
6.0	84.9658
9.0	82.9157
12.0	80.4100
15.0	78.3599
18.0	76.3098
21.0	74.0319
24.0	71.8975
27.0	68.1093
30.0	65.1481
33.0	62.8702
36.0	58.7699
39.0	56.0364
42.0	52.9613
45.0	49.8861
48.0	47.1526
51.0	44.0775
54.0	40.0000
57.0	37.0000
60.0	32.8018
63.0	29.0000
66.0	24.3280
69.0	17.0000

1.10 Dromocronas LSR No 1

Utilizando las distancias entre los puntos de energización y de recepción y los tiempos de primera recepción de las señales sísmicas, se elaboran las dromocronas

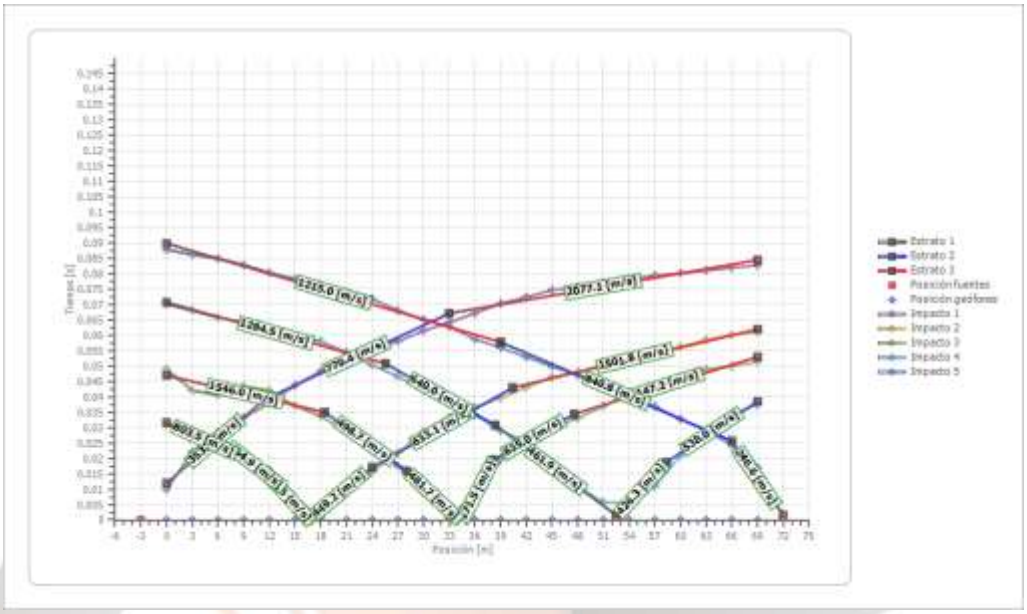


Figura 6 Dromocronas LSR No 1

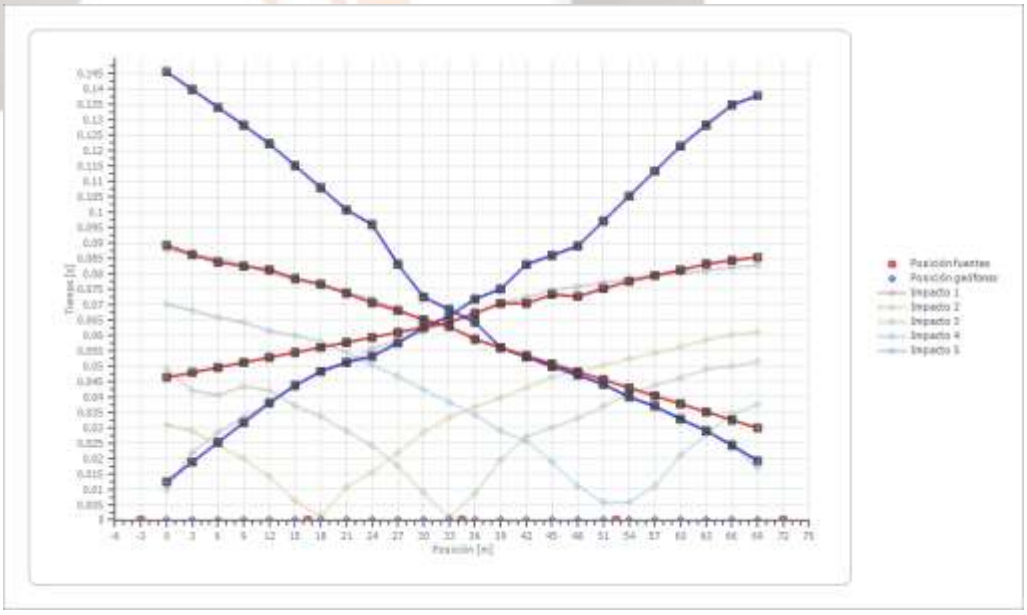


Figura 7 Dromocronas elaboradas LSR No 1

Tabla 3 Interpretación con el método G.R.M. LSR No 1

XY: 0

	Estrato n. 1 [m]*	Estrato n. 2 [m]	Estrato n. 3 [m]
G= 0.0 [m]	4.4	11.1	--
G= 5.0 [m]	4.6	10.6	--
G= 10.0 [m]	4.7	10.2	--
G= 15.0 [m]	4.9	10.3	--
G= 20.0 [m]	5.0	10.3	--
G= 25.0 [m]	4.6	10.2	--
G= 30.0 [m]	4.0	10.5	--
G= 35.0 [m]	3.0	10.7	--
G= 40.0 [m]	2.3	10.7	--
G= 45.0 [m]	0.2	11.6	--
G= 50.0 [m]	0.0	11.4	--
G= 55.0 [m]	0.0	11.2	--
G= 60.0 [m]	0.0	10.8	--
G= 65.0 [m]	0.0	11.0	--
G= 70.0 [m]	0.0	10.2	--
G= 75.0 [m]	0.0	10.2	--
G= 80.0 [m]	0.0	9.3	--
G= 85.0 [m]	0.3	9.1	--
G= 90.0 [m]	1.3	8.4	--
G= 95.0 [m]	2.6	7.4	--
G= 100.0 [m]	3.5	6.6	--
G= 105.0 [m]	4.2	6.0	--
G= 110.0 [m]	4.7	5.3	--
G= 115.0 [m]	4.2	5.1	--
Velocidad [m/sec]	365.0	553.2	1366.1
Descripción	UG1	UG2	UG3

Tabla 4 Otros parámetros geotécnicos LSR No 1

	Estrato n. 1	Estrato n. 2	Estrato n. 3
Coeficiente Poisson	0.10	0.10	0.27
Densidad [kg/m³]	1900.00	2042.00	2249.00
Vp [m/s]	364.97	553.16	1366.11
Vs [m/s]	243.31	368.77	766.81
G0 [MPa]	112.48	277.70	1322.40
Ed [Mpa]	253.08	624.82	4197.19
M0 [MPa]	140.60	347.12	2874.79
Ey [Mpa]	247.46	610.94	3358.90

G0: Módulo de deformación al corte;
Ed: Módulo edométrico;
M0: Módulo de compresibilidad volumétrica;
Ey: Módulo de Young;

Figura 8 Modelo Geológico - Refractores LRS No 1

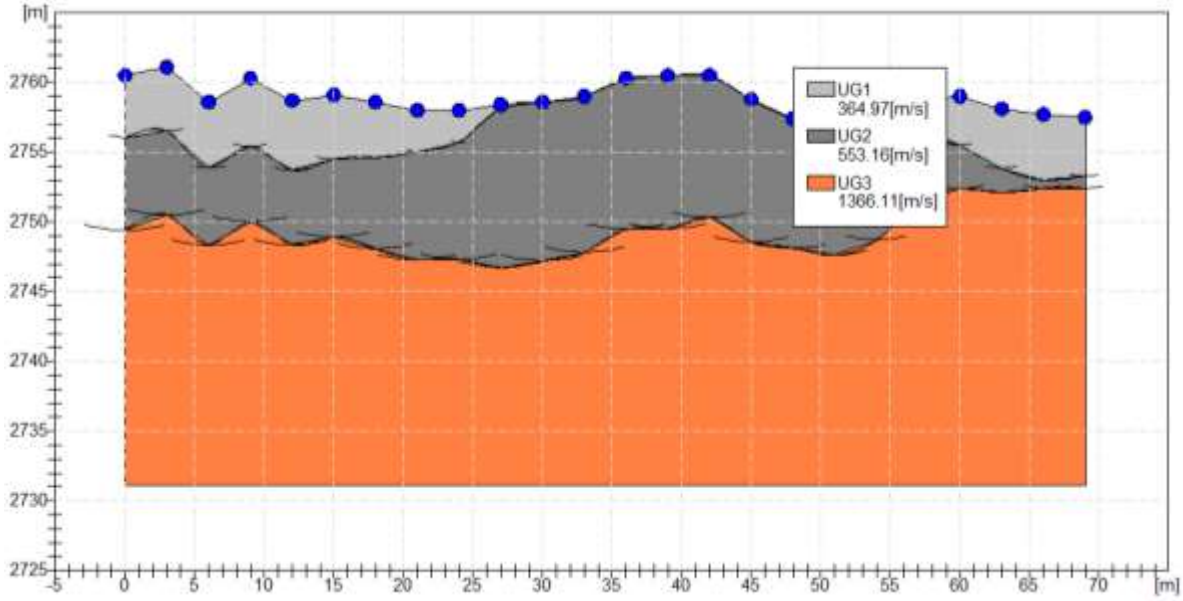
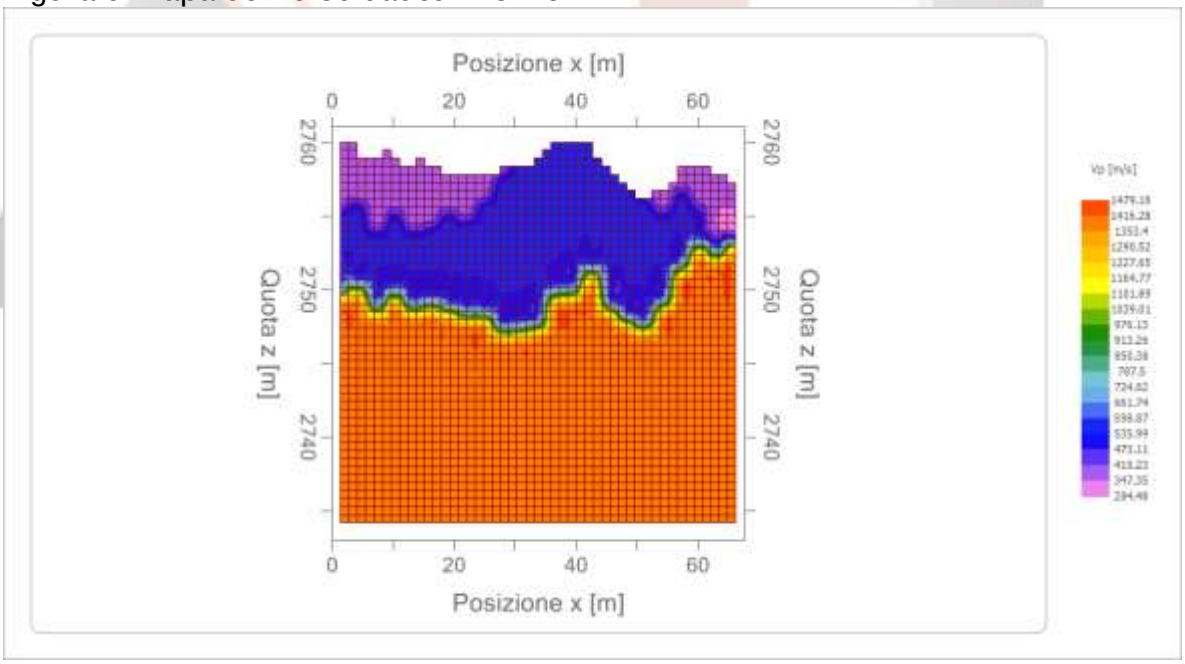


