

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

La refracción sísmica en el mejoramiento del Estadio Huancayo - Junín

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor: Bach. Neucir Edwin CARHUALLANQUI MANRIQUE

Asesor: Ing. Ramiro Ernesto DE LA CRUZ FERRUZO

Cerro de Pasco – Perú - 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

La refracción sísmica en el mejoramiento del Estadio Huancayo – Junín

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg.Vidal Víctor CALSINA COLQUI

PRESIDENTE

Mg.Javier LOPEZ ALVARADO

MIEMBRO

Mg.Luis Arturo LAZO PAGÁN

MIEMBRO

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mi madre Aurora, quien me apoyo todo el tiempo y a mi hermano Kevin quien me inspira a continuar.

A mi novia Jhannet quien me apoyo y alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir.

A mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que muchas veces no ponía atención en clase, a ellos que continuaron depositando su esperanza en mí.

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

RECONOCIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mi madre: Aurora, por ser la principal promotora de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado así como mi hermano Kevin quien es un motivo a continuar.

A mi novia Jhannet quien con una sonrisa me apoyo y alentó para continuar.

Agradezco a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión.

RESUMEN

En síntesis, es necesaria la información sobre las condiciones del subsuelo, que sirva como herramienta al ingeniero geólogo, al ingeniero geotécnico, al estructural y al hidrogeólogo; para la determinación de parámetros tales como: La estratigrafía de la zona de trabajo, compacidad del subsuelo de fundación, cota de fundación en la que se encuentra el suelo intacto y firme, delimitación de rocas fresca y/o alteradas, zonificación de fallas, profundidad del nivel freático, etc.

La investigación parte de la problemática: ¿Cómo influye la refracción sísmica en el Mejoramiento de estabilidad del Estadio Huancayo, departamento de Junín?, Y como objetivo general consiste en: Determinar las características estratigráficas de los suelos y rocas del subsuelo en el Mejoramiento del Estadio Huancayo, utilizando la refracción sísmica. La hipótesis principal: Los criterios técnicos que se toman en cuenta para elegir los métodos de refracción sísmica

Los criterios técnicos que se toman en cuenta para elegir los métodos de refracción sísmica LRS-MASW – MASW2D, servirán para determinar parámetros elásticos y la velocidad de onda y poder interpretar y conocer las características estratigráficas geológicas

Palabras clave: Ondas sísmicas, método refracción sísmica:

ABSTRACT

In summary, information on the subsoil conditions is necessary, which serves as a tool for the geological engineer, the geotechnical engineer, the structural engineer and the hydrogeologist; for the determination of parameters such as: The stratigraphy of the work area, compactness of the foundation subsoil, foundation level in which the ground is intact and firm, delimitation of fresh and / or altered rocks, zoning of faults, depth of the water table, etc.

The research is based on the problem: How does the seismic refraction influence the Stability Improvement of the Huancayo Stadium, Junín Department? And as a general objective it consists in: Determining the stratigraphic characteristics of the soil and subsoil rocks in the Stadium Improvement Huancayo, using seismic refraction. The main hypothesis: The technical criteria that are taken into account to choose the methods of seismic refraction.

The technical criteria that are taken into account to choose the methods of seismic refraction: LRS-MASW - MASW2D, will be used to determine elastic parameters and wave speed and to interpret and know the geological stratigraphic characteristics.

Keywords: Sismic waves, seismic refraction method

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se ha elaborado en base a la información obtenida en gabinete y los trabajos de campo efectuados en el mes de enero a abril, con la finalidad de reconocer las principales formaciones litoestratigráficas del área, las características físicas, químicas y estructurales de los suelos presentes en el área de estudio.

La evaluación geofísica consistió en la exploración por medio de los ensayos de Refracción Sísmica, Medición de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanal (MASW) y MASW2D, mediante los cuales se determinó la potencia de los estratos, con la interpretación de las velocidades de ondas "P" y ondas "Cs" de los materiales que conforman el terreno.

El levantamiento geofísico consistió en la realización de 15 secciones de refracción sísmica, 15 sondajes MASW y la medición de ondas superficiales en arreglos multicanales bidimensional (MASW 2D); con la finalidad de determinar la potencia de los estratos, identificación de contacto y/o fallas y parámetros elásticos de los estratos interpretados.

El objetivo del presente estudio es determinar la velocidad de propagación de las ondas P (V_p) y ondas S (V_s) del subsuelo de cimentación para el proyecto del Mejoramiento del Estadio Huancayo, mediante ensayos de refracción sísmica superficial, los cuales permitirán determinar perfiles sísmicos de ondas P (V_p), asimismo mediante el ensayo MASW, permitirá obtener perfiles unidimensionales de ondas S (V_s) y MASW-2D, los que

Permitirán obtener un perfil sísmico de ondas S (V_s). La información obtenida es de gran utilidad para determinar en forma indirecta los espesores y las características estratigráficas de los suelos que se encuentran a diferentes profundidades en el área de estudio. Asimismo calcular los parámetros elásticos.

ÍNDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2 Delimitación de la investigación	2
1.3 Formulación del problema	2
1.3.1 Problema general	2
1.3.2 Problemas específicos	2
1.4 Formulación de objetivos	2
1.4.1 Objetivo general	2
1.4.2 Objetivos específicos	3
1.5 Justificación de la investigación	3
1.6 Limitaciones de la investigación	3

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de estudio	4
2.2 Bases teóricas – científicas	5
2.3 Definición de términos básicos.....	40
2.4 Formulación de hipótesis.....	44
2.4.1 Hipótesis general	44

2.4.2	Hipótesis específicas	44
2.5	Identificación de variables	45
2.5.1	Variables independientes	45
2.5.2	Variables dependientes	45
2.6	Definición operacional de variables e indicadores	45

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.....	46
3.2.	Métodos de investigación	46
3.3.	Diseño de la investigación	47
3.4.	Población y muestra.....	47
3.4.1.	Población.....	47
3.4.2.	Muestra	47
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47
3.6.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	48
3.7.	Tratamiento estadístico.....	48
3.8.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	49
3.8.1	Especificaciones del equipo geode.....	49
3.8.2	Parámetros de levantamiento de campo:.....	50
3.9.	Orientación ética	50

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Descripción del trabajo de campo	51
4.1.1	Ubicación política.....	51

4.1.2	Ubicación geográfica.....	51
4.1.3	Ubicación del proyecto.....	52
4.1.4	Vías de acceso.....	52
4.1.5.	Clima.....	53
4.1.6.	Geología regional.....	53
4.1.7.	Estratigrafía.....	55
4.1.8.	Geología estructural.....	66
4.1.8.1	Características sísmicas	67
4.1.8.2	Condiciones geotécnicas.....	69
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	71
4.2.1.	Presentación de los datos.....	71
4.2.2.	Procedimientos de trabajo de campo.....	72
4.2.3	Análisis e interpretación.....	79
4.2.3.1	Análisis e interpretación de la refracción sísmica (Irs)	79
4.2.3.2	Análisis e interpretación de los sondajes masw	89
4.2.5.3	Análisis e interpretación de los sondajes masw2d.....	101
4.3.	Prueba de hipótesis	111
4.3.1	Clasificación del sitio (fuente ibc, 2012)	114
4.4.	Discusión de resultados	115

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

FIGURAS

Figura 1:	Modelo de dos capas, la inferior de mayor velocidad	8
Figura 2:	Propagación de las ondas en un medio de dos capas	9
Figura 3:	Ángulo crítico de refracción C I	9
Figura 4:	Esquema general del equipo de refracción sísmica	10
Figura 5:	Registro típico de los sismogramas	13
Figura 6:	Curva tiempo – distancia para disparos directo y reverso	13
Figura 7:	Relación entre la distancia crítica y la profundidad	14
Figura 8:	Ley de las velocidades aparentes	17
Figura 9:	Principio de reciprocidad	17
Figura 10:	Tiempo de intercepto en el origen	18
Figura 11:	Aplicación del principio de paralelismo	19
Figura 12:	Tiempos de intercepto: modelo de dos estratos planos	22
Figura 13:	Tiempos de intercepto	23
Figura 14:	Método del intercepto: geometría capas planas	23
Figura 15:	Modelos para tres refractores	25
Figura 16:	Velocidades aparentes: modelo de un refractor	26
Figura 17:	Velocidades aparentes: modelo para dos refractores inclinados	29
Figura 18:	Modelo de propagación de las ondas P. (Fuente: RDT 03- 006 - University of Missouri-Rolla)	31
Figura 19:	Modelo de propagación de las ondas S. (Fuente: Anderson et al., 2003)	33
Figura 20:	Modelo de propagación de las ondas Rayleigh. (Fuente: Anderson et al., 2003)	34
Figura 21:	Modelo de propagación de las ondas Love. (Fuente: Anderson et al., 2003)	34
Figura 22:	Mapa geológico del cuadrángulo de Huancayo	40
Figura 23:	Columna Estratigrafica de la Region de Huancayo	47

Figura 24:	Mapa de Zonificación Sísmica del Perú	50
Figura 25:	Geometrics, Modelo GEODE, Sismografo de 24 Canales	53
Figura 26:	Disposición del tendido de la línea de refracción LRS-01	57

TABLAS

Tabla N°1:	Comparación de métodos de cálculo e interpretación de refracción sísmica ..	21
Tabla N°2:	Factores de zona Z	51
Tabla N°3:	Periodos de acuerdo la norma E – 030	51
Tabla N°4:	Parámetros elásticos LRS-05/MASW-05	78
Tabla N°5:	Parámetros elásticos LRS-06/MASW-06	79
Tabla N°6:	Parámetros elásticos LRS-08/MASW-08	79
Tabla N°7:	Parámetros elásticos LRS-11/MASW-11	79
Tabla N°8:	Clasificación del sitio (fuente IBC,2012)	81
Tabla N°9:	Velocidad promedio de ondas de corte a 30 metros de profundidad (Vs-30)	82

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

El proyecto responde al problema de determinar las características de las estructuras del suelo y rocas del subsuelo para cimentación, mediante la velocidad de propagación de las ondas P (V_p) y ondas S (V_s) para realizar el Mejoramiento de estabilidad del Estadio Huancayo, mediante ensayos de refracción sísmica superficial, los cuales permitirán determinar perfiles sísmicos de ondas P (V_p), asimismo mediante el ensayo MASW, permitirá obtener perfiles unidimensionales de ondas S (V_s) y MASW-2D, los que permitirán obtener un perfil sísmico de ondas S (V_s). La información obtenida es de gran utilidad para determinar en forma indirecta los espesores y las características estratigráficas de los suelos que se encuentran a diferentes profundidades en el área de estudio.

1.2 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

Es importante el estudio porque permitirá conocer las características estratigráficas de los suelos y rocas del subsuelo para realizar una solución en el Mejoramiento de la Infraestructura del Estadio Huancayo, además servirá como información geológica para futuros proyectos de ingeniería.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo influye la refracción sísmica en el Mejoramiento de estabilidad del Estadio Huancayo, departamento de Junín?

1.3.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1.- ¿Cuáles son las características estratigráficas del subsuelo?

2.- ¿Qué características físicas de los suelos y rocas contribuyen en el Mejoramiento del Estadio Huancayo?

1.4 FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

Para el desarrollo del presente tema de investigación hemos trazado lo siguiente objetivos:

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las características estratigráficas los suelos y rocas del subsuelo en el Mejoramiento del Estadio Huancayo, utilizando la refracción sísmica.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la influencia de las características estratigráficas de los suelos en el Mejoramiento del Estadio Huancayo.
- Analizar la influencia de las características físicas de los suelos y rocas en el Mejoramiento del Estadio Huancayo.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Se justifica por la importancia de utilizar la refracción sísmica en determinar la estabilidad de los suelos y macizos rocosos del subsuelo para cimentaciones y será base para futuros estudios similares que se desarrollen.

1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Como todo estudio el presente trabajo solo está limitado a la zona de trabajo (Estadio Huancayo, Junín) y los resultados solo serán aplicativos a la zona de trabajo (Estadio Huancayo, Junín).

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES DE ESTUDIO

La prospección geofísica es definida como una metodología para la deducción de las condiciones del subsuelo, a través de la observación de fenómenos físicos relacionados con la estructura geológica del mismo. Originalmente, fue desarrollada para la ubicación de yacimientos de petróleo y otros depósitos minerales.

En la Segunda Guerra Mundial, se empezó a utilizar la prospección geofísica para el estudio de terrenos en zonas montañosas (rocosos) para la construcción de represas y túneles. Posteriormente, en la década de 1970, se utilizó para el estudio de suelos blandos, en áreas con suelos de origen aluvial y sedimentario. Actualmente, es empleada en investigaciones para la determinación de la estructura geológica superficial de los suelos.

La prospección geofísica tiene aplicaciones específicas en el campo de la Ingeniería Geológica, tal es el caso de los métodos sísmicos (como el de refracción sísmica, micro temblores o microtrepidaciones, cross-hole, down-hole, up-hole, entre otros), que sirven para la realización de estudios de estabilidad y riesgos geológicos (detección de fallas y detección de cavidades), determinación de parámetros dinámicos, determinación de la excavabilidad-ripabilidad en suelo y roca, clasificación geomecánica del subsuelo, etc.

En países, tales como Chile, Colombia, España y Perú, se tienen antecedentes acerca de la utilización del método de refracción sísmica. Se aclara también, que no sólo en ellos se han realizado este tipo de ensayos.

Para el caso de Perú, la refracción sísmica se ha utilizado en estudios realizados en minas, para la determinación de perfiles sísmicos, definición del nivel del suelo firme o basamento rocoso y en la identificación de las características de resistencia de los materiales existentes en el depósito investigado.

2.2 BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS

DESCRIPCIÓN GENERAL

Dentro de los métodos sísmicos de la geofísica aplicada se encuentran los de refracción y reflexión sísmica. En estos métodos se mide el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y la llegada de éstas a diferentes puntos de observación. Para esto se disponen una serie de sensores en línea recta a

distancias conocidas, formando lo que se conoce como tendido sísmico o línea de refracción - o reflexión - sísmica.