Figura 9 Mapa de Velocidades LRS No 1



1.11 Datos de registros LRS No 2

Se presentan a continuación los registros obtenidos en la exploración e campo:

Datos de registro LRS No 2

Tabla 5 Geometría geófonos LRS No 2

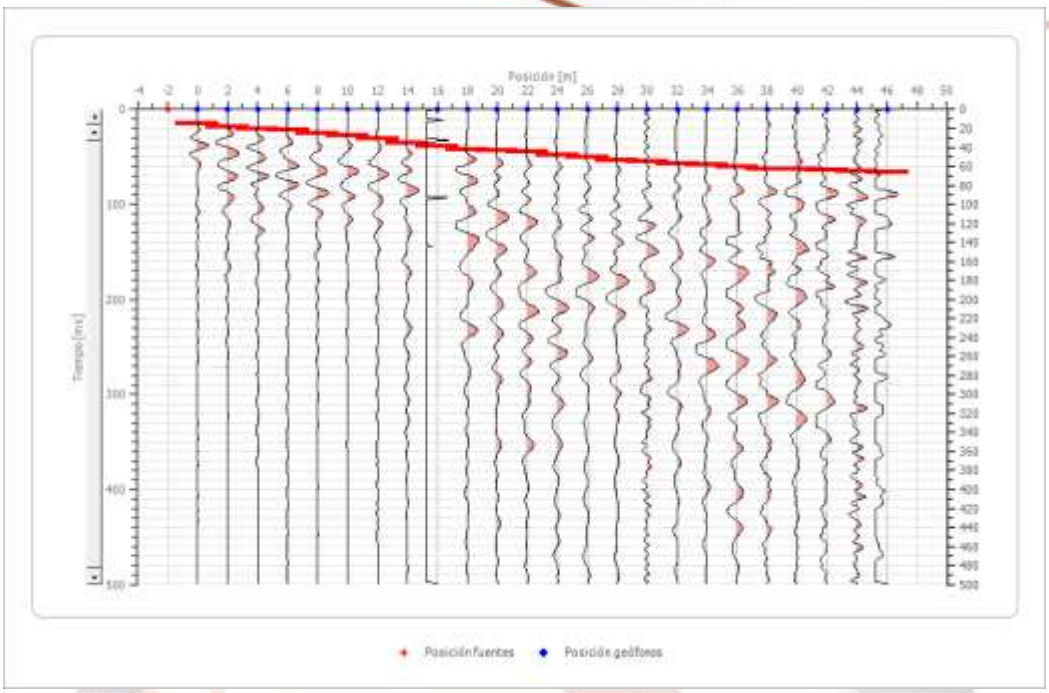
	Posición X [m]	Posición Z [m]
1	0.0	2753.4
2	2.0	2753.5
3	4.0	2753.8
4	6.0	2754.2
5	8.0	2754.6
6	10.0	2754.7
7	12.0	2755.1
8	14.0	2755.7
9	16.0	2756.4
10	18.0	2757.3
11	20.0	2757.4
12	22.0	2757.7
13	24.0	2757.7
14	26.0	2758.1
15	28.0	2759.0
16	30.0	2760.0
17	32.0	2760.7
18	34.0	2761.3
19	36.0	2762.2
20	38.0	2762.8
21	40.0	2762.4
22	42.0	2764.2
23	44.0	2765.4
24	46.0	2766.3

Datos impactos

Impacto 1

Posición fuente X	-2	[m]
Posición fuente Z	2753	[m]

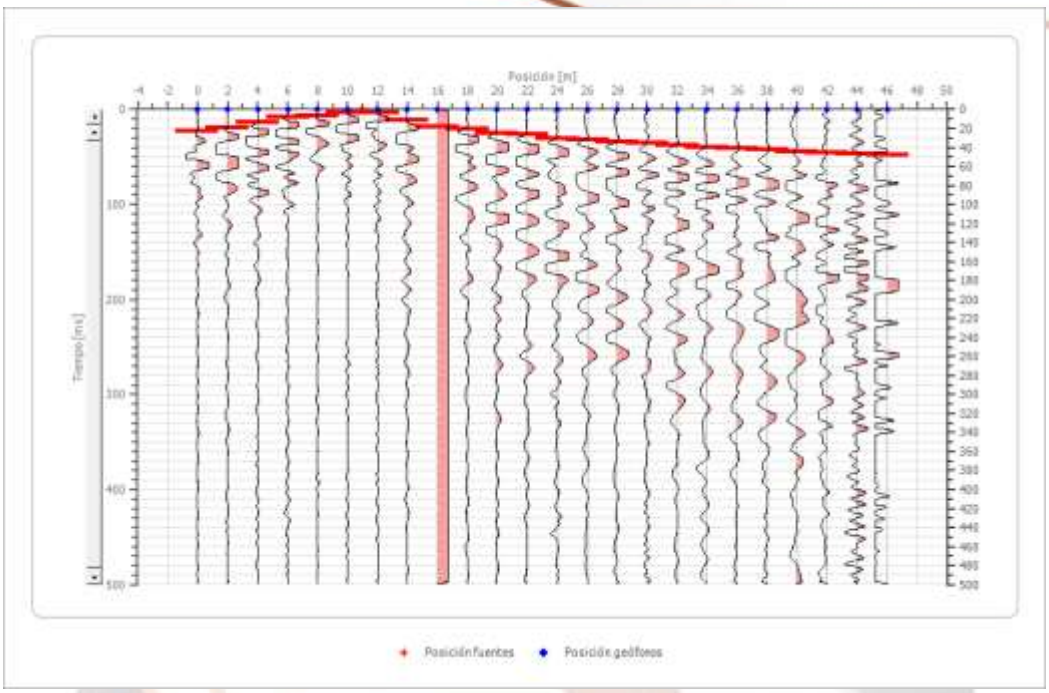
CONTROL INGENIERIA S.A.S.



Posición geófono [m]	Tiempo [ms]
0.0	15.0342
2.0	17.7677
4.0	20.0456
6.0	22.0000
8.0	25.0000
10.0	27.3349
12.0	30.5239
14.0	35.0797
16.0	38.7244
18.0	42.3690
20.0	43.2802
22.0	44.6469
24.0	47.8360
26.0	50.5695
28.0	53.3030
30.0	54.8975
32.0	56.9476
34.0	58.5421
36.0	60.8200
38.0	62.4146
40.0	63.0980
42.0	64.2369
44.0	65.1481
46.0	66.5148

Impacto 2

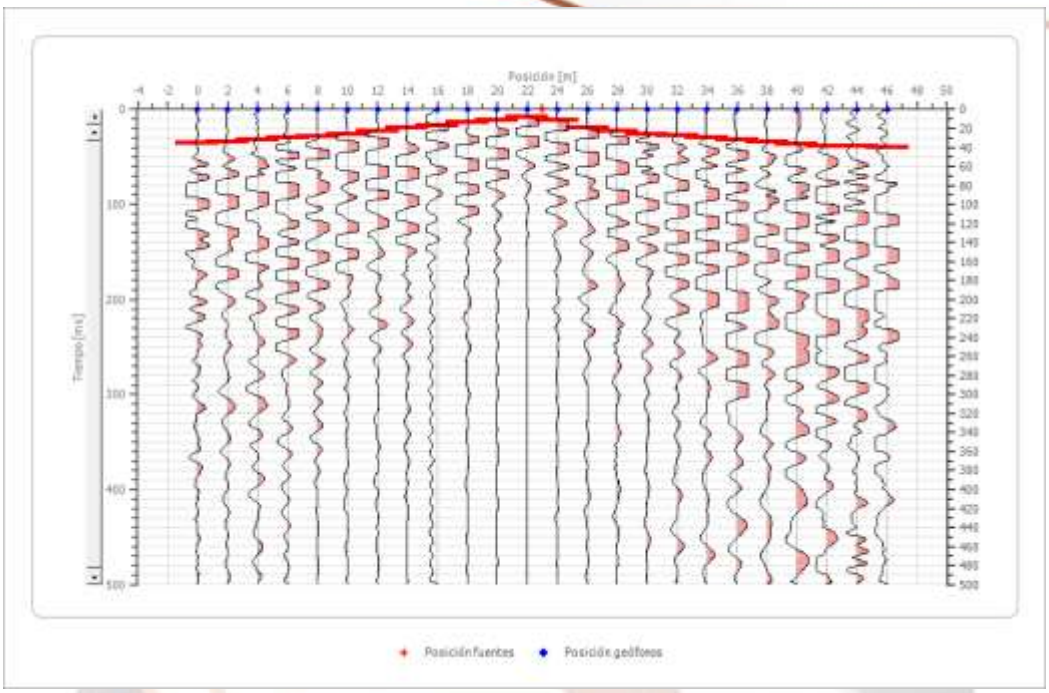
Posición fuente X	11	[m]
Posición fuente Z	2755	[m]



Posición geófono [m]	Tiempo [ms]
0.0	23.0000
2.0	19.1344
4.0	13.2118
6.0	7.7449
8.0	6.3781
10.0	3.6446
12.0	3.6446
14.0	11.3895
16.0	17.7677
18.0	20.0000
20.0	25.0000
22.0	26.0000
24.0	31.0000
26.0	32.0000
28.0	33.9408
30.0	35.7631
32.0	37.1298
34.0	39.4077
36.0	41.0023
38.0	42.1412
40.0	43.9636
42.0	45.3303
44.0	46.4692
46.0	48.0638

Impacto 3

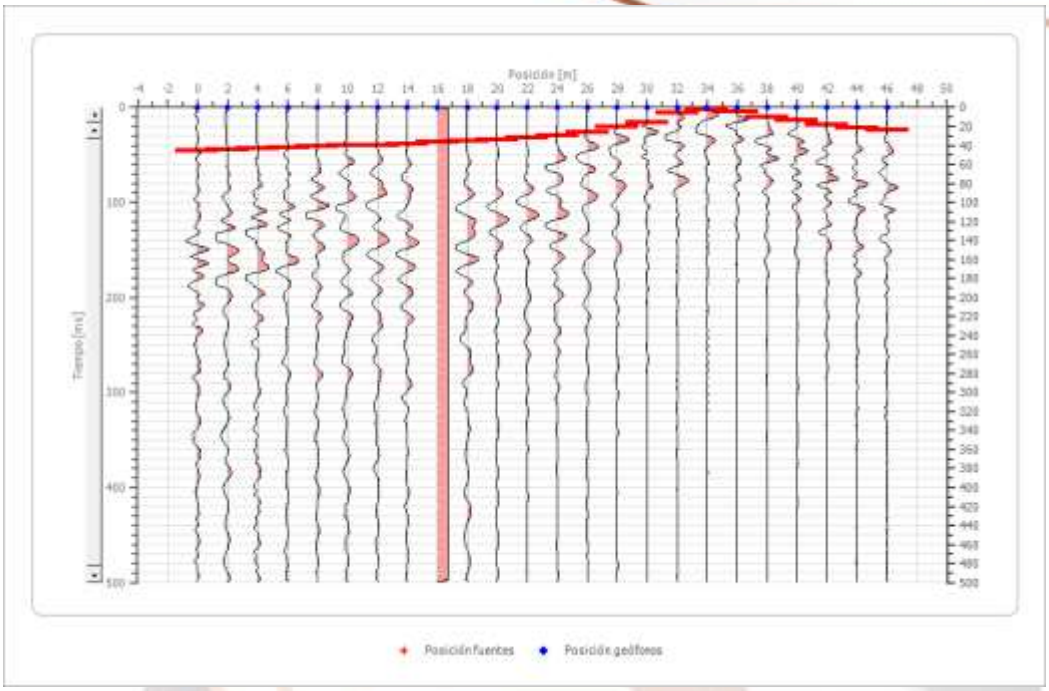
Posición fuente X	23	[m]
Posición fuente Z	2757	[m]



Posición geófono [m]	Tiempo [ms]
0.0	34.8519
2.0	33.9408
4.0	32.3462
6.0	30.0683
8.0	28.7016
10.0	25.7403
12.0	23.0068
14.0	19.8178
16.0	17.3121
18.0	13.6674
20.0	10.9339
22.0	8.0000
24.0	11.0000
26.0	19.1344
28.0	23.0000
30.0	25.7403
32.0	27.5626
34.0	30.0683
36.0	31.6629
38.0	34.1686
40.0	36.6743
42.0	38.2688
44.0	39.1800
46.0	40.3189

Impacto 4

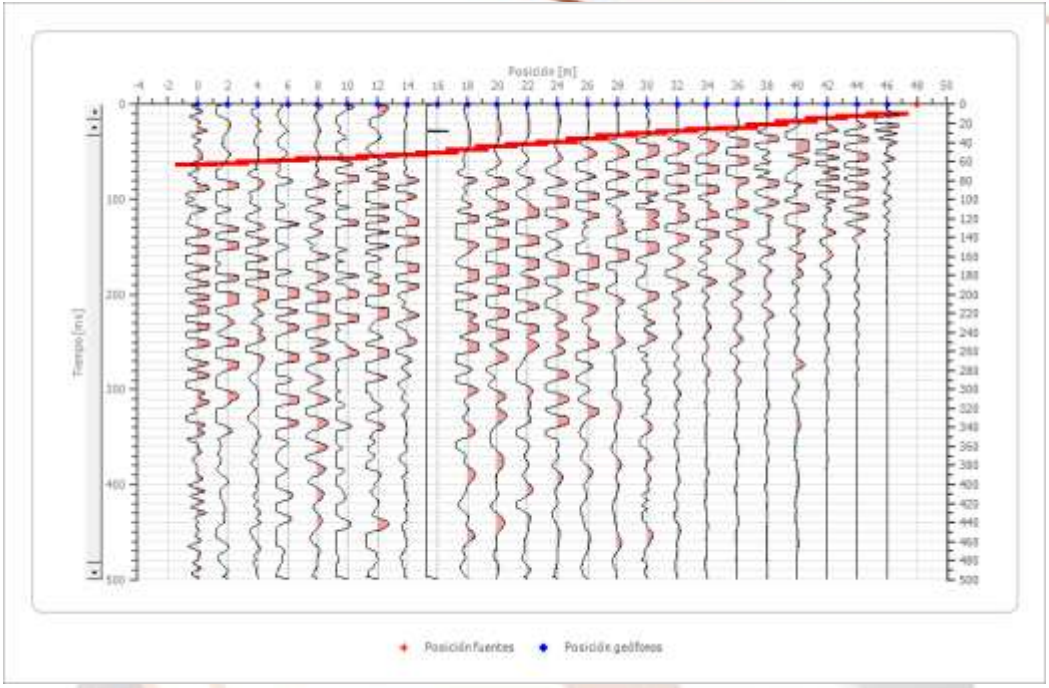
Posición fuente X	35	[m]
Posición fuente Z	2761	[m]



Posición geófono [m]	Tiempo [ms]
0.0	45.3303
2.0	43.9636
4.0	43.5080
6.0	41.9134
8.0	41.2301
10.0	39.6355
12.0	39.4077
14.0	38.2688
16.0	36.9021
18.0	35.7631
20.0	34.1686
22.0	31.8907
24.0	30.0683
26.0	26.4237
28.0	20.7289
30.0	16.0000
32.0	6.0000
34.0	1.8223
36.0	4.5558
38.0	10.4784
40.0	13.4396
42.0	18.2232
44.0	22.0957
46.0	24.1458

Impacto 5

Posición fuente X	48	[m]
Posición fuente Z	2766	[m]



Posición geófono [m]	Tiempo [ms]
0.0	63.5535
2.0	62.4146
4.0	60.8200
6.0	59.2255
8.0	57.6310
10.0	56.4920
12.0	54.8975
14.0	53.0752
16.0	51.4806
18.0	48.0638
20.0	43.9636
22.0	42.3690
24.0	40.0000
26.0	36.6743
28.0	33.0296
30.0	30.2961
32.0	28.4738
34.0	26.4237
36.0	24.6014
38.0	22.0000
40.0	17.7677
42.0	15.0000
44.0	12.0000
46.0	10.0000

1.12 Dromocronas LSR No 2

Utilizando las distancias entre los puntos de energización y de recepción y los tiempos de primera recepción de las señales sísmicas, se elaboran las dromocronas

Figura 10 Dromocronas LSR No 2

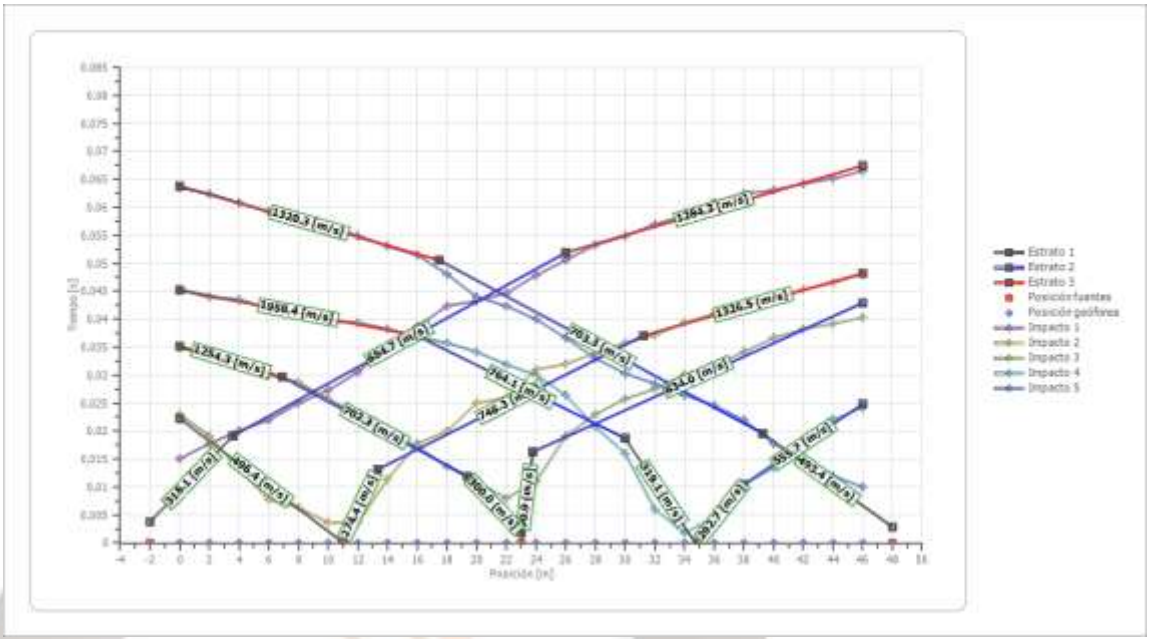


Figura 11 Dromocronas elaboradas LSR No 2

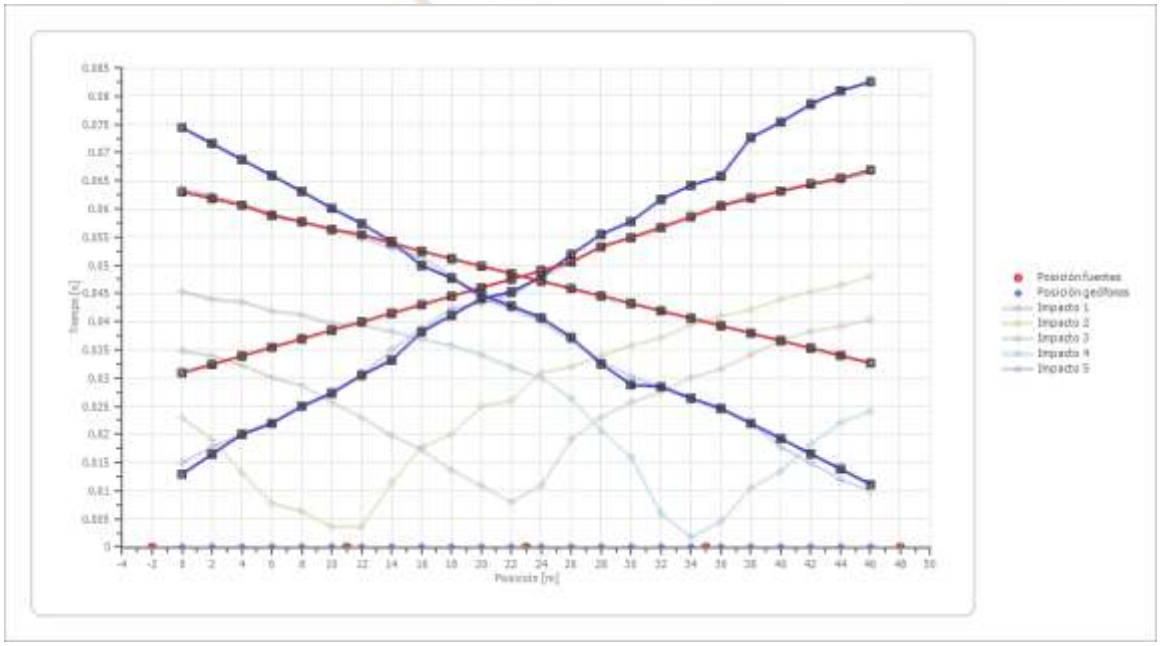


Tabla 6 Interpretación con el método G.R.M. LSR No 2

XY: 0

	Estrato n. 1	Estrato n. 2	Estrato n. 3
G= 0.0 [m]	1.1	9.2	--
G= 2.0 [m]	1.2	9.2	--
G= 4.0 [m]	1.4	9.1	--
G= 6.0 [m]	1.2	9.2	--
G= 8.0 [m]	1.2	9.4	--
G= 10.0 [m]	1.1	9.6	--
G= 12.0 [m]	1.2	9.7	--
G= 14.0 [m]	1.1	9.8	--
G= 16.0 [m]	1.3	9.7	--
G= 18.0 [m]	1.4	9.6	--
G= 20.0 [m]	1.4	9.6	--
G= 22.0 [m]	1.2	9.9	--
G= 24.0 [m]	1.3	9.8	--
G= 26.0 [m]	1.4	9.8	--
G= 28.0 [m]	1.2	10.6	--
G= 30.0 [m]	1.0	11.1	--
G= 32.0 [m]	1.6	10.4	--
G= 34.0 [m]	1.7	10.5	--
G= 36.0 [m]	1.7	10.8	--
G= 38.0 [m]	2.4	9.7	--
G= 40.0 [m]	2.4	9.7	--
G= 42.0 [m]	2.5	9.6	--
G= 44.0 [m]	2.5	9.5	--
G= 46.0 [m]	2.3	9.9	--
Velocidad [m/sec]	323.1	686.4	1361.2
Descripción	UG1	UG2	UG3

CONTROL INGENIERÍA S.A.S.