A una distancia conocida del extremo del tendido, en el punto de disparo, se generan ondas sísmicas, con la ayuda de un martillo o por la detonación de explosivos, las cuales inducen vibraciones en el terreno que son detectadas por cada uno de los sensores en el tendido.

El equipo básico consiste de los sensores; la unidad de adquisición, en donde se almacenan los movimientos del terreno detectados por cada sensor; los cables de conexión entre los sensores y la unidad de adquisición; el cable del trigger, que se encarga de marcar el momento de inicio de registro en la unidad de adquisición.

Los registros de cada sensor tienen información de los movimientos del terreno en función del tiempo y son conocidos como sismogramas. Estos son analizados en la refracción sísmica para obtener el tiempo de llegada de las primeras ondas a cada sensor desde el punto de disparo, y en la reflexión para obtener información de las ondas que son reflejadas en las diferentes interfaces de suelo, para lo cual es estudiado el sismograma completo.

Como se verá más adelante una de las aplicaciones del método de refracción sísmica en la ingeniería civil es la determinación de la profundidad al basamento. Con este fin fue aplicado este método en este trabajo de grado en la zona de tesis.

APLICACIONES EN LA INGENIERÍA

La aplicación más común de la refracción sísmica en la ingeniería es para la determinación de la profundidad a basamento en los proyectos de construcción de represas y grandes hidroeléctricas, y para la determinación de las condiciones (meteorización, fracturación) y competencia de la roca en donde se asentarán las estructuras, así como por donde se realizarán los túneles. También es muy útil para detección de fallas geológicas.

En el caso de contextos urbanos la refracción resulta útil para la determinación de la profundidad a basamento y el perfil de velocidades de onda P y S; y para la extrapolación lateral de perforaciones puntuales de suelos.

El método utiliza la llegada de las primeras ondas a los geófonos, ondas P, pero como también las llegadas de las ondas S, de tal manera que se pueden determinar la relación de Poisson y otros módulos dinámicos.

Sarria (1996) enuncia otras potenciales aplicaciones del método:

- a) utilización del ruido sísmico para determinar el módulo dinámico G en masas de arcilla.
- b) evaluación del amortiguamiento.
- c) evaluación de los límites de Atterberg.
- d) determinación de módulos E y G en mecánica de rocas.
- e) explotación de canteras.
- f) ubicación de sondeos en roca.

g) para determinar la capacidad de carga de los pilotes.

ALCANCES Y LIMITACIONES DEL MÉTODO

En términos de la Ingeniería, y el estudio dinámico de los suelos los alcances y limitaciones del método serían los siguientes:

ALCANCES:

Detecta variaciones tanto en profundidad como en la horizontal de la velocidad de la onda P y de la S.

- Permite la detección de la profundidad a basamento y de su relieve, dependiendo de variables como longitud del tendido, energía de la fuente sísmica, velocidades de los suelos.

LIMITACIONES:

- Sólo funciona cuando la velocidad de propagación de las ondas aumenta con la profundidad. En el caso de suelos con capas intermedias de menor velocidad el método arrojaría resultados erróneos.
- Para el caso de aplicaciones urbanas de la Ingeniería, el Método de Refracción Sísmica está limitado por la disponibilidad de zonas descubiertas con suficiente extensión. La longitud del tendido en superficie está directamente relacionada con el alcance de la exploración en profundidad.

PROPAGACIÓN Y TRAYECTORIA DE LAS ONDAS

Cuando se generan ondas sísmicas, a partir de golpes en el suelo con una porra, o con explosiones de pólvora, éstas incluyen tanto ondas sísmicas

internas, Primarias y Secundarias, como superficiales ondas - Love y Rayleigh

Las ondas P, también conocidas como ondas longitudinales, son las de mayor interés en la refracción sísmica.

Las leyes que rigen la propagación y la trayectoria de las ondas sísmicas en la refracción, son las mismas que se utilizan en óptica:

- 1.- Principio de Huygens.
- 2.- Principio de Fermat.
- 3.- Ley de refracción (o de Snell)

A continuación, solamente se retoma y amplía el concepto de la Ley de refracción.

LEY DE REFRACCIÓN

Como consecuencia del Principio de Huygens y/o del principio de Fermat, la Ley de refracción dice que el seno del ángulo incidente es al seno del ángulo de refracción como la velocidad de la onda incidente es a la velocidad de la correspondiente onda refractada.

Para explicar la trayectoria de las ondas en el método de la Refracción sísmica, consideremos un medio, con velocidad $1 C$, que suprayace un medio semi infinito, con velocidad $2 C$, mayor que $1 C$ (Figura 1). Una vez se han generado las ondas en el punto de disparo, éstas empiezan a viajar por el medio superior conformando unos frentes de onda en el espacio.

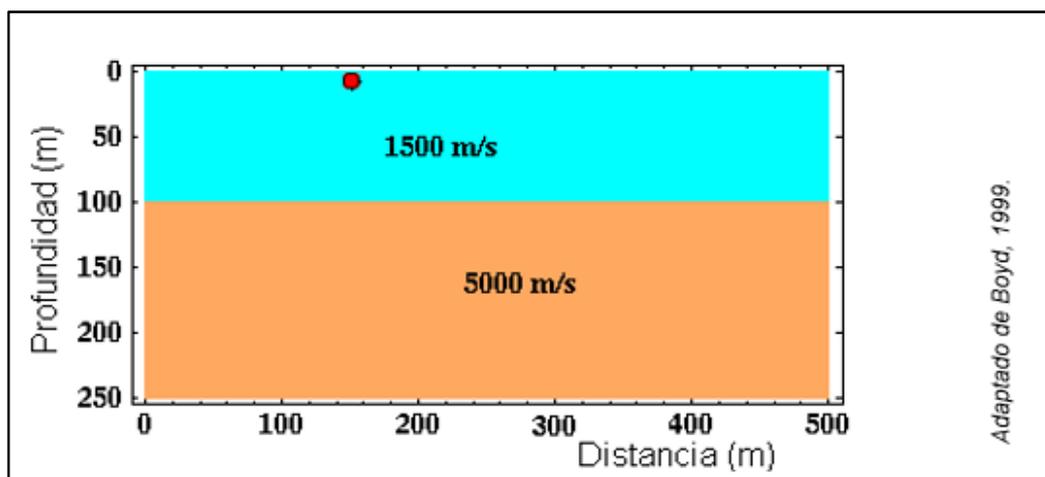


Figura1. Modelo de dos capas, la inferior de mayor velocidad

Al hacer un corte vertical por el punto de disparo, el frente de ondas luciría como se ilustra (Figura 2-a). Dicho frente se conocen como frente de ondas directas. En la parte b) de la Figura 2 el frente de ondas se ha encontrado con el límite de los medios y ocurren las primeras refracciones hacia la capa inferior. En la parte C), ha pasado más tiempo y se pueden observar claramente 3 frentes de onda: 1. de las ondas directas; 2. de las ondas refractadas hacia la capa inferior, y 3. de las reflejadas hacia la capa superior. Al observar en detalle puede identificarse un cuarto frente de ondas. El frente de ondas refractado hacia la capa inferior, no tiene una curvatura constante, de tal manera que corresponde a dos frentes de onda, el que se refracta hacia abajo, y el que se refracta hacia la capa superior. Como se puede observar, este frente de ondas está más alejado del punto de disparo que el frente de ondas directas en la primera capa, por lo que llegará más rápido a los geófonos donde aún no había llegado el frente de ondas directas.

En la parte d), de la figura, ha pasado aún más tiempo desde el momento de disparo, y los 4 frentes de onda se diferencian claramente.

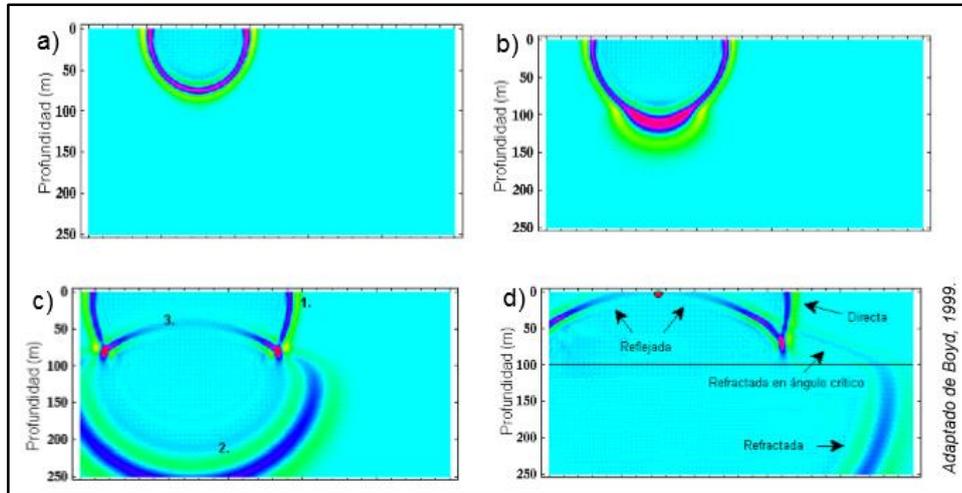


Figura 2. Propagación de las ondas en un medio de dos capas

El frente de ondas refractadas hacia el medio superior se genera cuando los rayos provenientes de la fuente alcanzan en ángulo crítico, i_c , la interfaz entre los medios. El ángulo refractado tiene 90° con respecto a la normal, de tal manera que el $\text{sen}(i_2) = \text{sen } 90 = 1$.

La refracción a 90° del ángulo crítico, ilustrada en la Figura 3, implica que las ondas no se propagan por la capa inferior, sino por el contacto entre ambas capas – es decir por la superficie de refracción - con la velocidad v_2 de la capa inferior, siguiendo la ley de los recorridos mínimos o Principio de Fermat (p. ej. Boyd, 1999; Masuda, 1983).

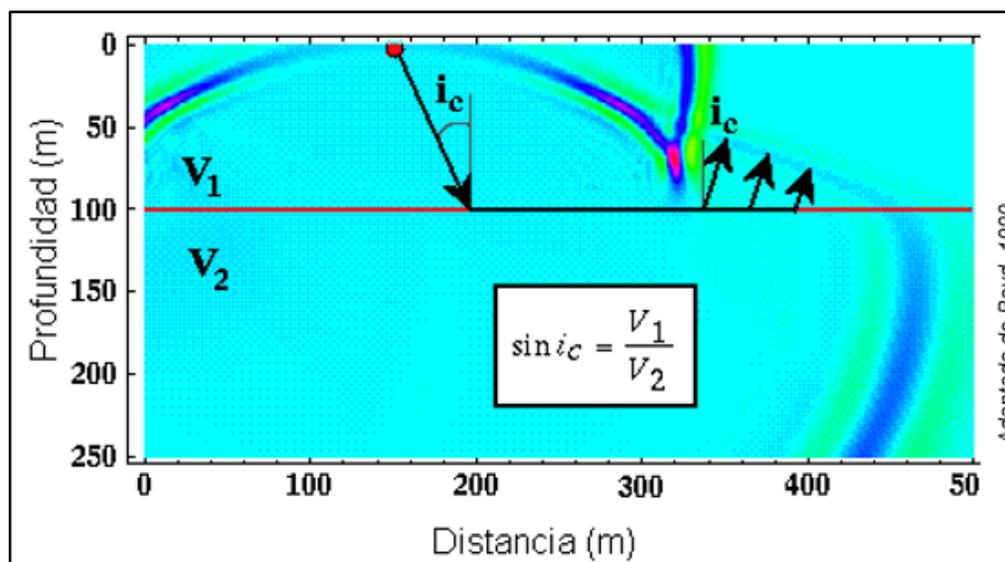


Figura 3. Ángulo crítico de refracción i_c .

FENÓMENOS EN LA PROPAGACIÓN

Cuando el medio en que se propagan las ondas sísmicas no es homogéneo, se producen los fenómenos de difracción, dispersión y scattering (p. ej. Cantos, 1973).

DIFRACCIÓN

Desvío de los rayos, en cierta extensión, ocurrido cuando se limita parte del frente de ondas (Tipler, 1990).

DISPERSIÓN

Es la variación de la velocidad de una onda con el cambio de frecuencia. En un medio elástico homogéneo no hay dispersión, pero si la hay en un medio imperfectamente elástico como en la tierra. En refracción sísmica no hay evidencia de que exista dispersión apreciable (p. ej. Cantos, 1973), excepto cuando se usan explosivos en inmediaciones de la explosión.

SCATTERING

Corresponde a la formación de pequeñas ondas que propagan la energía en todas las direcciones. Se produce cuando un frente de ondas choca con partículas libres u objetos pequeños comparados con su longitud de onda. Este fenómeno no es mayor para frecuencias altas. Parte de lo que se considera “ruido” en un registro puede deberse a este fenómeno ya que produce energía distribuida al azar en superficie (p. ej. Cantos, 1973).

La disminución de la energía sísmica con la distancia, causada por los tres fenómenos explicados anteriormente, va acompañada de pérdidas debidas a la absorción de la energía, produciendo amortiguamiento. Cuando el impulso sísmico viaja a través de las diferentes capas las altas frecuencias son absorbidas más rápidamente que las bajas frecuencias.

EQUIPO DE MEDICIÓN

Las componentes del equipo de medición de refracción sísmica son (Figura 4):

- Fuente de generación de ondas sísmicas.
- Detección de los movimientos del terreno.
- Adquisición y almacenamiento.

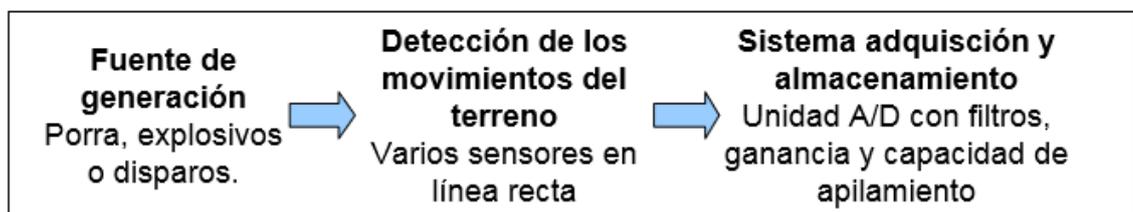


Figura 4. Esquema general del equipo de refracción sísmica.