Tabla 7 Otros parámetros geotécnicos LSR No 2

	Estrato n. 1	Estrato n. 2	Estrato n. 3
Coeficiente Poisson	0.10	0.10	0.27
Densidad [kg/m³]	1900.00	2024.00	2249.00
Vp [m/s]	323.12	686.40	1361.22
Vs [m/s]	215.41	457.60	764.07
G0 [MPa]	88.17	423.82	1312.96
Ed [Mpa]	198.37	953.59	4167.23
M0 [MPa]	110.21	529.77	2854.27
Ey [Mpa]	193.96	932.40	3334.93

G0: Módulo de deformación al corte;
Ed: Módulo edométrico;
M0: Módulo de compresibilidad volumétrica;
Ey: Módulo de Young;

Figura 12 Modelo Geológico - Refractores LRS No 2

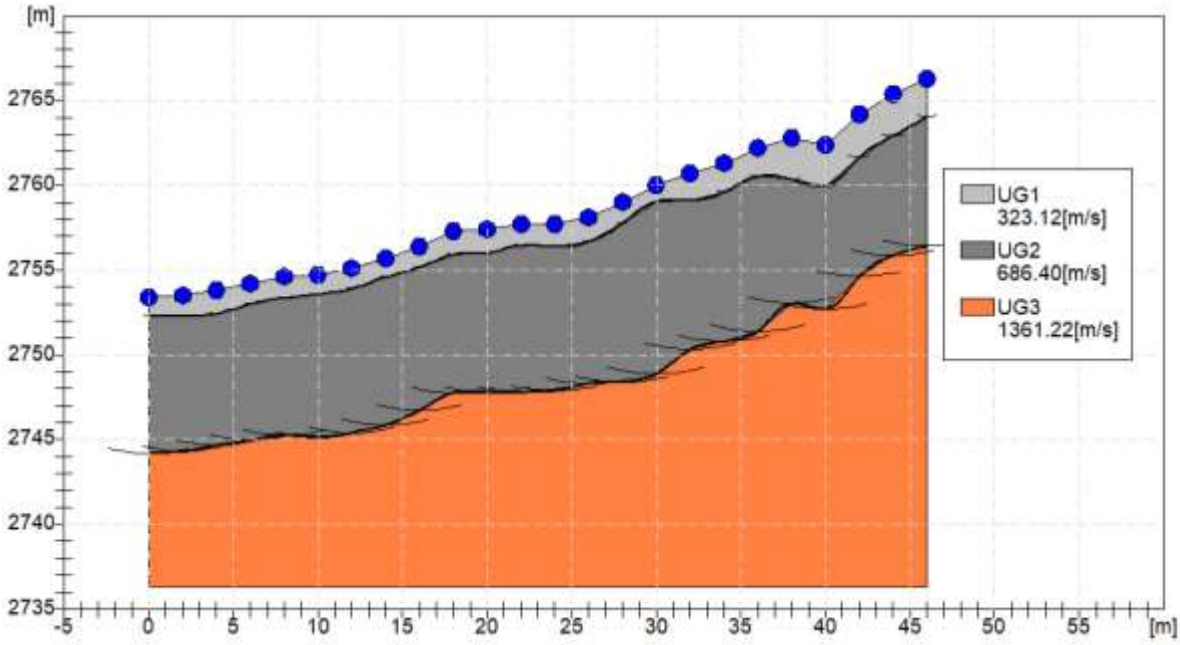
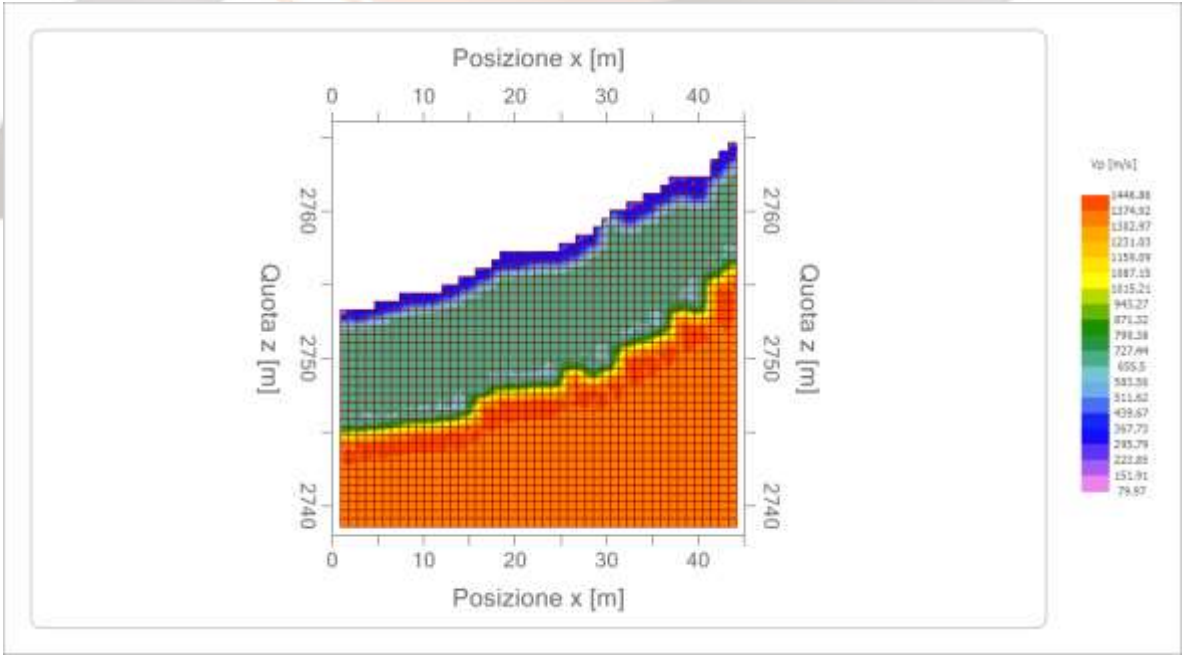


Figura 13 Mapa de Velocidades LRS No 2

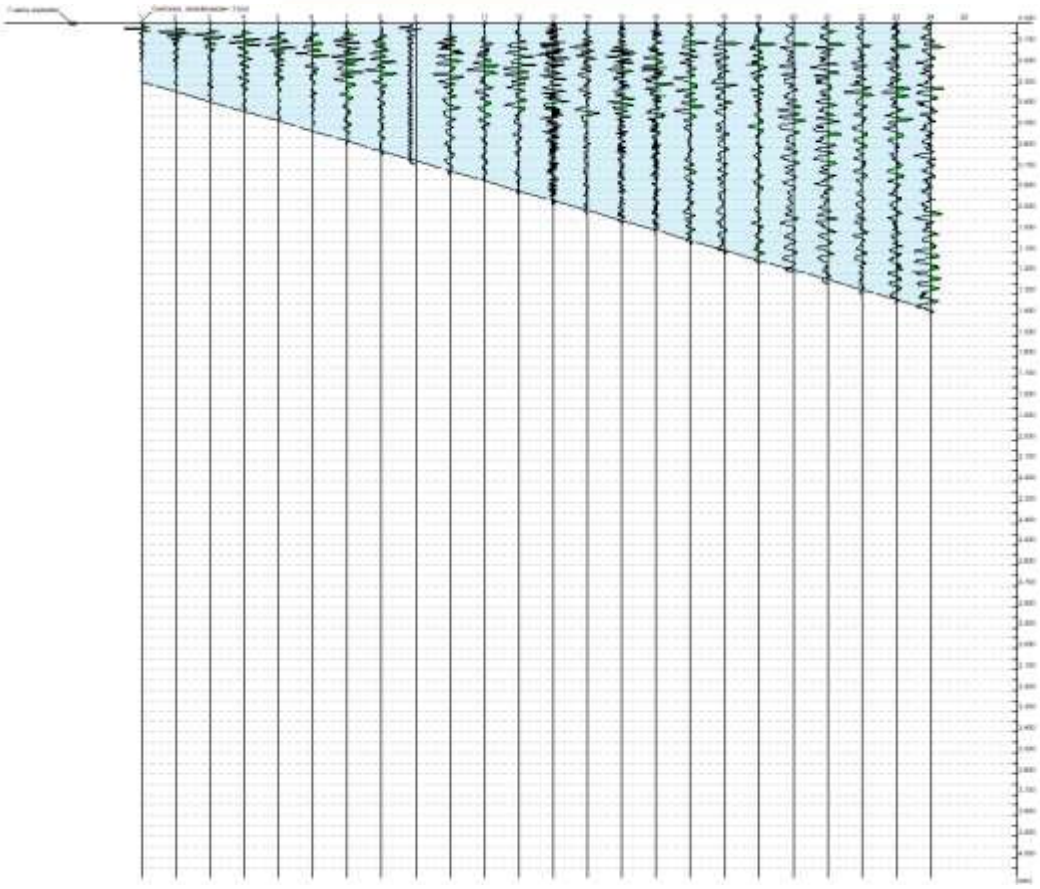


Datos registro MASW No 1

Debido al alto ruido ambiental registrado durante la toma de datos, fue necesario realizar la revisión y selección de los registros con menor ruido de las lecturas tomas, de esta manera se seleccionó el registro tomado entre los geófonos G1 y G24, tomando los registros a -3m del Geofono 1. Los cuales se muestran a continuación:

Trazas

N. trazas	25
Duración de adquisición [msec]	4096.0
Interdistancia geófonos [m]	3.0
Periodo de muestreo [msec]	1.00



Trazas seleccionadas para análisis MASW L1

A partir de las trazas seleccionadas anteriormente se realizó el análisis espectral, con los siguientes datos de entrada:

Análisis espectral

Frecuencia mínima de elaboración [Hz]	1
Frecuencia máxima de elaboración [Hz]	60
Velocidad mínima de elaboración [m/sec]	1
Velocidad máxima de elaboración [m/sec]	800
Intervalo velocidad [m/sec]	1

A partir de este análisis se obtiene la gráfica del espectro de frecuencias Vs velocidad mostrada a continuación:

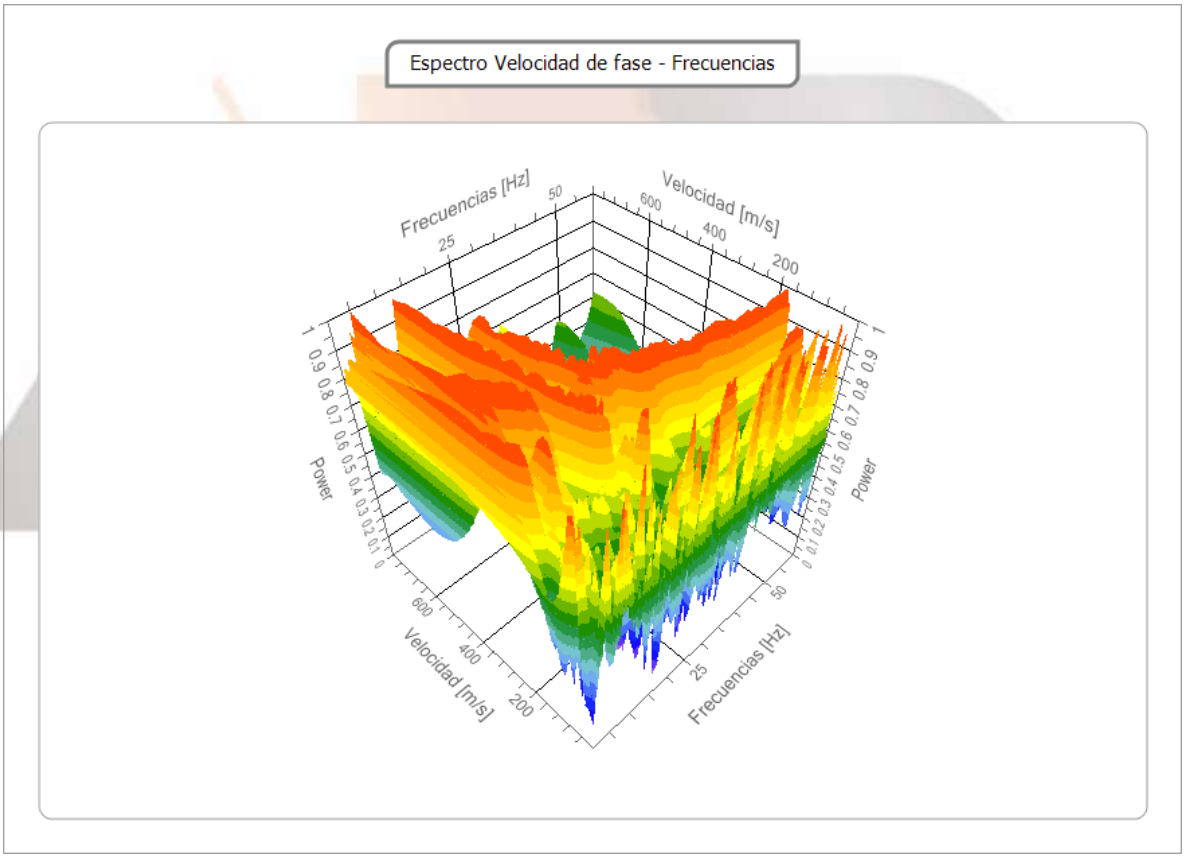


Figura Espectro de Velocidad de Fase Vs Frecuencia – MASW No 1

De la gráfica anterior se calculó la curva de dispersión, cuyos datos se registran a continuación:

Curva de dispersión

n.	frecuencia [Hz]	Velocidad [m/sec]	Modo
1	6.3	718.9	0
2	6.4	509.0	0
3	10.7	363.5	0
4	14.7	277.7	0
5	19.6	237.1	0
6	35.8	201.3	0
7	47.2	201.3	0

En la figura a continuación se observa las curvas de dispersión sobre el espectro de velocidades de base Vs frecuencias

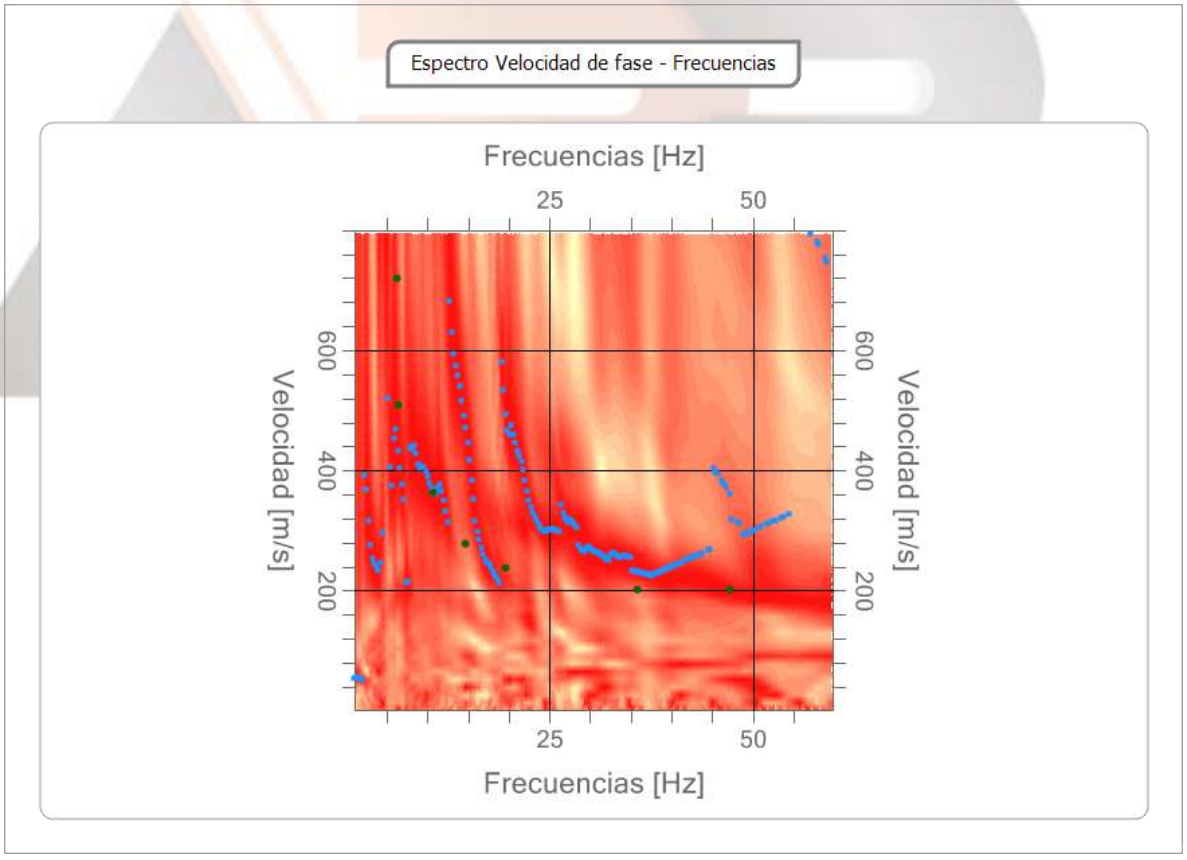


Diagrama espectro de Velocidades de fase Frecuencia MASW No 1

Inversión

n.	Descripción	Profundidad [m]	Espesor [m]	Peso específico [kg/mc]	Coeficiente Poisson	Nivel freático	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	UG1	2.02	2.02	1900.0	0.1	No	253.3	168.9
2	UG2	4.04	2.03	1900.0	0.1	No	416.1	277.4
3	UG2	6.04	2.00	2042.0	0.1	No	448.0	298.7
4	UG2	8.04	2.00	2042.0	0.1	No	664.7	443.1
5	UG2	11.01	2.97	2249.0	0.1	No	668.4	445.6
6	UG3	oo	oo	2249.0	0.3	No	1368.7	768.3

Porcentaje de error 2.367 %
Factor de desadaptación de la solución 0.137

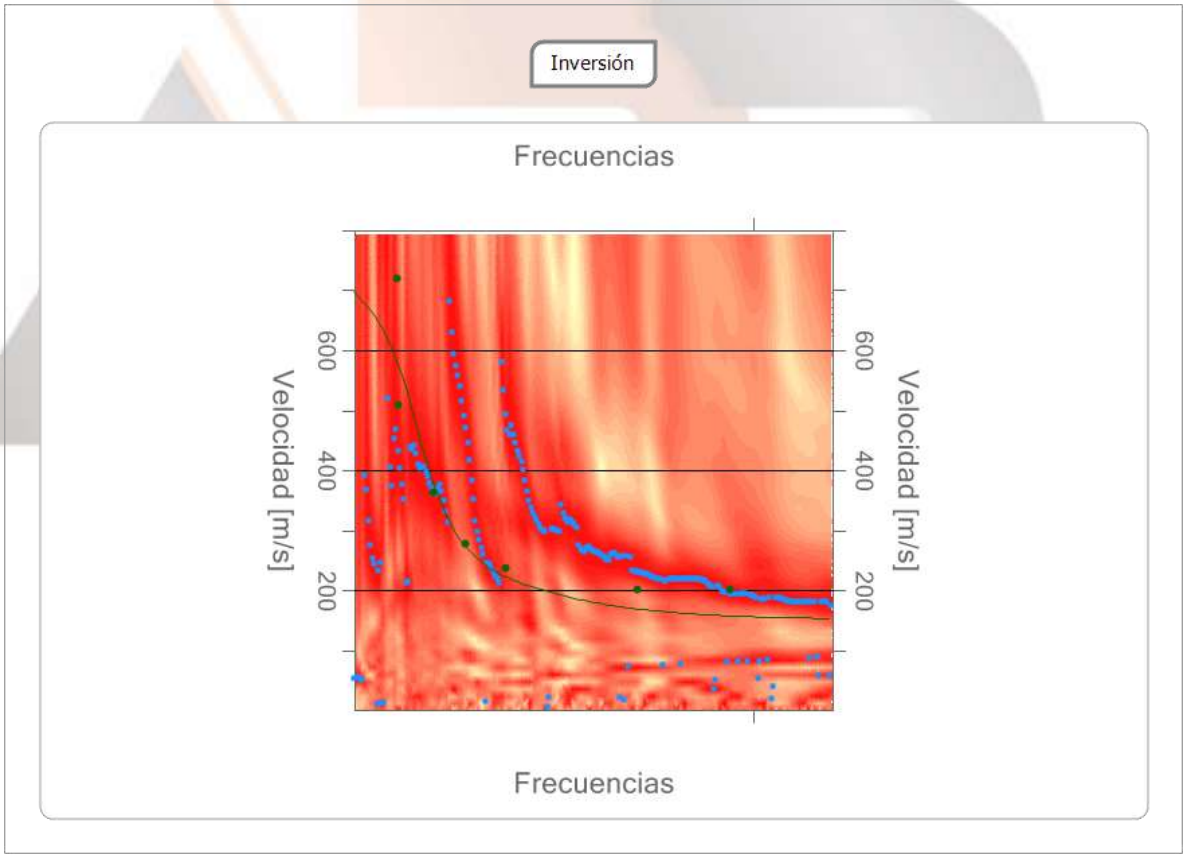
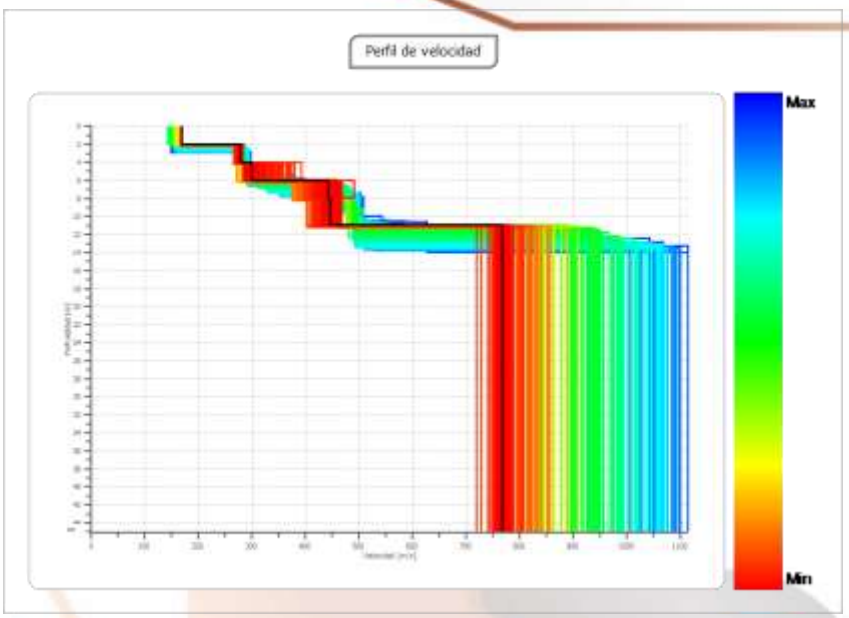
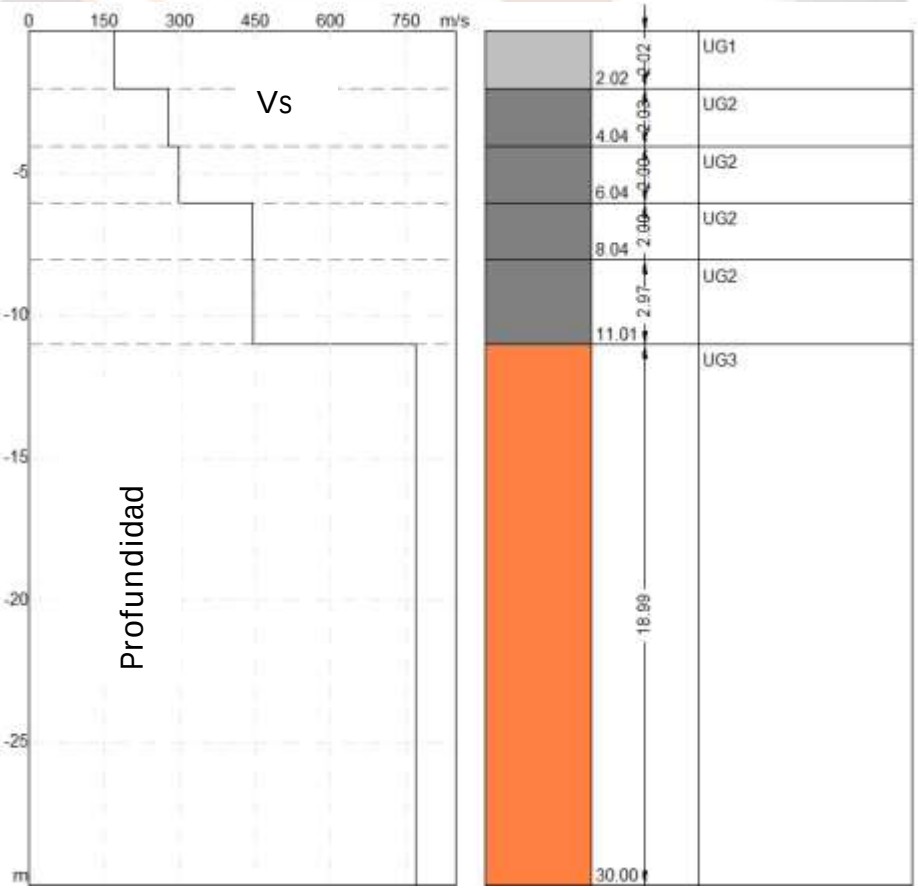


Diagrama de Inversión Calculado MASW No 1



Perfile de velocidades en función de la profundidad - MASW No 1



Perfil estratigráfico MASW No 1

Resultados MASW

Profundidad plano de cimentación [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	485.25
Categoría de suelo	Rocas blandas y depósitos de suelo de grano grueso muy densos o suelos de grano fino muy consistentes con espesores sup. a 30 m

Suelo de tipo B: Rocas blandas y depósitos de suelo de grano grueso muy densos o suelos de grano fino muy consistentes con espesores sup. a 30 m, caracterizados por un mejoramiento gradual de las propiedades mecánicas a según del aumento de la profundidad y por valores Vs,30 comprendidos entre 360 m/s y 800 m/s (o NSPT,30 > 50 en suelos de grano grueso y cu,30 > 250 kPa en suelos de grano fino).