FUENTE DE GENERACIÓN DE ONDAS

Las ondas que se utilizan en refracción son generadas por una perturbación artificial instantánea, que se conoce como impulso sísmico. Lo que se busca con éste es generar el tipo de ondas sísmicas (de volumen y superficiales), producidas por un único “evento” de duración “instantánea”, para que no haya superposición de ondas (de diferentes eventos) en los movimientos del terreno detectados por los geófonos.

Para esto se buscan fuentes de generación que se puedan controlar en términos del tiempo de inicio y localización (p. ej. Jakosky, 1950; Cantos, 1980). Existen tres tipos:

FUENTES DE IMPACTO.

Generalmente martillos o porras. Como la energía transmitida al suelo por este tipo de fuente no es muy grande, se apilan varias decenas de golpes para modelar mejor las llegadas y suprimir el ruido. También se utilizan otros medios mecánicos, por ejemplo, dejando caer un gran peso de una altura de 2 – 3 Metros.

La energía asociada con cada uno de los golpes depende la energía cinética (E) que relaciona la masa del martillo (m) y la velocidad aplicada al martillo (v), obteniendo $E = m \cdot v^2$.

CARGAS EXPLOSIVAS.

De mayor energía, son usadas especialmente para prospección petrolera. La explosión puede ocurrir en un tiempo de micro a milisegundos, dependiendo de la naturaleza y cantidad del explosivo y, del material que

rodea sitio de explosión (p. ej. Cantos, 1980). • Disparos. Se utilizan balas o cartuchos de fogeo. La energía es mayor que la generada por martillo.

Detección de los movimientos del terreno. A través de geófonos de una componente vertical, el movimiento del terreno es observado en diferentes puntos a lo largo del tendido de refracción sísmica. Actualmente se usan 12, 24 ó 48 geófonos. Estos sensores exigen mayor resistencia mecánica¹⁵ que aquellos usados en la sismología tradicional (p. ej. Jakosky, 1950) debido a que en refracción se requiere geófonos con frecuencias naturales de vibración mucho mayores, entre 8 y 40 Hz.

ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO

Las partes que componen el equipo de adquisición y almacenamiento son:

UNIDAD DE APILAMIENTO Y DIGITALIZACIÓN.

Corresponde a la unidad donde se adquiere, digitaliza y procesan los datos. Tiene puertos especializados para recibir las señales enviadas por los geófonos; a cada geófono le corresponde un canal y sus señales son filtradas y digitalizadas de acuerdo con las opciones definidas por el usuario.

CABLES SÍSMICOS. Comúnmente se usan dos cables para conectar en cada uno la mitad de los geófonos. Cada cable contiene a su vez cableado para llevar la señal de cada geófono a la unidad de adquisición; cada uno de estos se llama canal.

“TRIGGER”. Cable conectado apropiadamente a la fuente sísmica, de tal manera que en el instante en que se golpea el suelo con el martillo o

cuando la carga explosiva es detonada, el sistema de registro empieza a grabar.

CURVAS TIEMPO-DISTANCIA

Las curvas tiempo distancia se construyen con los tiempos de llegada de las ondas P a cada uno de los sensores, y la distancia de cada sensor al punto de disparo.

Los tiempos de llegada pueden ser leídos directamente en la pantalla de la unidad de adquisición, (o de una impresión realizada desde dicha unidad); o en la computadora, a través de un software especializado, una vez los datos hayan sido transferidos de la unidad de adquisición al computador. El conjunto de registros (del total de geófonos) como se pueden apreciar en una impresión realizada desde la unidad de adquisición, son mostrados en la Figura 5.

Para tener información más detallada del subsuelo a analizar, se realizan tendidos de refracción conjugados, llamados tendido directo, reverso e intermedio. En el primero el punto de disparo se ubica en un extremo del tendido a una distancia conocida, mientras que en el segundo el punto de disparo se ubica al otro extremo del tendido; en el tendido intermedio, el punto de disparo es colocado usualmente hacia el centro del tendido. Cuando se van a estudiar terrenos muy extensos, o cuando se necesita información muy detallada, se acostumbra hacer tendidos traslapados que permiten modelar mejor la topografía de las discontinuidades.

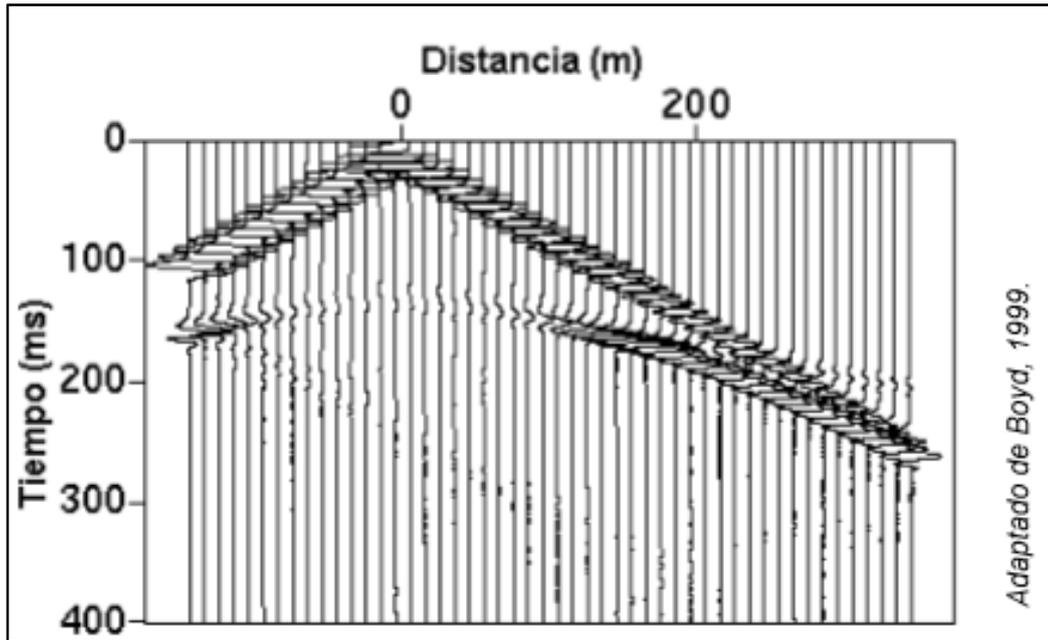


Figura 5. Registro típico de los sismogramas

Las curvas de diferentes puntos de disparo (por ej. directo, reverso) de un mismo tendido se dibujan sobre una misma gráfica como se ilustra a continuación (Figura 6).

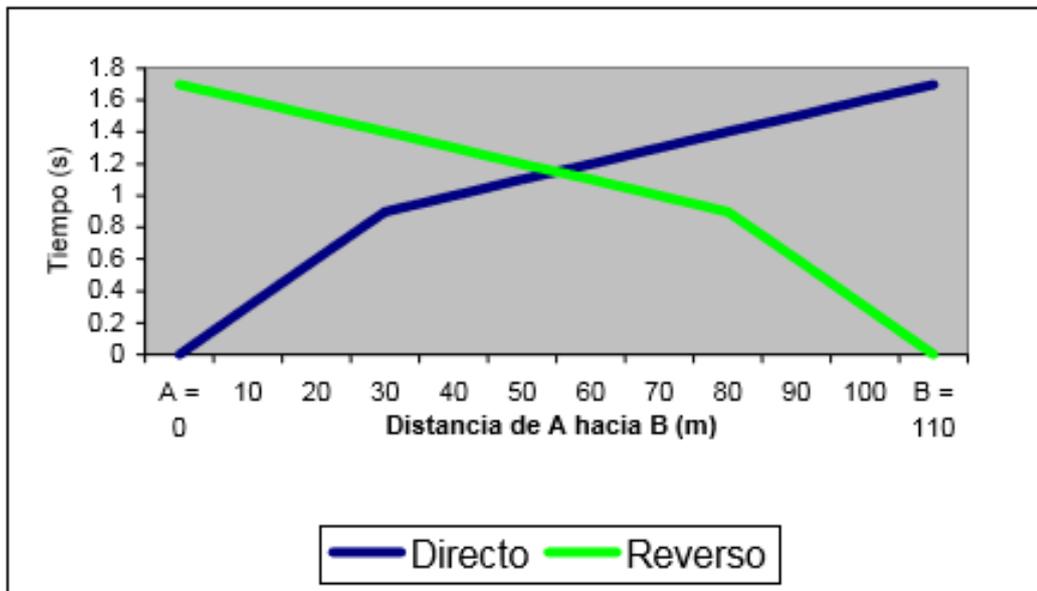


Figura 6. Curva tiempo – distancia para disparos directo y reverso

Cuando se realizan tendidos de refracción traslapados, las curvas tiempo – distancia también se dibujan en relación con el traslape de los tendidos.

La distancia crítica X_c , es aquella medida entre el punto disparo y el sitio donde emerge la primera onda refractada en superficie. Dependiendo de las velocidades de la capa superior, y del refractor – o capa inferior -, y de la profundidad a éste, la distancia crítica puede ser o no menor que la longitud del tendido en observación.

En la Figura 7 se muestra la relación entre el contraste de velocidades de la primera capa V_1 y del refractor V_2 , versus la relación entre la distancia crítica X_c y la profundidad h .

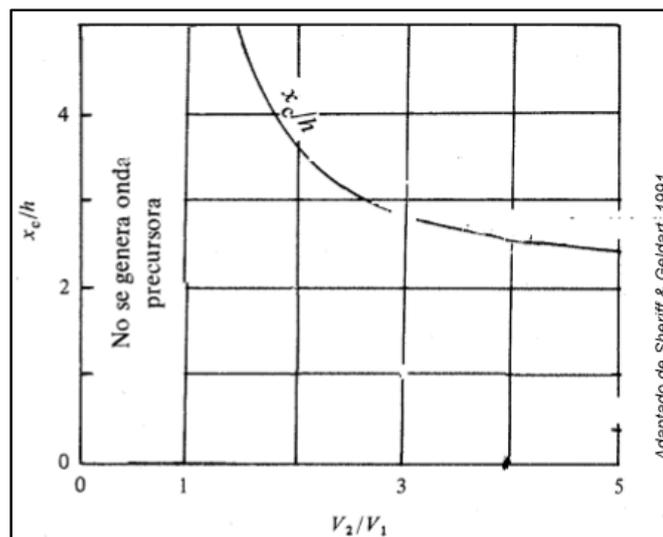


Figura 7. Relación entre la distancia crítica y la profundidad

A medida que aumenta la relación v_2/v_1 la relación X_c/h disminuye. Como regla práctica, las longitudes de los tendidos de refracción deben ser mayores que el doble de la profundidad al refractor para observar refracciones sin interferencias indebidas de las ondas P originales (Sheriff & Geldart, 1991).

SUPOSICIONES DEL MÉTODO

La parte de la física que trata los rayos como líneas es llamada óptica geométrica, y está basada en las siguientes suposiciones (Masuda, 1981):

- a) Los rayos viajan en líneas rectas por el vacío o por un medio homogéneo.
- b) En el caso hipotético que un rayo se devolviera, lo haría siguiendo la misma trayectoria hasta llegar al punto de origen.
- c) No hay interacción entre rayos. Los rayos pueden avanzar independientemente.
- d) Los rayos siguen las leyes de la reflexión y refracción.

Las ondas sísmicas se propagan como un conjunto de rayos a través de las rocas, los suelos, o la litosfera en general. La suposición general del método de refracción sísmica es:

- Las velocidades aumentan con la profundidad: el método no permite identificar capas o estratos de suelo con velocidades inferiores a la superior (“inversiones de velocidad”).

PRINCIPIOS GENERALES DE INTERPRETACIÓN EN REFRACCIÓN

Una vez construidas las curvas tiempo-distancia (t-x) se procede a su interpretación. La tarea principal es identificar las secciones de las curvas que pertenecen a un mismo refractor. El conjunto de puntos que pertenecen a un refractor conforma lo que se conoce como dromocrona. La identificación de las dromocronas es la parte más importante de la

interpretación de los datos de refracción sísmica. Hay algunas características del subsuelo que se pueden prestar para malas interpretaciones, a saber:

- Un cambio de pendiente de la curva T-x no significa necesariamente un cambio de refractor, sino que puede significar un cambio de pendiente del primer refractor. (Cantos, 1989).
- Cuando existe un estrato o una capa delgada de suelo cuya velocidad es menor que la de la capa superior, no hay refracción crítica, de tal manera que no habría indicios de su presencia en las primeras llegadas en cada punto de la línea de sísmica. (Sheriff & Geldart, 1991, 282).
- Cuando existe una capa demasiado delgada, a pesar de tener velocidades mayores no alcanza a producir primeros arribos por el hecho mismo de ser tan delgada (Sheriff & Geldart, 1991, 283, Sarria, 1996).

Hay 5 principios (y/o leyes) generales que conforman la base para la interpretación de un conjunto de datos de refracción sísmica. Dichos principios que se explican a continuación:

1. Leyes de Snell.
2. Ley de las velocidades aparentes.
3. Principios de reciprocidad.
4. Principio del tiempo de intercepto en el origen.
5. Principio de paralelismo.

LEY DE LAS VELOCIDADES APARENTES.

La ley de las velocidades aparentes dice que la velocidad con que aparenta transmitirse una onda en un cierto punto de la superficie del suelo es igual al cociente entre la velocidad superficial y el seno del ángulo de emergencia, tomados ambos en dicho punto. Donde el ángulo de emergencia es formado por la onda emergente con la superficie (Cantos, 1973).

Sea un corte vertical del terreno (Figura 8) y un frente de ondas GL llegando a la superficie en G. Considérese dos rayos infinitamente próximos llegando a dos geófonos G y G' separados una distancia Δx . Sean GA y G'B los tiempos de llegada. La velocidad con que aparente transmitirse los rayos G y G' será

$$V_a = \Delta x / \Delta t$$

Consideremos adicionalmente que el frente de ondas se desplaza de L a G' con su velocidad superficial V_0 , donde $\Delta t / \Delta s = V_0$ y como $\Delta s = \Delta x * \text{sen}\theta_0$, se obtiene la velocidad aparente V_a :

$$V_a = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\text{sen}(\theta_0) * \Delta t} = \frac{V_0}{\text{sen}(\theta_0)} \quad \text{con } V_a > V_0$$

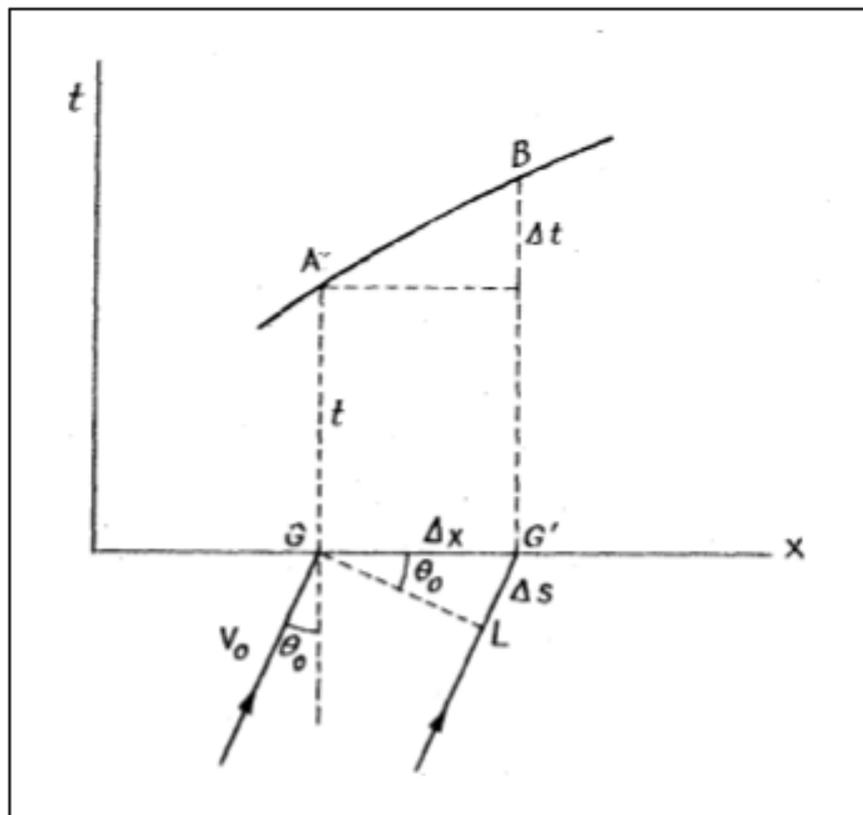
La velocidad aparente en el punto A, será la tangente a la dromocrona AB en el punto A, ya que:

$$V_a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}, \text{ cuando } \Delta t \rightarrow 0 \text{ teniendo finalmente que: } V_a = \frac{dx}{dt}$$

PRINCIPIO DE RECIPROCIDAD

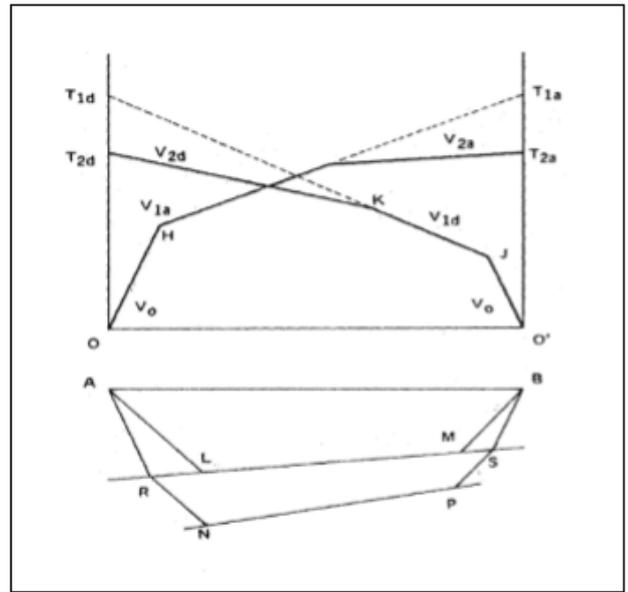
Este principio establece que el tiempo de propagación de una onda sísmica de un punto A al B, es el mismo que el de B hacia A. Esto es una consecuencia directa del Principio de Fermat, o del recorrido de tiempo mínimo. (Cantos, 1980).

Sea la Figura 9 en donde se han considerado dos refractores. Por el principio de reciprocidad la prolongación de las dromocronas de un mismo refractor generadas por puntos de disparo conjugados, por ejemplo, dromocrona H-I y K-J, deben interceptar el eje del tiempo en un mismo valor, es decir $T_{1d}=T_{1a}$.



Tomado de Cantos, 1973..

Figura 8. Ley de las velocidades aparentes.

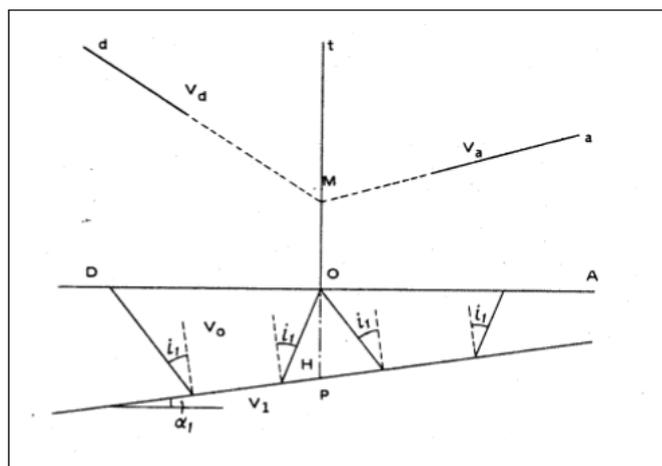


Tomado de Cantos, 1973.

Figura 9. Principio de reciprocidad

PRINCIPIO DEL INTERCEPTO EN EL ORIGEN

Sea un refractor inclinado (Figura 10) y supóngase que desde la superficie se efectúan dos tiros en O y que se registran las ondas en dos puntos A y D; el principio del tiempo de intercepto en el origen dice que si se prolongan las dromocronas a y d hasta que cortan el eje de tiempo Ot los tiempos de intercepto en el origen son iguales (Cantos, 1973).



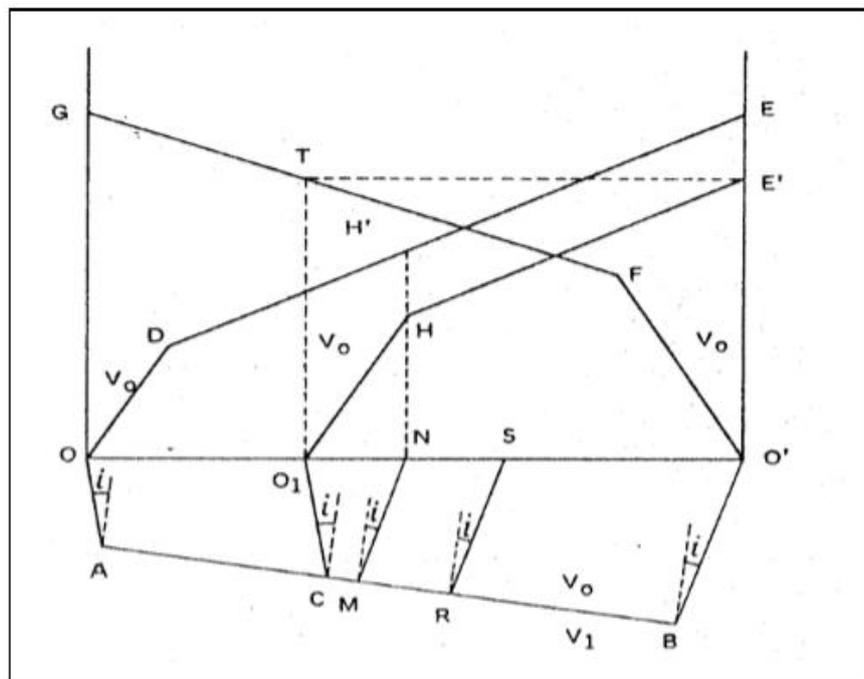
Tomado de Cantos, 1973.

Figura 10. Tiempo de intercepto en el origen.

PRINCIPIO DE PARALELISMO

Este principio permite deducir las dromocronas relacionadas con puntos de disparo intermedios entre dos puntos de disparo en los extremos del tendido; o deducir una dromocrona con un punto de disparo por fuera (alejado) de dos puntos de disparo complementario (normal y reverso). Este principio funciona idealmente para refractores horizontales o inclinados planos; en el caso de refractores cóncavos, por ejemplo, hacia arriba para distancias cortas las ondas viajarán por la superficie del refractor, pero para distancias largas viajarán (más rápido) por dentro del refractor. (Siguiendo el Principio de Fermat).

Según la Figura 11) la dromocrona intermedia O_1HE_1 se puede deducir por simple paralelas de las dos dromocronas complementarias ODE y $O'FG$ a partir del punto de supuesto disparo O_1 (Cantos, 1973).



Tomado de Cantos, 1973.

Figura 11. Aplicación del principio de paralelismo.

METODOLOGÍAS DE CÁLCULO

De las suposiciones generales del método y de los principios y leyes se derivan los métodos de análisis de las dromocronas identificadas. Los métodos más comunes son: tiempos de intercepto, velocidades aparentes, frentes de onda, tiempos de retardo y trazado de rayos.

Estos métodos están completamente desarrollados y documentados en diversos libros de geofísica aplicada (p. ej. Jakosky, 1950; Cantos, 1973; Masuda, 1983; Sarria, 1996), y algunos de ellos han sido implementados en diversos programas de computador para agilizar los cálculos.

En general, los métodos de interpretación y cálculo en refracción sísmica se diferencian por las suposiciones que implican y los modelos de suelo que estudian, así como por sus capacidades de aproximarse mejor a la topografía real de los refractores y al perfil de velocidades.

A continuación, se describen brevemente los métodos.

TIEMPOS DE INTERCEPTO

Las ondas originadas en el punto de disparo una vez refractadas en los contactos de los medios, determinan los tiempos de llegada de las ondas en los geófonos en superficie. Estos tiempos se incrementan con la distancia y la profundidad de penetración de las ondas. De la curva $t-x$, el método utiliza la pendiente de las dromocronas para calcular la velocidad de los refractores; y los tiempos de intercepto de las dromocronas con el eje del tiempo para calcular las profundidades. Este método es usado para modelos de un refractor plano o múltiples refractores planos.

VELOCIDADES APARENTES

Basándose en el principio de las velocidades aparentes, este método permite la identificación de velocidades y profundidades para modelos con capas inclinadas paralelas, utiliza los tiempos de intercepto en el origen de un tendido directo y de su reverso.

El método supone que la velocidad de cada uno de los estratos es constante (medios homogéneos) y que la pendiente del refractor también lo es.

FRENTES DE ONDA

El método de los frentes de onda es una extensión del Principio de Huygens. Este método es muy apropiado para describir refractores ondulados.

Es un método gráfico que se apoya en el trazado de frentes de onda provenientes de puntos de disparo conjugados de tal manera que se pueda definir un punto intermedio en el refractor, tal que la suma de los tiempos de viaje, entre los puntos de disparo hasta los puntos de emergencia de las ondas refractadas desde el punto intermedio, sea igual al tiempo total de viaje entre los puntos de disparo conjugados.

TIEMPOS DE RETARDO.

Este es un método útil en el caso de refractores con topografías que no son muy accidentadas, o que presentan muchas curvaturas.

Utiliza la definición del tiempo de retardo como la diferencia entre el tiempo que requiere la onda para recorrer la trayectoria ente el punto de disparo y

el refractor, con el ángulo crítico dentro del medio superior y con su propia velocidad, V_1 , y el tiempo requerido por la misma onda para recorrer la proyección de esa misma trayectoria, pero con velocidad de refractor V_2 .

TRAZADO DE RAYOS

Para modelos geológicos complejos, de múltiples capas con refractores de topografía irregular, el uso de las computadoras para el cálculo y análisis de las curvas t-x se ha vuelto estratégico en los últimos años.

El método más implementado en los programas especializados de computador es el trazado de rayos. Éste es un método interactivo e iterativo que debe partir de un modelo de capas velocidades y profundidades determinadas calculado a partir de algunos de los métodos mencionados anteriormente por ejemplo tiempo de retardo, para empezar a calcular diferentes modelos a partir del trazado de rayos sísmicos desde los puntos de disparo.

CUADRO COMPARATIVO

En la siguiente página (Tabla 1), se incluye una comparación de los métodos anteriormente descritos.

Método  Característica 	Tiempos de intercepto	de Velocidades aparentes	Tiempos de retardo	de Frentes de onda
Principio o Ley	Tiempos de intercepto	Velocidades aparentes; Velocidades crecientes con la profundidad.	Principio de Fermat	Huygens; Velocidades aparentes.
Suposiciones	Medios homogéneos; Velocidades crecientes con la profundidad.	Medios homogéneos; Velocidades crecientes con la profundidad.	Velocidades crecientes con la profundidad.	Velocidades crecientes con la profundidad.
Utilización	Capas planas	Capas con ángulos de inclinación no muy diferentes	Refractores con relieve poco pronunciado	Refractores con relieve; refractores fallados
Cálculos	Rápido	Rápido para dos refractores, programable en hoja de cálculo para mas.		Lentos; requiere trazado de los frentes de onda en cada punto
Profundidad a refractor (es)	Calculable para los puntos de disparo	Calculable para los puntos de disparo	Calculable para todos los geófonos	Calculable para todos los geófonos
Velocidades	Se calcula una velocidad para cada capa	Se calcula una velocidad para cada capa	Se calcula una velocidad en cada geófono	Se calcula una velocidad en cada geófono
Limitaciones	Inherentes a las suposiciones	Inherentes a las suposiciones	Los puntos bajo la vertical del geófono se encuentran desplazados en 'x'	Inherentes a las suposiciones

Tabla 1. Comparación de métodos de cálculo e interpretación de refracción sísmica.