Otros parámetros geotécnicos

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.02	2.02	168.89	253.34	1900.00	0.10	54.20	121.95	49.68	119.24	N/A	325.22
2	4.04	2.03	277.41	416.11	1900.00	0.10	146.22	328.98	134.03	321.67	N/A	3936.43
3	6.04	2.00	298.67	448.00	2042.00	0.10	182.15	409.84	166.97	400.73	N/A	N/A
4	8.04	2.00	443.12	664.68	2042.00	0.10	400.96	902.15	367.54	882.10	N/A	N/A
5	11.01	2.97	445.58	668.38	2249.00	0.10	446.53	1004.69	409.32	982.36	N/A	N/A
6	oo	oo	768.28	1368.74	2249.00	0.27	1327.50	4213.36	2443.37	3371.85	0	N/A

G0: Módulo de deformación al corte;
Ed: Módulo edométrico;
M0: Módulo de compresibilidad volumétrica;
Ey: Módulo de Young;

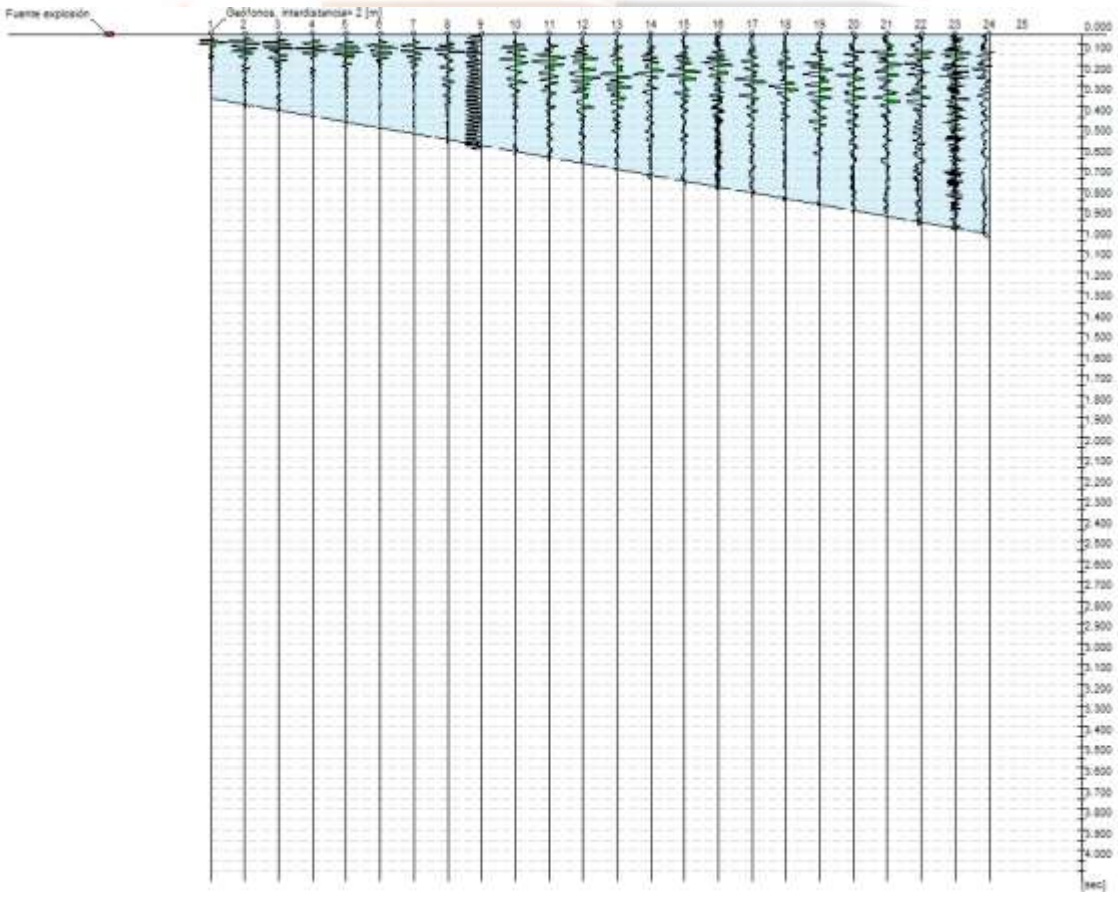
CONTROL INGENIERÍA S.A.S.

Datos registro MASW No 2

Debido al alto ruido ambiental registrado durante la toma de datos, fue necesario realizar la revisión y selección de los registros con menor ruido de las lecturas tomas, de esta manera se seleccionó el registro tomado entre los geófonos G1 y G24, tomando del golpe a --2m del geófono 1, Los cuales se muestran a continuación:

Trazas

N. trazas	25
Duración de adquisición [msec]	4096.0
Interdistancia geófonos [m]	2.0
Periodo de muestreo [msec]	1.00



Trazas seleccionadas para análisis MASW L2

A partir de las trazas seleccionadas anteriormente se realizó el análisis espectral, con los siguientes datos de entrada:

Análisis espectral

Frecuencia mínima de elaboración [Hz]	1
Frecuencia máxima de elaboración [Hz]	60
Velocidad mínima de elaboración [m/sec]	1
Velocidad máxima de elaboración [m/sec]	800
Intervalo velocidad [m/sec]	1

A partir de este análisis se obtiene la gráfica del espectro de frecuencias Vs velocidad mostrada a continuación:

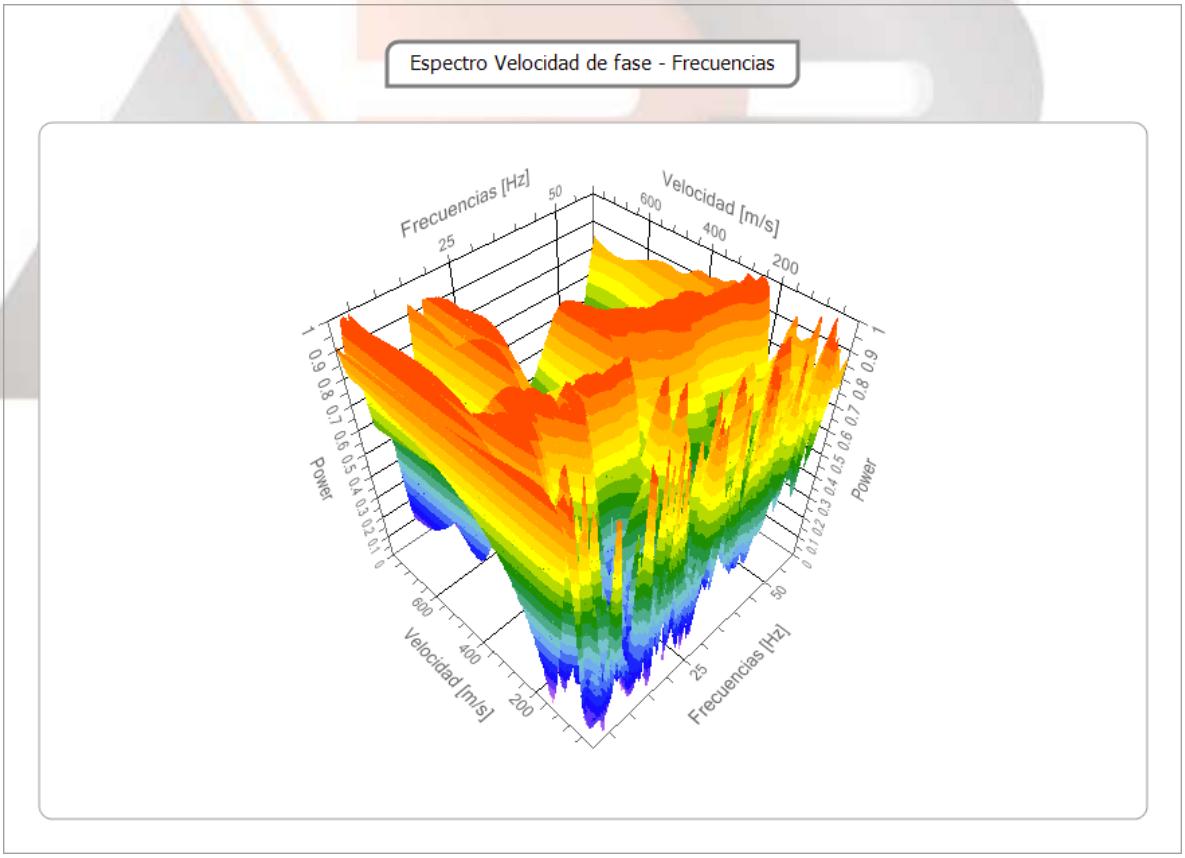


Figura Espectro de Velocidad de Fase Vs Frecuencia – MASW No 2

De la gráfica anterior se calculó la curva de dispersión, cuyos datos se registran a continuación:

Curva de dispersión

n.	frecuencia [Hz]	Velocidad [m/sec]	Modo
1	7.0	738.0	0
2	9.6	470.9	0
3	13.3	365.9	0
4	21.0	280.1	0
5	29.1	213.3	0
6	42.8	156.0	0

En la figura a continuación se observa las curvas de dispersión sobre el espectro de velocidades de base Vs frecuencias

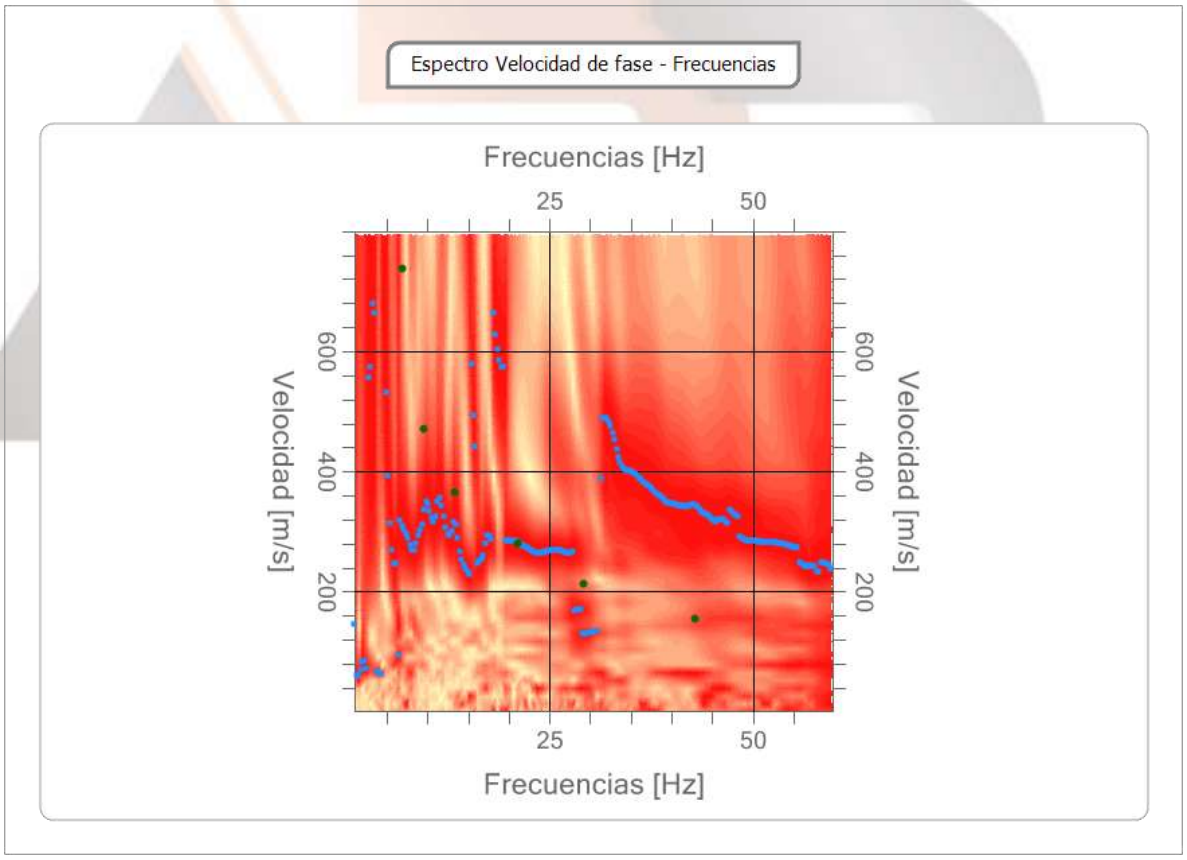


Diagrama espectro de Velocidades de fase Frecuencia MASW No 2

A partir de lo anterior se presenta a continuación el resultado de la inversión, el cual refleja un modelo básico bicapa mostrado a continuación:

Inversión

n.	Descripción	Profundidad [m]	Espesor [m]	Peso específico [kg/mc]	Coeficiente Poisson	Nivel freático	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	UG1	2.00	2.00	1900.0	0.1	No	256.2	170.8
2	UG2	3.09	1.09	2042.0	0.1	No	466.8	311.2
3	UG2	5.30	2.20	2042.0	0.1	No	554.6	369.7
4	UG2	7.51	2.21	2042.0	0.1	No	621.5	414.3
5	UG2	9.52	2.01	2042.0	0.1	No	612.4	408.2
6	UG3	oo	oo	2249.0	0.2	No	1389.1	850.7

Porcentaje de error 1.376 %
Factor de desadaptación de la solución 0.093

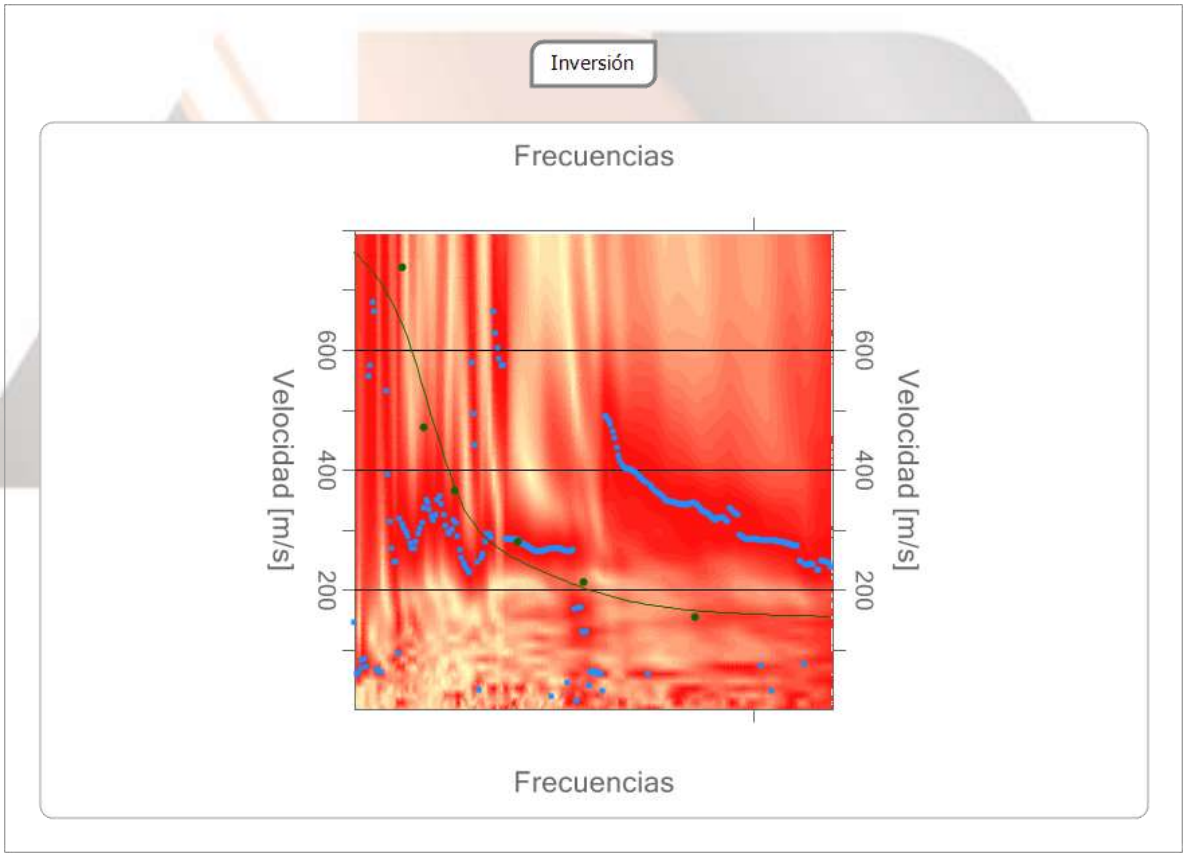
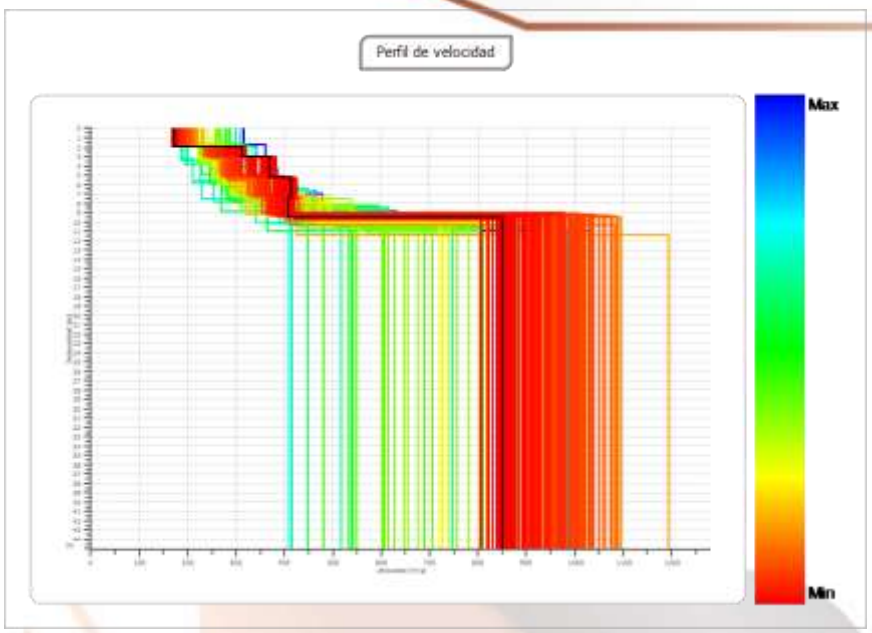
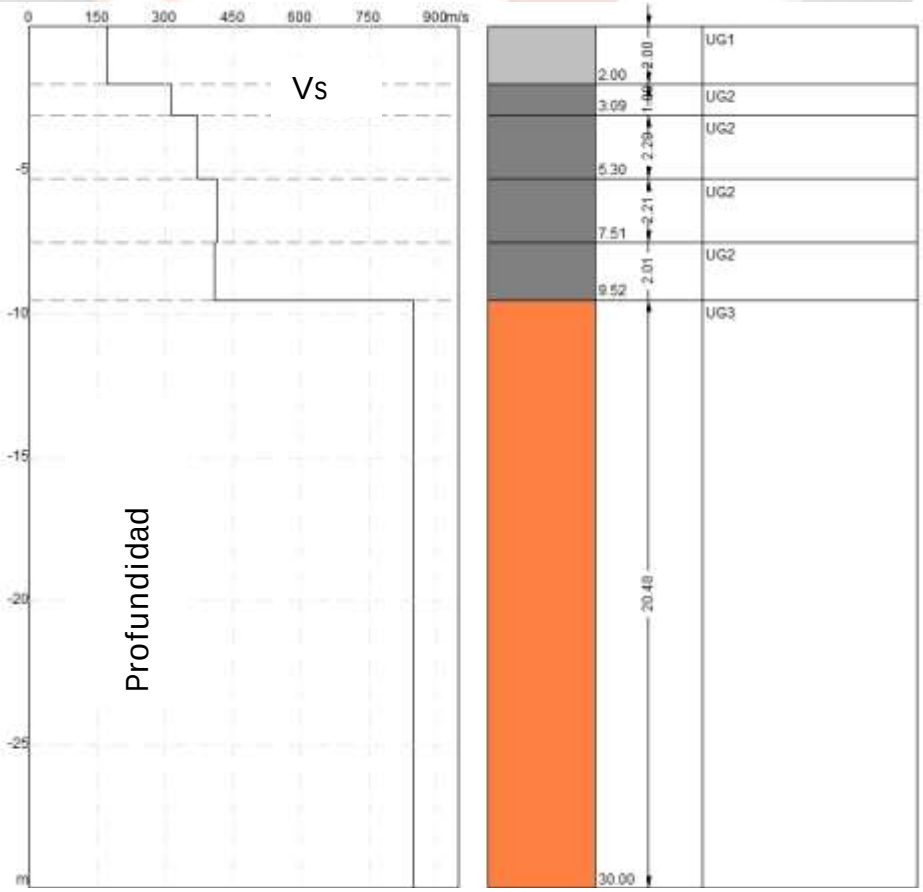


Diagrama de Inversión Calculado MASW No 2



Perfile de velocidades en función de la profundidad - MASW No 2



Perfil estratigráfico MASW No 2

Resultados MASW

Profundidad plano de cimentación [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	540.33
Categoría de suelo	Suelo de tipo B: Rocas blandas y depósitos de suelo de grano grueso muy densos o suelos de grano fino muy consistentes con espesores sup. a 30 m

Suelo de tipo B: Rocas blandas y depósitos de suelo de grano grueso muy densos o suelos de grano fino muy consistentes con espesores sup. a 30 m, caracterizados por un mejoramiento gradual de las propiedades mecánicas a según del aumento de la profundidad y por valores Vs,30 comprendidos entre 360 m/s y 800 m/s (o NSPT,30 > 50 en suelos de grano grueso y cu,30 > 250 kPa en suelos de grano fino).

Otros parámetros geotécnicos

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	2.00	2.00	170.78	256.17	1900.00	0.10	55.41	124.68	50.80	121.91	N/A	343.86
2	3.09	1.09	311.22	466.83	2042.00	0.10	197.78	445.01	181.30	435.12	N/A	N/A
3	5.30	2.20	369.74	554.60	2042.00	0.10	279.15	628.09	255.89	614.13	N/A	N/A
4	7.51	2.21	414.31	621.47	2042.00	0.10	350.52	788.66	321.31	771.13	N/A	N/A
5	9.52	2.01	408.24	612.36	2042.00	0.10	340.32	765.72	311.96	748.70	N/A	N/A
6	oo	oo	850.65	1389.11	2249.00	0.20	1627.39	4339.71	2169.85	3905.74	0	N/A

G0: Módulo de deformación al corte;
Ed: Módulo edométrico;
M0: Módulo de compresibilidad volumétrica;
Ey: Módulo de Young;

CONTROL INGENIERÍA S.A.S.