MÉTODOS APLICADOS EN EL PROYECTO

En este proyecto, se utilizaron los métodos de Velocidades aparentes y Tiempos de intercepto vs “Ray front” o “Ray tracing”, debido a que se consideró necesario disponer solamente de las profundidades promedias al refractor y de sus velocidades promedio.

Se explican los planteamientos de cada uno de los métodos.

TIEMPOS DE INTERCEPTO

Las ondas originadas en el punto de disparo que se refractan en los contactos de los medios, o capas de suelo, determinan los tiempos de las primeras llegadas en los geófonos en superficie. Estos tiempos se incrementan con la distancia y la profundidad de penetración, dicho incremento se emplea para determinar la profundidad de los estratos.

CASO DE DOS ESTRATOS

Este caso corresponde al de un medio con velocidad V_1 , que subyace uno con velocidad V_2 , que corresponde a un espacio semi-infinito, separados por una superficie de contacto plana como se ilustra en la Figura 12. Sea IC el ángulo de incidencia crítica de las ondas que se refractan.

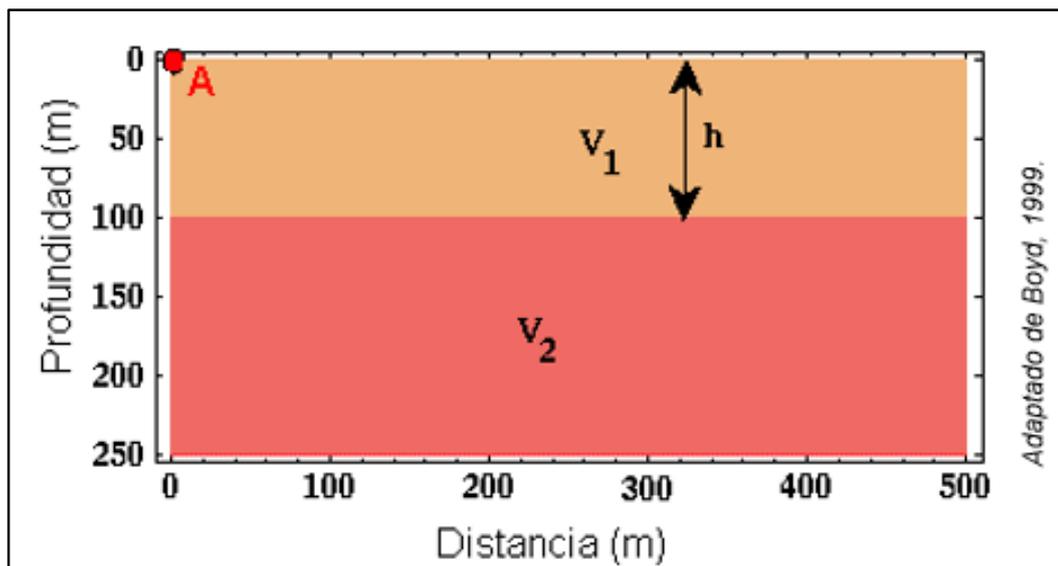


Figura 12. Tiempos de intercepto: modelo de dos estratos planos

Las ondas generadas en un punto de disparo al extremo del tendido, punto A (Figura 12) generarán unos tiempos llegada primarios según el frente de ondas directas - del medio con velocidad V_1 - y del frente de ondas refractadas - del medio de velocidad V_2

La curva tiempo distancia relacionada se muestra en la Figura 13. El primer tramo corresponde a los tiempos de llegada de las ondas P directas y el segundo tramo a los tiempos de llegada de las ondas P refractadas.

En cada tramo, la pendiente corresponde al inverso de la velocidad V_1 para la capa superior y V_2 para la capa inferior. La proyección del primer tramo en el eje de las distancias se conoce como x_c , que es la distancia entre el punto de disparo y el sitio en superficie donde emerge la primera onda refractada, y t_0 , es el tiempo transcurrido.

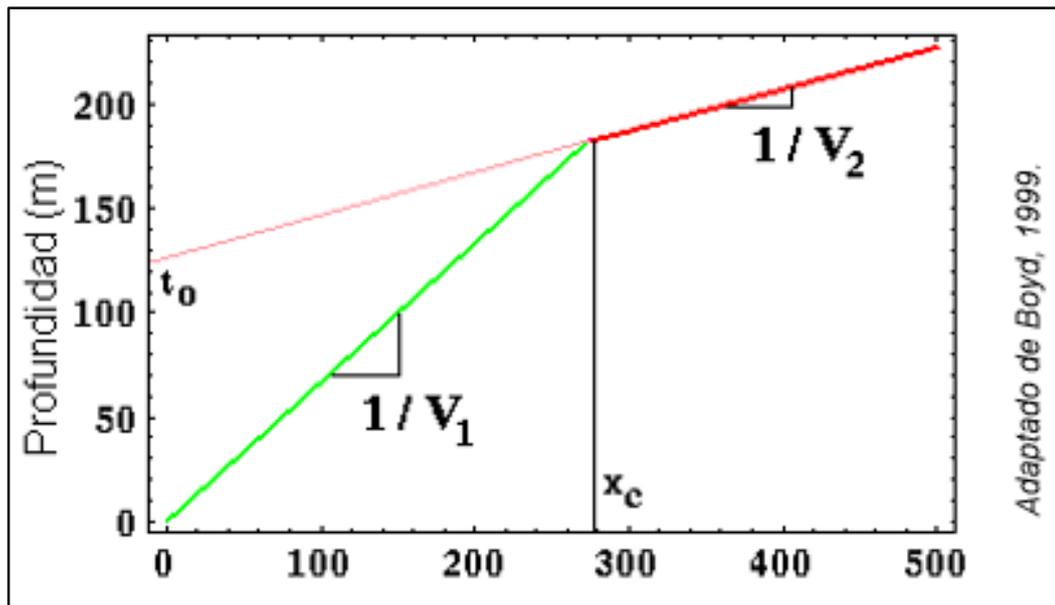


Figura 13. Tiempos de intercepto

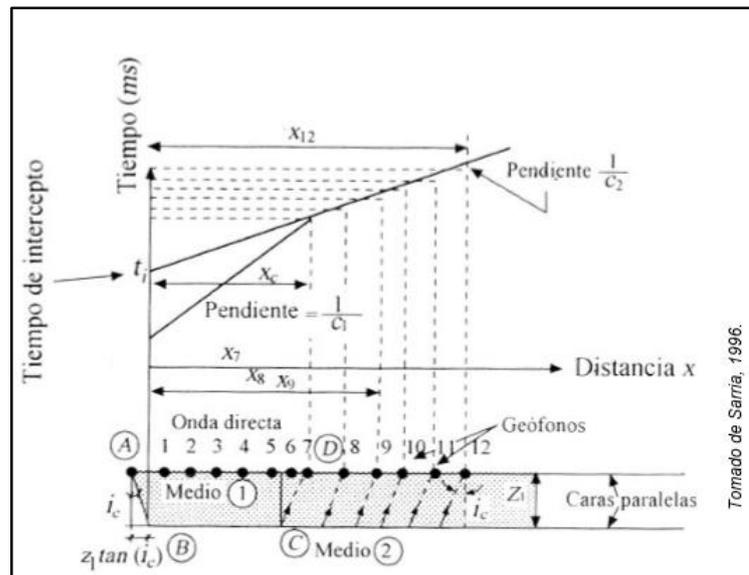
En el segundo tramo los tiempos de llegada podrían relacionarse con el ángulo de incidencia crítico, i_c , y la velocidad de la capa en el espacio semi-infinito, v_2 .

El tiempo de viaje de la onda refractada desde el punto A hasta el punto D (Figura 13) es el siguiente (Sarria, 1996):

$$(t)_{ABCD} = t_{AB} + t_{BC} + t_{CD}$$

Como la proyección vertical del rayo incidente crítico, AB, es igual al espesor de la primera capa, h, y la proyección horizontal es igual a $h \cdot \tan(i_c)$ y como el tiempo de recorrido AB sería igual al CD, entonces:

$$t_{AB} = t_{CD} = \frac{h / \cos(i_c)}{v_1}$$



Tomado de Sarria, 1996.

Figura 14. Método del intercepto: geometría capas planas.

El tiempo de recorrido BC sería:

$$t_{AB} = t_{CD} = \frac{h / \cos(i_c)}{v_1}$$

De tal manera que el recorrido total estaría dado por la siguiente fórmula:

$$(t)_{ABCD} = \frac{2h / \cos(i_c)}{v_1} + \frac{x - 2 \cdot z_1 \cdot \tan(i_c)}{v_2}$$

Aplicando la ley de Snell, se tiene que:

$$(t)_{ABCD} = \frac{2h / \cos(i_c)}{v_1} + \frac{x}{v_2}$$

Al hacer $x = 0$, en la gráfica de tiempo distancia (Figura 14) el tiempo sería el tiempo de intercepto t_0 , de tal manera que:

$$h = \frac{1}{2} * t_0 * v_1 * \cos(i_c)$$

Donde h es la profundidad por debajo del punto de disparo.

$$h = \frac{1}{2} * t_0 * v_1 * \cos(\text{sen}^{-1}(v_1/v_2))$$

CASO DE VARIOS ESTRATOS

En el caso de varios estratos planos (Figura 15), la geometría de refracción de las ondas en los estratos mas profundos es un poco mas compleja, pero se basa en los principios expuestos para el caso de dos capas y sus resultados se presentan a continuación:

$$h_1 = \frac{t_{i2} * v_2}{2} * \cos[\text{sen}^{-1}(v_1/v_2)]$$

$$h_2 = \frac{v_2}{A} * (t_{i3} - t_{i2}) * \cos[\text{sen}^{-1}(v_1/v_3)] * \frac{1}{\text{sen}^{-1}(v_1/v_2)}$$

$$h_3 = \frac{v_3}{B} * (t_{i4} - t_{i3}) * \left[\frac{\cos[\text{sen}^{-1}(v_1/v_4)]}{\cos[\text{sen}^{-1}(v_1/v_2)]} - C \right]$$

Donde A, B, y C están dados por:

$$A = 2 * \cos[\text{sen}^{-1}(v_2/v_3)],$$

$$B = 2 * \cos[\text{sen}^{-1}(v_3/v_4)],$$

$$C = \frac{2 * h_2}{v_2} * \cos[\text{sen}^{-1}(v_2/v_4)]$$

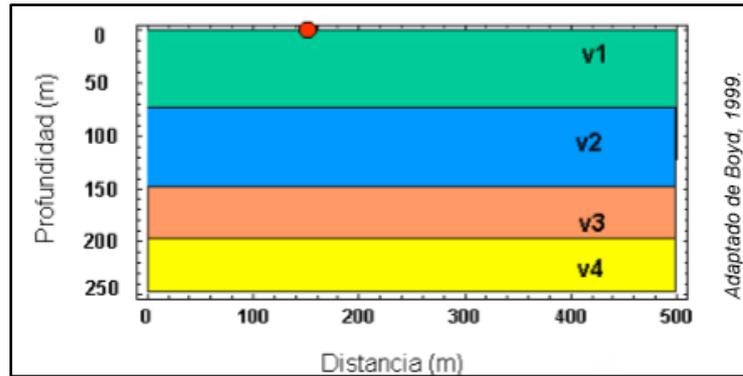


Figura 15. Modelos para tres refractores.

VELOCIDADES APARENTES

Basándose en el principio de las velocidades aparentes, este método permite la identificación de velocidades y profundidades para modelos con capas inclinadas paralelas, utiliza los tiempos de intercepto en el origen de un tendido directo y de su reverso.

CASO DE UN ESTRATO INCLINADO

Considérese un modelo de dos capas (Figura 16), la primera con velocidad v_0 que suprayace sobre una capa de extensión semi-infinita. Las capas se encuentran separadas por un contacto inclinado plano de ángulo 2α (Cantos, 1980).

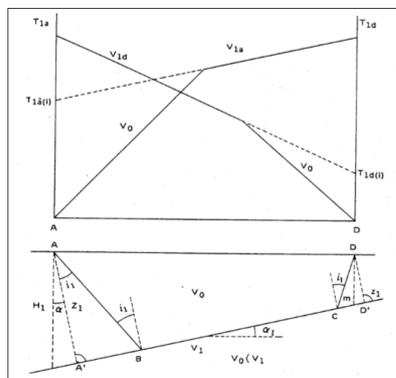


Figura 16. Velocidades aparentes: modelo de un refractor.

Para describir el contacto, 0 superficie de refracción, basta con determinar las profundidades en dos puntos. Usualmente se calculan las profundidades debajo de los puntos de disparo de una línea sísmica directa y una reversa.

Las suposiciones del método son: que la velocidad de los estratos es constante (medios homogéneos) y que la pendiente del refractor también lo es.

$$t_{AD} = \frac{AB}{v_1} + \frac{BC}{v_2} + \frac{CD}{v_1}$$

Donde AB, BC y CD se definen así:

$$AB = \frac{Z_1}{\cos(i_c)}$$

$$CD = \frac{Z_1}{\cos(i_c)} = \frac{Z_1 - AD * \text{sen}(\alpha_2)}{\cos(i_c)}$$

$$BC = A'D' - A'B - CD' = AD * \cos(\alpha_2) - AB * \text{sen}(i_1) - CD * \text{sen}(i_1),$$

como $i_1 = i_c \Rightarrow \text{sen}(i_1) = \frac{v_1}{v_2}$ entonces

$$\begin{aligned} t_{AD} &= \frac{AB}{v_1} + \frac{AD * \cos(\alpha_2) - AB * \text{sen}(i_1)}{v_1} * \text{sen}(i_1) + \frac{CD}{v_1} \\ T_{AD} &= \frac{AB}{v_1} * (1 - \text{sen}^2(i_1)) + \frac{CD}{v_1} * (1 - \text{sen}^2(i_1)) + \frac{AD * \cos(\alpha_2) * \text{sen}(i_1)}{v_1} \\ &= \frac{Z_1 * \cos^2(i_1)}{v_1 * \cos(i_1)} + \frac{Z_1 - AD * \text{sen}(\alpha_2)}{v_1 * \cos(i_1)} * \cos^2(i_1) + \frac{AD * \cos(\alpha_2) * \text{sen}(i_1)}{v_1} \\ &= 2 * \frac{Z_1 * \cos(i_1)}{v_1} + \frac{AD}{v_1} * \text{sen}(i_1 - \alpha_2) \\ &= \frac{AD}{v_1} * \text{sen}(i_1 - \alpha_2) + 2 * \frac{Z_1 * \cos(i_1)}{v_1} \end{aligned}$$

La anterior es la ecuación total del tiempo recorrido entre A y D. Al analizarla para distancias x variables, que aumentan desde A hacia D, se tiene:

$$T_{ax} = \frac{x}{v_1} * \text{sen}(i_1 - \alpha_2) + 2 * \frac{Z_1 * \cos(i_1)}{v_1} \quad [1]$$

En el caso de un disparo en D, el tiempo de D hacia A estaría dado por la siguiente fórmula:

$$T_{dx} = \frac{x}{v_1} * \text{sen}(i_1 + \alpha_2) + 2 * \frac{Z_1 * \cos(i_1)}{v_1} \quad [2]$$

Según se definió anteriormente, las velocidades aparentes para el sentido directo - de A hacia D -, como para el reverso - de D hacia A - están definidas por $W = dx/ dt$ correspondiente con la tangente en el punto de análisis (A ó D).

Las velocidades aparentes entonces, se pueden determinar en función de la V_1 y del ángulo emergente en $A = i_1 - \alpha_2$ y en $D = i_1 + \alpha_2$ como se muestra a continuación:

Velocidad Aparente del estrato 1 en el sentido Ascendente

$$V_{1a} = \frac{v_1}{\text{sen}(i_1 - \alpha_2)}$$

Velocidad Aparente del estrato 1 en el sentido Descendente

$$V_{1d} = \frac{v_1}{\text{sen}(i_1 + \alpha_2)}$$

Ahora bien, sabiendo que los datos conocidos por interpretación de las dromocronas son V_1 , V_{1a} y V_{1d} , hay que definir el ángulo crítico i_1 y la pendiente del refractor α_2 en términos de estas tres variables conocidas. Por lo tanto, en las 2 ecuaciones anteriores se tendrían solo 2 incógnitas por resolver, i_1 y α_2 . De tal manera que despejando y resolviendo se tiene que:

$$i_1 = \frac{1}{2} * \text{sen}^{-1} \left[\left(\frac{V_1}{V_{1d}} \right) + \text{sen}^{-1} \left(\frac{V_1}{V_{1a}} \right) \right]$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2} * \left[\text{sen}^{-1} \left(\frac{V_1}{V_{1d}} \right) - \text{sen}^{-1} \left(\frac{V_1}{V_{1a}} \right) \right]$$

Con base en la Ley de Snell para el ángulo crítico, se puede definir la velocidad del estrato 2, en términos de i_1 o de α_2 así:

$$V_2 = \frac{V_1}{\text{sen}(i_1)}$$

$$V_2 = 2 * \frac{V_{1a} * V_{1d}}{V_{1a} + V_{1d}} * \cos(\alpha_2)$$

Dos datos adicionales son determinados por las dromocronas identificadas; estos son el tiempo de intercepto del refractor en los puntos disparo A y D, es decir, el tiempo ascendente t_{1a} y el tiempo descendente t_{1d} . Estos tiempos son iguales a los tiempos de las ecuaciones 1 y 2, cuando $x = 0$. De tal manera que despejando en cada ecuación en términos de Z_1 y z_1 se tiene que:

$$Z1 = \frac{T_{1a} * V_1}{2 * \cos(i_1)}$$

$$z1 = \frac{T_{1d} * V_1}{2 * \cos(i_1)}$$

De tal manera que para obtener las profundidades verticales al refractor desde A y desde D, basta con calcular las proyecciones de Z1 y z1, así:

$$H1 = \frac{T_{1a} * V_1}{2 * \cos(i_1)} * \frac{1}{\cos(\alpha_1)}$$

$$h1 = \frac{T_{1d} * V_1}{2 * \cos(i_1)} * \frac{1}{\cos(\alpha_1)}$$

CASO DE DOS ESTRATOS INCLINADOS

El planteamiento geométrico para este caso, que se ilustra en la Figura 17 es similar al anterior, solo que requiere mayor manejo algebraico, de tal manera que se presentará solamente el planteamiento general de los tiempos de llegada en cada punto de disparo y las soluciones.

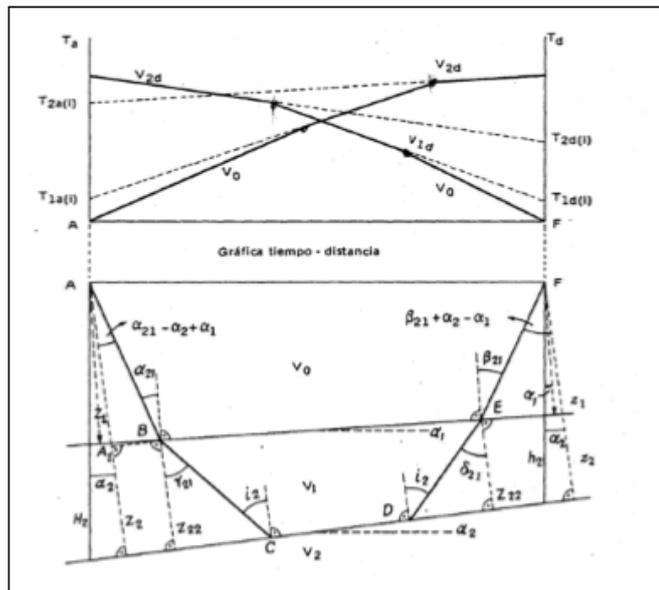


Figura 17. Velocidades aparentes: modelo para dos refractores inclinados.

El punto de partida para el cálculo de dos refractores inclinados, supone haber calculado previamente el ángulo de inclinación de la primera capa y las velocidades de la primera y la segunda. Se definen entonces los tiempos de viaje en el sentido ascendente del refractor 2 (T2a) y en el sentido descendente del mismo refractor (T2d), en función de la distancia x:

$$T_{2a} = \frac{x}{V_0} * \text{sen}(\beta_{21} - \alpha_2) + \frac{Z_1}{V_0} * \frac{\cos(\alpha_{21} + \beta_{21}) + 1}{\cos(\alpha_{21})} + \frac{Z_{22}}{V_1} * 2 * \cos(i_2)$$

$$T_{2d} = \frac{x}{V_0} * \text{sen}(\alpha_{21} - \alpha_2) + \frac{Z_1}{V_0} * \frac{\cos(\alpha_{21} + \beta_{21}) + 1}{\cos(\beta_{21})} + \frac{z_{22}}{V_1}$$

Derivando las anteriores ecuaciones con respecto a x y aplicando la Ley de Snell se tiene que:

$$i_2 = \frac{\gamma_{21} + \delta_{21}}{2}$$

$$\alpha_2 = \frac{\gamma_{21} - \delta_{21}}{2}$$

$$V_2 = \frac{V_1}{\text{sen}(i_2)}$$

Al igual que en el caso de una sola capa al hacer x=0, T2d y T2a serían los tiempos de intercepto en el origen. De tal manera que se puede despejar Z22 y z22 y luego reemplazarlas, igualando a H2 y h2 , se obtienen las profundidades al refractor:

$$H_2 = \frac{1}{\cos(\alpha_2)} * \left[Z_1 * \frac{\cos(\alpha_{21} - \alpha_3 + \alpha_2)}{\cos(\alpha_{21})} + Z_{22} \right]$$

$$h_2 = \frac{1}{\cos(\alpha_2)} * \left[z_1 * \frac{\cos(\beta_{21} + \alpha_3 - \alpha_2)}{\cos(\beta_{21})} + z_{22} \right]$$

PROFUNDIDAD MÍNIMA

En la literatura no existe explícitamente una metodología para calcular la profundidad mínima de exploración, cuando no se ha encontrado un refractor en los ensayos de refracción sísmica, para ésto se deben suponer:

- a) La distancia crítica igual a la distancia entre el punto de disparo y el punto de medición más lejano.
- b) La velocidad de propagación de las ondas P en el refractor supuesto.

El desarrollo y cálculo de la profundidad mínima se puede hacer por el método empleado para calcular las velocidades y profundidades previamente calculadas, bien sea por velocidades aparentes o tiempos de intercepto.

ESTUDIO DE LA VELOCIDAD DE LA ONDA S

De los ensayos de refracción sísmica se pueden obtener las velocidades de propagación no solamente de la onda P, sino de la onda S. Este método es muy útil en áreas donde existen rocas blandas, depósitos aluviales o suelos blandos, en los cuales puede haber grandes variaciones entre las relaciones de la velocidad de las ondas P y S. Obtener la velocidad de propagación de las ondas S es muy importante para determinar las características elásticas del terreno.

El estudio o método de las ondas S, utiliza los mismos principios y métodos analíticos explicados anteriormente (donde se estudia el tiempo de llegada de las ondas P). La diferencia radica en el uso de sensores de componente horizontal los cuales registran mejor la llegada de las ondas SH, que no se

registran bien en los sensores de componente vertical de análoga manera como los sensores de componente vertical registran mejor la llegada de las ondas verticales de P.

Este método está sujeto a varias restricciones y limitaciones al aplicarlo, y no siempre proporciona los datos requeridos, de tal forma que otros métodos geofísicos como el PS logging se ha difundido mayormente (p. ej. Imai, 1975).

Las limitaciones del método están relacionadas con la energía necesaria en la fuente para que las ondas SH se puedan registrar a grandes distancias (p. ej. Sarria, 1996).

Estas limitaciones podrían ser superadas al realizar tratamiento y procesamiento de las señales para realzar la llegada de las ondas S con filtros de polarización y análisis de contenido frecuencial, rutinas usualmente disponibles en paquetes de software sísmológico especializado.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

ONDAS SISMICAS

Las ondas sísmicas (u ondas elásticas) son la propagación de perturbaciones temporales del campo de esfuerzos que generan pequeños movimientos en un medio, estas pueden ser generadas por movimientos telúricos naturales, los más grandes de los cuales pueden causar daños en zonas donde hay asentamientos urbanos. Las ondas sísmicas pueden ser generadas también artificialmente (explosiones, golpes en el terreno, etc.).

La sismica propiamente dicha está dentro de la rama de la sismología que estudia estas ondas artificiales que son utilizados en la exploración e investigación geofísica.

Dichas ondas están compuestas por energía que viaja a través del subsuelo y son registradas por diversos aparatos como, por ejemplo: Acelerógrafos, sismómetros y sismógrafos. Estas ondas se dividen en dos categorías: las ondas corporales que viajan por el interior del subsuelo y las ondas superficiales que viajan por la superficie del subsuelo.

ONDAS SÍSMICAS CORPORALES

Las ondas de cuerpo viajan a través del interior de la tierra. Siguen caminos curvos debido a la variada densidad y composición del interior de la tierra. Este efecto es similar al de refracción de ondas de luz. Las ondas de cuerpo transmiten los movimientos preliminares de un terremoto el cual pueden poseer poca fuerza destructiva. Las ondas de cuerpo son divididas en dos grupos: ondas primarias (P) y secundarias (S).

ONDAS PRIMARIAS O COMPRESIONALES

Conocidas en el ámbito de la geofísica como ondas P, son ondas longitudinales o compresionales, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación (Ver Figura 18). Estas ondas generalmente viajan a una velocidad 1.73 veces de las ondas S y pueden viajar a través de cualquier tipo de material. Velocidades típicas son 330 m/s en el aire, 1450 m/s en el agua y cerca de 5000 m/s en el granito.

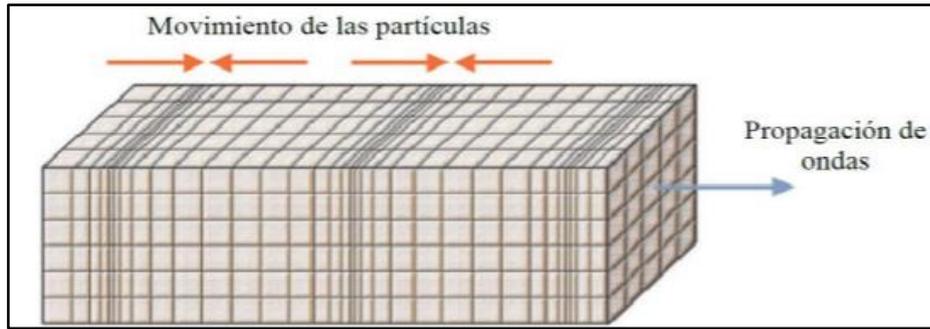


Figura 18 Modelo de propagación de las ondas P. (Fuente: RDT 03-006 - University of Missouri-Rolla)

ONDAS SECUNDARIAS O DE CORTE

Conocidas como ondas S, son ondas transversales o de corte, lo cual significa que el suelo es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, alternadamente hacia un lado y hacia el otro (Ver Figura19). Las ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Su velocidad es alrededor de 58% la de una onda P para cualquier material sólido. Usualmente la onda S tiene mayor amplitud que la P y se siente más fuerte que ésta. En el núcleo externo de la tierra, que es un medio líquido, no permite el paso de las ondas S.