3. CONCLUSIONES:

De la Exploración geofísica realizada se concluye:

Línea No 1:

- Los resultados de las línea de refracción sísmica No 1, indican que en la zona de estudio se caracteriza por tener un modelo de tres capas de velocidades compresionales promedio, de la que se tiene una primera capa Vp1= 364.97 m/s, asociada a materiales de la UG1 conformada por sueltos no consolidados como posibles suelos transportados recientemente o depósitos antrópicos heterogéneos, los cuales cuentan con espesores entre 0.2 m a 5.0 m; Una segunda capa con una Vp2= 553.2 m/s identificada como UG2 interpretada como materiales de ripado fácil o material suelto asociada de acuerdo con la geología de la zona a la unidad de suelo coluviales llegando a profundidades hasta los 11.60m; por último, una tercera capa UG3 con velocidad de compresión de 1366.1 m/s categorizada como material de ripado normal, el cual se encuentra a profundidades mayores a 5.1/11.6m, asociados según el ámbito de la geología local a materiales de roca blanda tipo arenisca o arenitas de la unidad E1-Sc.

- Por otra parte, del resultado del análisis MASW No 1 se encuentran las siguientes velocidades de onda de corte, Vs1=168.89 m/s, hasta una profundidad de 2.02 m, asociada a materiales sueltos o no consolidados, posiblemente asociadas a unidades de depósitos de ladera tipo coluvial reciente o a rellenos antrópicos heterogéneos (UG1); Una segunda capa con una Vs2=277.41 a 445.58 m/s interpretada como materiales de ripado facil asociados a depósitos de ladera tipo coluvial (UG2), llegando a profundidades hasta de 11.01 m: y una tercera capa asociada a material tipo roca blanda con velocidad de onda de corte de Vs3=768.28 m/s encontrada a profundidades mayores a los 11.01 m, posiblemente asociada a materiales de roca blanda arenisca o arenitas de la unidad E1-Sc.

Línea No 2:

- Los resultados de las línea de refracción sísmica No 2, indican que en la zona de estudio se caracteriza por tener un modelo de tres capas de velocidades compresionales promedio, de la que se tiene una primera capa Vp1= 323.12 m/s, asociada a materiales de la UG1 conformada por sueltos no consolidados como posibles suelos transportados recientemente o depósitos antrópicos heterogéneos, los cuales cuentan con espesores entre 1.1 m a 2.5 m; Una segunda capa con una Vp2=

686.40 m/s identificada como UG2 interpretada como materiales de ripado fácil o material suelto asociada de acuerdo con la geología de la zona a la unidad de suelo coluviales llegando a profundidades hasta los 11.1m; por último, una tercera capa UG3 con velocidad de compresión de 1361.2 m/s categorizada como material de ripado normal, el cual se encuentra a profundidades mayores a 9.1/11.1m, asociados según el ámbito de la geología local a materiales de roca blanda tipo arenisca o arenitas de la unidad E1-Sc.

- Por otra parte, del resultado del análisis MASW No 2 se encuentran las siguientes velocidades de onda de corte, Vs1=170.78 m/s, hasta una profundidad de 2.00 m, asociada a materiales sueltos o no consolidados, posiblemente asociadas a unidades de depósitos de ladera tipo coluvial reciente o a rellenos antrópicos heterogéneos (UG1); Una segunda capa con una Vs2=311.22 a 408.24 m/s interpretada como materiales de ripado facil asociados a depósitos de ladera tipo coluvial (UG2), llegando a profundidades hasta de 9.52 m: y una tercera capa asociada a material tipo roca blanda con velocidad de onda de corte de Vs3=850.65 m/s encontrada a profundidades mayores a los 9.52 m, posiblemente asociada a materiales de roca blanda arenisca o arenitas de la unidad E1-Sc.

En Conclusión, los resultados e interpretaciones arrojan que hasta los 30 metros superficiales, las velocidades promedio de onda de corte ($\overline{Vs}$) en arrojan valores entre 485.25 m/s a 540.33 m/s de acuerdo con lo cual en el área predomina una clasificación y/o caracterización de perfiles de suelos rígidos correspondientes a un perfil de ***TIPO C***, el cual se recomienda sea adoptado para los análisis estructurales

Tabla 8 Clasificación de los perfiles de suelo basados en el parámetro de velocidad media de la onda de cortante.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente.	$\overline{Vs} \geq 1500\ ^m/_s$
B	Perfil de roca de rigidez media.	$1500\ m/s > \overline{Vs} \geq 760\ ^m/_s$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante	$760\ m/s > \overline{Vs} \geq 360\ ^m/_s$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de onda de cortante.	$360\ m/s > \overline{Vs} \geq 180\ ^m/_s$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante	$180\ m/s > \overline{Vs}$

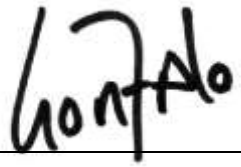
Fuente: (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial Dirección del Sistema Habitaciona, 2010)

- Las relaciones de poisson son obtenidas mediante la siguiente ecuación $\nu = \{(Vp/Vs)^2 - 2\}/2\{(Vp/Vs)^2 - 1\}$, donde las velocidades Vp son obtenidas de la interpretación de la refracción sísmica y las velocidades Vs son obtenidas de la interpretación o análisis MASW.

- Las propiedades de densidad y características geológicas de la zona de estudio son adoptadas según el informe titulado "Estudio geológico, geotécnico, hidráulico y diseños para el mantenimiento del talud derecho de la vía Tunja -Bogotá, Talud San Ignacio", elaborado por el Consorcio San Ignacio en el año 2013.

- Los ensayos LRS y/o MASW son ensayos para un análisis indirecto que tiene un grado de aproximación aceptable, sin embargo, requieren de exploración geotecnia directa y ensayos de laboratorio para ajustar el modelo del subsuelo según sus características y propiedades mecánicas.

CORDIALMENTE



GONZALO ADOLFO FIGUEREDO CAMACHO

Ingeniero Civil, Magister Ingenieria Geotecnica MP: 252021-68568 CND

CONTROL INGENIERÍA S.A.S.

BIBLIOGRAFÍA

- Guía de Usuario IPI2Win, Universidad Estatal de Moscú Facultad de Geología
- Departamento de Geofísica. Moscú - 2000
- ITC, 1992. Physical Properties of Rocks, International Institute for Aerospace Surveys and Earth Sciences, Delft, The Netherlands.
- ITC, 1985. Resistivity Surveying, Pictorical Atlas and Lecture Notes, International Institute for Aerospace Surveys and Earth Sciences, Delft, The Netherlands.
- SHERIFF, R.E. 1994. Enciclopedic dictionary of Exploration Geophysics, third edition, Society of Exploration Geophysicist, Tulsa, United States of America.
- TELDFORD, W.M., GELDART L.P., SHERIFF, R.E. 1994. Applied Geophysics, second edition, Cambridge University Press, London, United Kingdom.}
- Software Geostru- EasyRefract
- Software Geostru- EasyMASW

CONTROL INGENIERÍA S.A.S.

Bogotá D.C., noviembre de 2023

Señores
ALCALDIA DE TUNJA
Tunja.

Ref: Memorial responsabilidad.

Respetados Señores:

GONZALO ADOLFO FIGUEREDO CAMACHO, en calidad de Ingeniero Civil con Matricula Profesional M.P. 252021-68568 CND, Magister en Ingeniería Geotecnia, por medio de este memorial manifiesto que el componente de estudios geofísicos por técnicas de refracción sísmica y MASW para el estudio denominado "SI-178 CONSULTORÍA PARA LA REVISIÓN Y/O AJUSTE Y/O ACTUALIZACIÓN Y/O MODIFICACIÓN Y/O COMPLEMENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, HIDRÁULICOS Y DISEÑOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL TALUD DERECHO DE LA VÍA DIRECCIÓN TUNJA-BOGOTÁ SECTOR SAN IGNACIO AVENIDA ORIENTAL ENTRE LAS CALLES 19 Y 20 DE LA CIUDAD DE TUNJA DEPARTAMENTO DE BOYACÁ DE CONFORMIDAD A LO ESTABLECIDO EN EL FALLO Nº 15001 – 33 – 33 – 007 – 2011 – 00178 CONTRA EL MUNICIPIO DE TUNJA", fue desarrollado de acuerdo con los lineamientos técnicos vigentes en el marco del CCP-14 y/o NSR-10, por panto asumo la responsabilidad por los resultados de los mismos.

Cordialmente,

CONTROL INGENIERÍA S.A.S.

_____
GONZALO ADOLFO FIGUEREDO CAMACHO
Ingeniero Civil
Maestría en Ingeniería Geotecnia
M.P. 252021-68568 CND
C.C. 1.032.356.864 de Bogotá

REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL

LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

CONFIERE EL TÍTULO DE

Ingeniero Civil

A

Gonzalo Adolfo Figueredo Camacho

C.C. No. 1032356864 Expedida en Bogotá

QUIEN CUMPLIÓ SATISFACTORIAMENTE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS EXIGIDOS.
EN TESTIMONIO DE ELLO, Y PREVIO AL JURAMENTO DE RIGOR, OTORGA EL PRESENTE

DIPLOMA

EN LA CIUDAD DE Bogotá D.C., a los 25 días del mes de Marzo de 2009

DECANATURA DE FACULTAD | RECTORÍA | SECRETARÍA GENERAL

REGISTRO No. 8355 del Libro de Diplomas No. 09
DE LA SEDE DE Bogotá FACULTAD DE Ingeniería

0112659

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE

INGENIERÍA

ACTA DE GRADO NÚMERO 19697

El Consejo de Facultad en su sesión del día 26 de Febrero de 2009 - Acta No. 003

CONSIDERANDO QUE

Gonzalo Adolfo Figueredo Camacho

C.C. No. 1032356864 de Bogotá

Cumplió satisfactoriamente con los requisitos exigidos por los Acuerdos y Reglamentos de la Universidad, resuelve otorgarle el título de

Ingeniero Civil

En nombre y representación de la República de Colombia y de la Universidad Nacional de Colombia se expide el Diploma Número 112659 *consignado en el Registro No.* 8355 del Libro No. 09

En testimonio de lo anterior se firma la presente Acta de Grado en la ciudad de Bogotá. a los 25 días del mes de Marzo de 2009

PRESIDENCIA
Consejo de Facultad

SECRETARÍA
Consejo de Facultad

LA SECRETARIA DE SEDE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

C E R T I F I C A:

Que a la fecha de expedición del presente documento, ejerce las funciones de Secretario de la Facultad de Ingeniería el Ingeniero ***CARLOS ORLANDO ROBLES ROA.***

Bogotá, 25 de Marzo de 2009

CARMEN MARIA ROMERO ISAZA
Secretaria de Sede

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE

Ingeniería

ACTA DE GRADO NÚMERO 2716

El consejo de Facultad en su sesión del día 30 de julio de 2015 - Acta No. 12

CONSIDERANDO QUE

Gonzalo Adolfo Figueredo Camacho

C.C. 1.032.356.864 de Bogotá D.C.

Cumplió satisfactoriamente con los requisitos exigidos por los Acuerdos y Reglamentos de la Universidad, resuelve otorgarle el título de

Magíster en Ingeniería - Geotecnia

Trabajo Final o Tesis:

Ampliación de la metodología de análisis y del número de eventos de deslaves estudiados en Colombia.

En nombre y representación de la República de Colombia y de la Universidad Nacional de Colombia se expide el Diploma Número **41684** *consignado en el Registro No.* **2116**, *Folio* **83** *del Libro No.* **3**
En testimonio de lo anterior se firma la presente Acta de Grado en la ciudad de **Bogotá D.C., a los 30 días del mes de julio de 2015**

PRESIDENCIA
Consejo de Facultad

SECRETARIA
Consejo de Facultad

REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL

LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

TENIENDO EN CUENTA QUE

Gonzalo Adolfo Figueredo Camacho

C.C. 1.032.356.864 de Bogotá D.C.

CUMPLIÓ SATISFACTORIAMENTE TODOS LOS REQUISITOS REGLAMENTARIOS DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO LE CONFIERE EL TÍTULO DE

Magíster en Ingeniería - Geotecnia

EN LA CIUDAD DE Bogotá D.C., a los 31 días del mes de agosto de 2015

DECANATURA DE FACULTAD

RECTORÍA

SECRETARÍA GENERAL

REGISTRO No. 2116, Folio 83 del Libro de Diplomas No. 3

DE LA SEDE DE Bogotá FACULTAD DE Ingeniería

41684


CONTROL INGENIERÍA S.A.S.