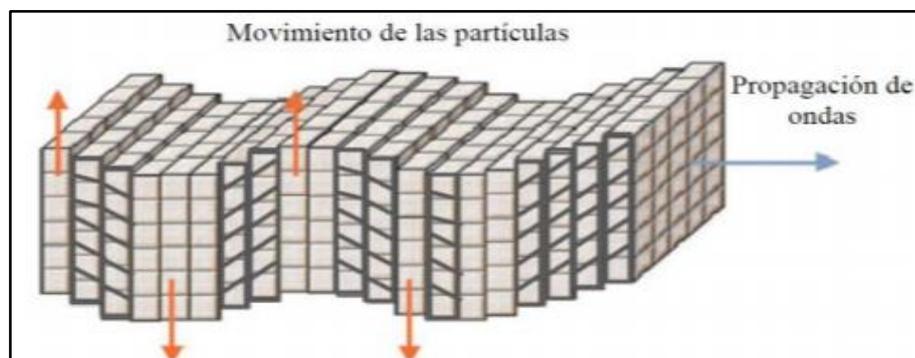


Figura N° 19: Modelo de propagación de las ondas S. (Fuente: Anderson et al., 2003)

ONDAS SÍSMICAS DE SUPERFICIE

Las ondas superficiales son análogas a las ondas de agua y viajan sobre la superficie de la Tierra. Se desplazan a menor velocidad que las ondas de cuerpo. Debido a su baja frecuencia provocan resonancia en edificios con mayor facilidad que las ondas de cuerpo y son por ende las ondas sísmicas más destructivas. Existen dos tipos de ondas superficiales: ondas Rayleigh y ondas Love.

ONDAS RAYLEIGH

Las ondas Rayleigh son ondas superficiales, que producen un movimiento elíptico retrógrado del suelo, es asociada con una onda de agua (Ver Figura 20). La existencia de estas ondas fue predicha por John William Strutt en 1885. Son ondas más lentas que las ondas de cuerpo y su velocidad de propagación es casi un 90% de la velocidad de las ondas S.

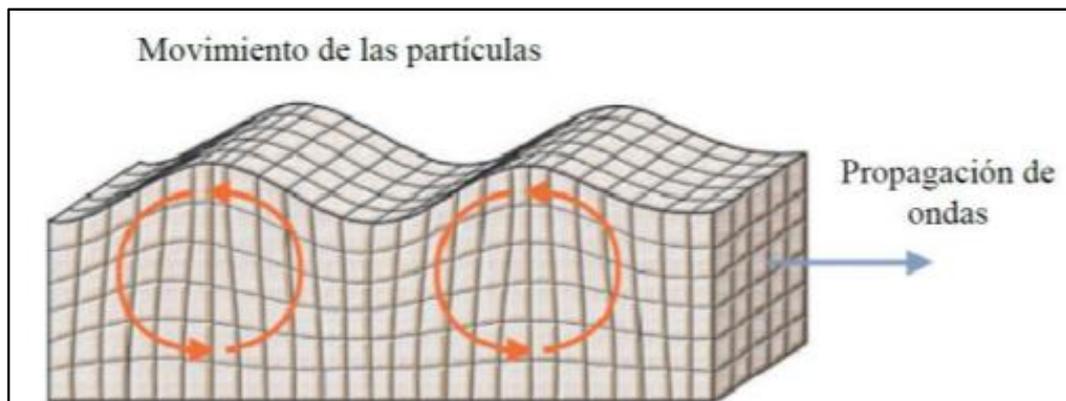


Figura N°20: Modelo de propagación de las ondas Rayleigh. (Fuente: Anderson et al., 2003)

ONDAS LOVE

Las ondas "Love" son ondas superficiales que provocan cortes horizontales en la tierra (Ver Figura 21). Fueron bautizadas por Augustus Edward Hough Love, un matemático británico que creó un modelo matemático de las ondas en 1911. La velocidad de las ondas Love es un 90% de la velocidad de las ondas S.

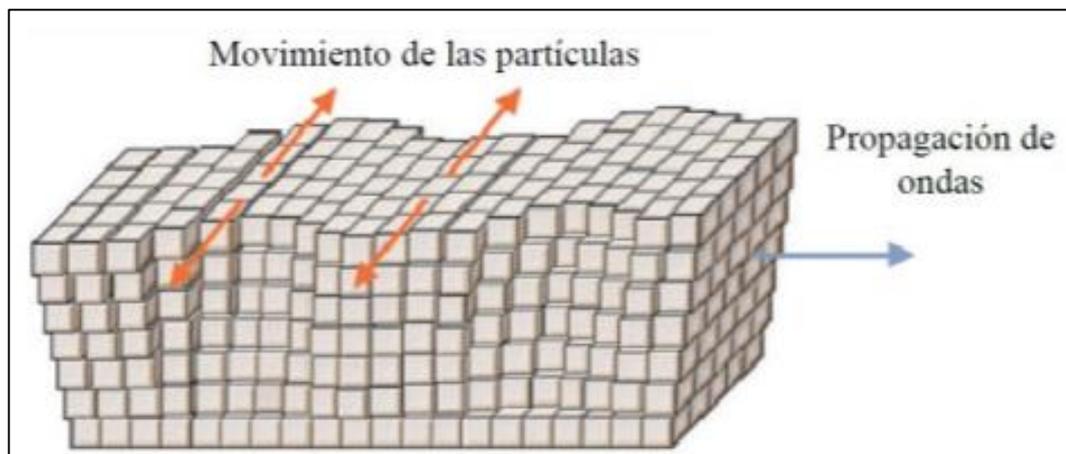


Figura 21: Modelo de propagación de las ondas Love. (Fuente: Anderson et al., 2003)

2.4 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

La refracción sísmica determina el Mejoramiento de Estabilidad del Estadio Huancayo

2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Las características geológicas de los suelos y rocas influyen en el Mejoramiento del Estadio Huancayo.

- Las características físicas de los suelos y rocas influyen en el mejoramiento del estadio.

2.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

- Se estudian cada una de las variables, las que se correlacionarán y compararán. Se identificaron las siguientes variables:

2.5.1 VARIABLES INDEPENDIENTES:

- La refracción sísmica

2.5.2 VARIABLES DEPENDIENTES

- Mejoramiento del estadio Huancayo.

2.6 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES

- Clima (Tormentas Eléctricas)
- Peso específico de la roca y suelo.
- Ruido del exterior

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo de tesis comprende aspectos de interpretación geológica por lo tanto su desarrollo es descriptivo, analítico, evaluativo y explicativo.

3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo de tesis estará basado en la toma de datos de campo, de forma objetiva y sistemática, en donde se estudian variables que se estudian y la frecuencia con que ocurre un hecho o precisando donde o cuando ocurre en situaciones naturales, mediante enfoques de observación transversal o longitudinal.

La metodología empleada comprendió la recopilación, toma de datos, caracterización, análisis, adecuación, actualización, procesamiento y

generación de información del presente estudio, las mismas que están de acuerdo a las normas, reglamentos y sistemas actuales utilizados en el País.

3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se revisarán los trabajos realizados con anterioridad de la zona de estudio, así también se tomarán datos de campo sobre los trabajos geológicos para analizar sus características en la zona de estudio.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. POBLACIÓN

La población implica toda el área de estudio que es el área total del Estadio Huancayo-Junín.

3.4.2. MUESTRA

La muestra está representada por los lineamientos LRS – MASW – MASW2D

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El levantamiento se realizó empleando un sismógrafo de 24 canales, marca Geometrics, modelo GEODE. La unidad de registro es controlada a través de una computadora portátil usando el software ESOS, el cual incluye rutinas de lecturas interactivas de las primeras llegadas de las ondas refractadas

Este sistema permite sumar datos de múltiples impactos para mejorar la señal sísmica / ruido y definir los cambios de velocidad en profundidad y así poder determinar el número de capas.



3.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el procesamiento de datos se utilizarán métodos convencionales o en su caso computarizados y modelado utilizamos el Software SeisImager/SW-1D para la obtención de perfiles sísmicos bidimensionales para estudios de Refracción Sísmica.

3.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Se basa en el análisis de los parámetros estadísticos relacionados a la muestra y la población.

Se utilizó coeficiente de correlación de Pearson cuando las variables fueron medidas a nivel escalar y de Spearman cuando el nivel de medición fue ordinal, así como t de Student de muestras independientes, con nivel de significancia de 0.05.

Para clasificar y descartar datos erróneos obtenidos denominado como ruido

3.8. SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

3.8.1 ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO GEODE

Especificaciones del Geode:

Configuraciones: 3, 6, 8, 12, 16 o 24 canales en un módulo Geode de campo a prueba de agua. El geode es operado tanto desde una laptop¹ bajo Windows 98/NT4/ME/W2K/XP como por un robusto sismógrafo /computador de campo StrataVisor NZ de Geometrics. El software básico de operación controla un Geode y opcionalmente se puede expandir para controlar múltiples Geodes, hacer estudios marinos, registro continuo, repetidor, perfilamiento marino, VSP, sincronización GPS, monitoreo de voladuras y vibraciones y vigilancia.

Conversión A/D: 24 bits que resultan de utilizar un convertidor sigma-delta de Cristal Semiconductor y sobremuestreo propiedad de Geometrics.

Rango Dinámico: 144 dB (sistema), 110 dB (instantáneo, medico) a 2 ms, 24 dB.

Distorsión: 0.0005% @ 2 ms, 1.75 a 208 Hz.

Ancho de banda: 1.75 Hz a 20 kHz. Opciones de baja frecuencia 0.6Hz y DC disponibles.

Rechazo de modo común: > 100dB a <= 100 Hz, 36 dB.

Crosstalk: -125 dB a 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms.

Piso de Ruido: 0.20 uV, RFI a 2 ms, 36 dB, 1.75 a 208 Hz.

Exactitud del disparo para apilamiento: 1/32 del intervalo de muestreo.

Señal máxima de entrada: 2.8V PP, 0 dB.

Impedancia de entrada: 20 kOhm, 0.02 uF.

Ganancia de Preamplificadores: La Configuración estándar de fábrica es de 24 y 36 db, seleccionable por software. Opcionalmente, se puede puentear para seleccionar por software entre 12 y 24 dB o puede ser puentado en bloques de 4 canales como ganancia fija de 0 dB para dispositivos de alto voltaje.

Filtros Anti-alias Filters: -3 dB a 83% de la frecuencia Nyquist, 90 dB abajo.

Filtros de Adquisición y Pantalla:

Pasa Altas: FUERA, 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz, 24 o 48 dB/octava, Butterworth.
Notch: 50, 60, 150, 180 Hz y FUERA, con 50db de rechazo, ancho de banda 2% de la frecuencia central.
Pasa Bajas: FUERA, 32, 64, 125, 250, 500 o 1000 Hz, 24 o 48 dB/octava.

Intervalo de Muestreo: 0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 ms.

Correlación: Hay disponible opcionalmente hardware Correlador de alta velocidad en cada Geode para un rápido tiempo ciclo con vibradores y fuentes pseudo aleatorias² (MiniSosie). Correlaciona en menos de un segundo un registro de 16K y canales ilimitados.

Longitud del Registro: 16,384 muestras estándar, 65,536 muestras opcional².

Datos en Predisparo: Hasta el registro completo.

Retrazo: 0 a 100 seg en pasos con 1 muestra de intervalo.

Transmisión de Datos: Usa el estándar de transmisión Ethernet sobre cable de cobre CAT 5 o fibra óptica multi modo. Distancia entre cajas: Cable CAT 5 hasta 0.25 km; cable de fibra óptica hasta 1.5 km.

Auto Disparo Inteligente: Temblores, monitoreo de voladuras y vibraciones²

Registro Continuo: Disponible par monitoreo de vibraciones².

Canales Auxiliares: Todos los canales del geode se pueden programar como AUX o DATOS. El Stratavisor NZ cuenta con datos fijos y canales auxiliares.

Roll Along: Interconstruido, no requiere de cajas de rotación externas³

Prueba de Línea: Un monitor de ruido en tiempo real presenta la salida de los geófonos. Opcionalmente hay un pulso de prueba de geófonos que ayuda a identificar geófonos malos, cortos o cables rotos².

Prueba de Instrumento: Opción interna de prueba diaria, semanal o mensual². Hay disponible un sistema de laboratorio de prueba externo con exactitud de especificaciones de fábrica para medir ruido, crosstalk, rango dinámico, similitud de ganancias y exactitud de disparo.

Formato de Datos: SEG-2 estándar. SEG-D y SEG-Y disponibles².

Software del Sistema:

La operación básica del software incluye funciones completas de adquisición desplegado, graficador, filtrado y almacenamiento. Hay otras funciones disponibles como control de múltiples Geodes, añadir ganancias adicionales de preamplificación, expandir la longitud de registro, correlación de alta velocidad, escritura en cinta, pulso de prueba de geófonos, pruebas expandidas y diagnóstico, capacidad de rotación (roll along), estudios marinos, perfilamiento marino, monitoreo de voladuras y vibraciones y vigilancia.

Software Aplicaciones interno:

- SIPQC software para refracción, de Rimrock Geophysics
- SeisImager/2D Lite software para análisis de refracción, de OYO
- WinSeis Lite software para proceso de reflexión, del Kansas GS.

Hay disponibles actualizaciones del SeisImager/2D: por favor contacte a la fábrica con sus requerimientos.

Almacenamiento de Datos: Almacena datos localmente en SEG2 en el medio de la laptop. Hay unidades disponibles para almacenamiento en cinta/disco en SEG2/D/Y².

Graficador: Maneja una variedad de impresores compatibles con WindowsTM incluyendo graficadores Printrex de 4, 8 y 12 pulgadas. Consulte al fabricante.

Disparo: Positivo, negativo o cerrado de contacto, umbral ajustable por software. Se autodispara en registro continuo usando el algoritmo STA/LTA-like de detección por umbral.

Poder: Requiere batería externa de 12V. Usa 0.65 W/canal durante adquisición, en modo de espera se reduce el poder en un 70% mientras.

Ambiental: -30 a 70 grados C. A prueba d agua y sumergible. Soporta una caída de 1 mt sobre concreto en los 6 lados y las 8 esquinas. Pasa la prueba de vibración MIL810E/F.

Físico: 25.4cm (L) x 30.5cm (A) x 17.75cm (P). (10"L x 12"A x 7"P). Pesa 3.6Kg. (8 lb). Usa conectores herméticos Bendix de 61 pines par la entrada de geófonos.

Operación del Sistema: Windows 98/ME/NT4/W2K/XP.

Garantía: Tres años estándar, hay garantía extendida disponible.

1- **La mayoría de las laptops NO son para trabajo de campo.** Son fáciles de dañar por uso rudo o por exposición a ambientes extremos. Los computadores Stratavisor NZ/Cs de Geometrics se diseñaron para operar en condiciones adversas por periodos largos y deben ser usados con el Geode en estudios en donde la confiabilidad es importante.

2 - Disponible como opción.

Geode_v10_ds-SP.doc 102705

GEOMETRICS INC. 2190 Fortune Drive, San Jose, California 95131, USA
Tel: 408-954-0522 - Fax: 408-954-0902 - Email: sales@geometrics.com

GEOMETRICS EUROPE 20 Eden Way, Pages Industrial Park, Leighton Buzzard LU7 4TZ, UK
Tel: 44-1525-383438 - Fax: 44-1525-382200 - Email: chris@georentals.co.uk

GEOMETRICS CHINA Laurel Technologies, Ste 1807-1810, Kun Tai Int'l Mansion, #12B, Chaowai St., Beijing 100020, China
Tel: 86-10-5879-0099 - Fax: 86-10-5879-0989 - Email: laurel@laureltech.com.cn



www.geometrics.com

3.8.2 PARÁMETROS DE LEVANTAMIENTO DE CAMPO:

Mediciones Tiempo de Llegada

Geófonos	24 unidades
Intervalo entre geófonos	3m
Ganancia de Pre amplificación	36 Db.
Filtros	No se utilizó
Intervalo de muestreo	0.125 milisegundos
Batería	2 unidades
Fuente de activación	1 comba
Formato de Grabación	DAT

3.9. ORIENTACIÓN ÉTICA

Para optimizar la dirección de los diversos perfiles, la empresa contratante suministró el plano topográfico del área de estudio y las líneas definidas con las cotas respectivas cada 3 m, donde el responsable del estudio definió posición de cada perfil, además de revisar continuamente los datos de campo con el fin de corregir y/o evitar cualquier problema causado por heterogeneidad del terreno y variaciones laterales, con la finalidad de garantizar una adecuada adquisición de datos.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

4.1.1 UBICACIÓN POLÍTICA

Región : Junín

Provincia : Huancayo

Distrito : Huancayo

4.1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Geográficamente la zona del proyecto se ubica dentro de las coordenadas

UT M, cuyo Datum WGS84 es:

Norte : 8665437 N

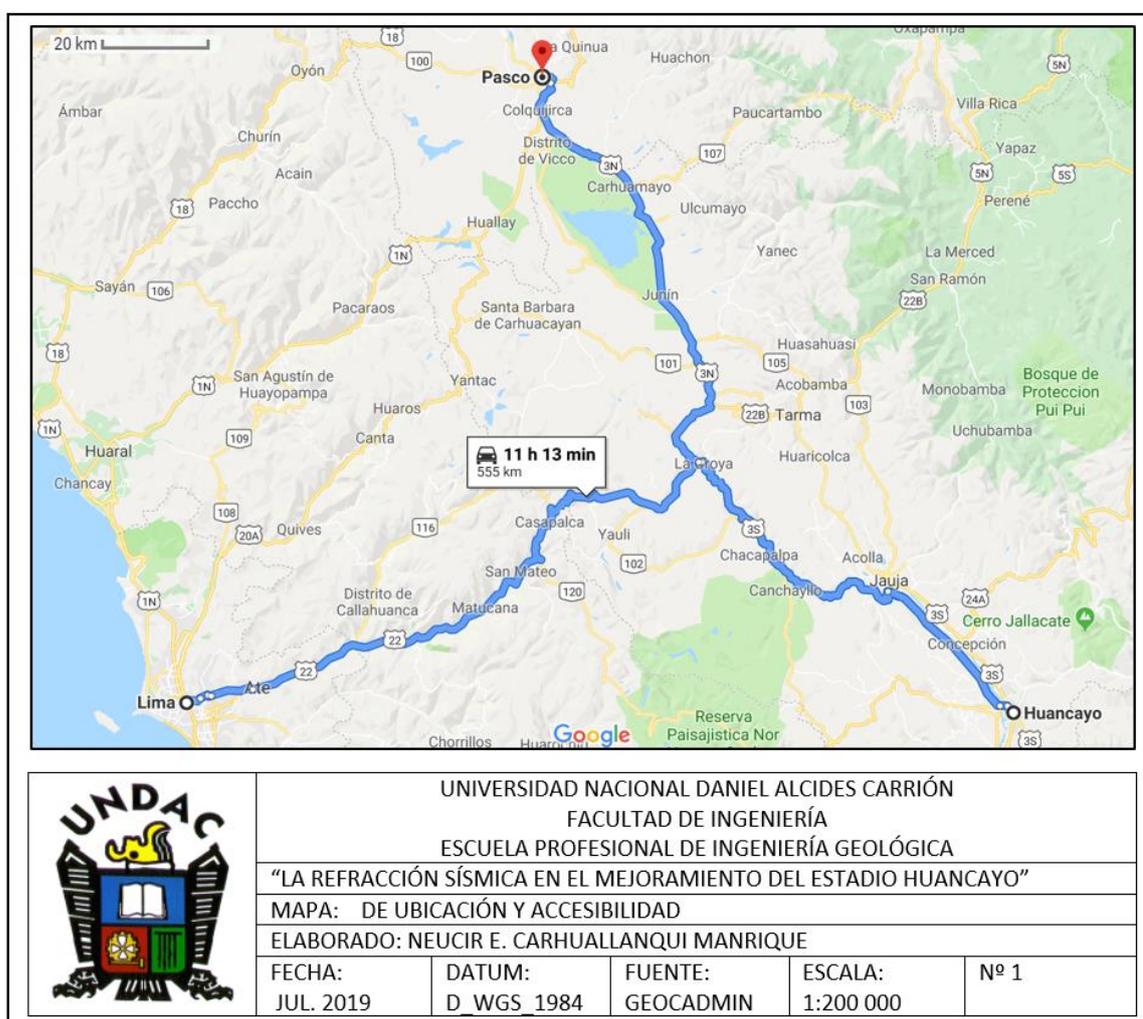
Este : 478071 E

Altitud: 3250 m.s.n.m

4.1.3 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El Estadio Huancayo es un estadio de fútbol ubicado en el barrio de Ocopilla, ciudad de Huancayo en el departamento de Junín, Perú. Se encuentra ubicado a 3250 msnm, posee una capacidad para 20.000 espectadores y posee luz artificial.

4.1.4 VIAS DE ACCESO



TRAMO	TIPO DE CARRETERA	DISTANCIA	TIEMPO
LIMA- HUANCAYO	Asfaltado	310 km	5h con 30 minutos en Auto
TARMA –HUANCAYO	Asfaltado	108 km	2:00 horas en Auto
LA MERCED-HUANCAYO	Asfaltado	182 km	3:00 horas en Auto
LA OROYA – HUANCAYO	Asfaltado	124 km	2:00 horas en Auto

4.1.5. CLIMA

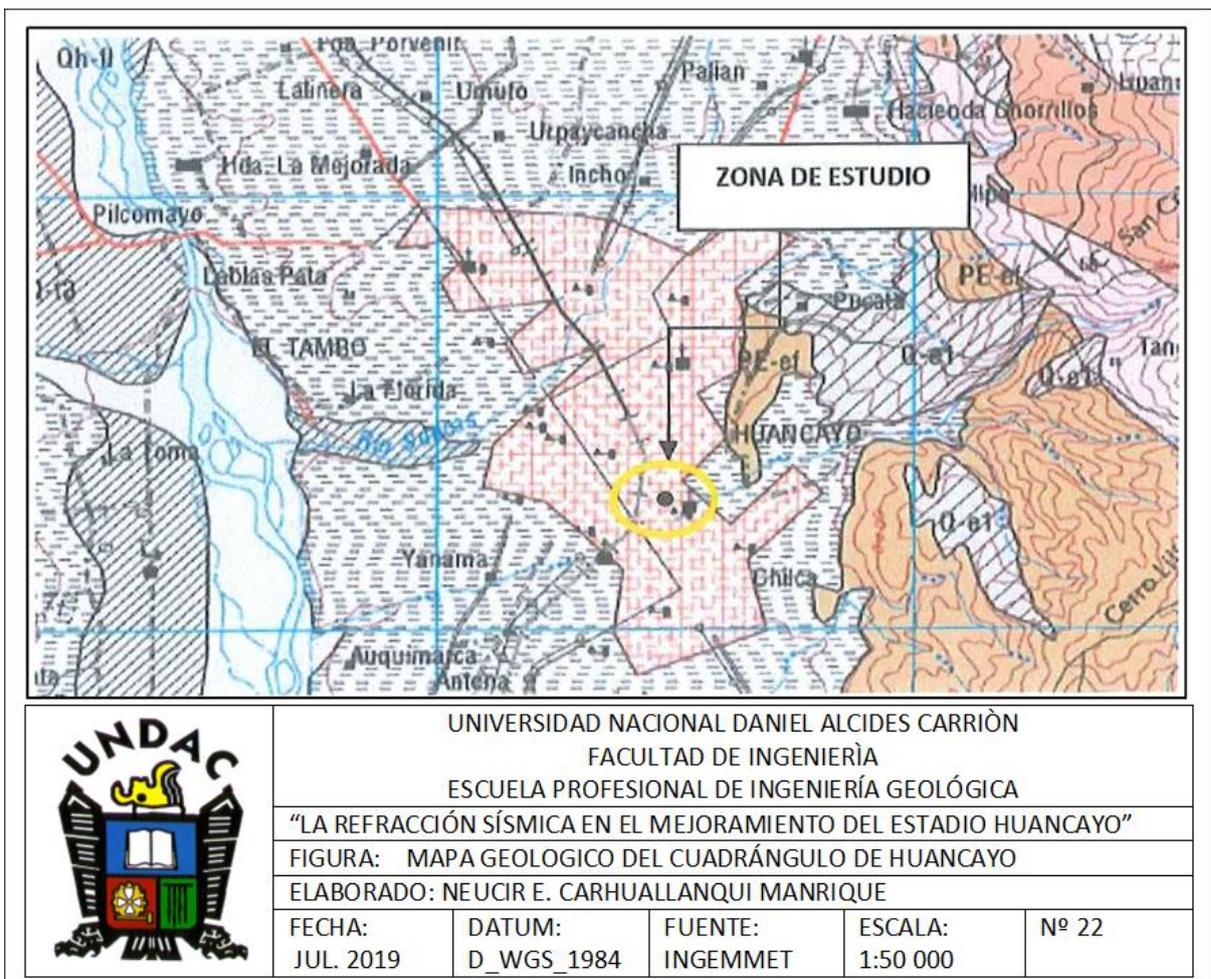
Debido a su latitud (120 LS), Huancayo debería tener un clima cálido. Sin embargo, la presencia de la Cordillera de los Andes y la altitud de la ciudad (3250 msnm) causan grandes variaciones en el clima. Huancayo tiene un clima templado pero inestable durante todo el año, variando entre 28° en los días más cálidos y -5° grados centígrados en las noches más frías. La gran variación de las temperaturas hace que en la zona sólo se distingan dos estaciones, la temporada de lluvias desde octubre hasta abril (correspondiente a gran parte de la primavera y el verano) y la temporada seca de mayo a septiembre. Las temperaturas más bajas se registran en las madrugadas de los días de los meses de junio a agosto.

Las precipitaciones anuales son moderadas lo que contribuye a la fertilidad del valle huanca.

4.1.6. GEOLOGÍA REGIONAL

La columna estratigráfica de la región de Huancayo comprende la mayoría de las formaciones descritas por McLaughlin (1924) y luego por Harrison (1940, 1943, 1951, 1953), quien estudió detalladamente la estratigrafía del Centro, Los terrenos más antiguos corresponden al Paleozoico inferior y

medio, y se encuentran en parte metamorfizados. Estos terrenos están cubiertos con nítida discordancia angular por una espesa serie de sedimentos tanto continentales como marinos, que se depositaron con algunas interrupciones entre el Misisipiano y el Cretáceo Superior. Este largo período de tranquilidad fue seguido por numerosas fases tectónicas y por lo tanto las formaciones terciarias y cuaternarias, mayormente continentales y volcánicas, están generalmente discordantes unas encima de otras.



4.1.7. ESTRATIGRAFÍA

GRUPO MITU. (Pérmico superior - Triásico Inferior)

El grupo Mitú (McLaughlin, 1924), al igual que las formaciones ya descritas, aflora sólo en la parte NE del cuadrángulo donde cubre más o menos la mitad del área de la Cordillera Oriental. El grupo se presenta con su facies clásica conocida a través de los Andes; esto es conglomerados, areniscas, lutitas y lavas ácidas a intermedias, teniendo en común todas estas rocas un color dominante que varía entre el rojo ladrillo y el violeta,

El afloramiento del grupo, que se halla inmediatamente al norte de la trocha que une la granja de Pucará con el punto más alto (3,340 m.) de la carretera Marcavalle - Pazos, da un ejemplo de la litología del Mitu.

Cerca de Marcavalle, que se halla un poco más al norte de la sección descrita, la serie se complementa hacia arriba con 200 m. de volcánicos y 100 m. de areniscas y conglomerados, y pasa en aparente discordancia a una serie de calizas y margas que forman la base del Mesozoico marino.

Las variaciones laterales de litología en el Mitu son muy grandes, las facies y los espesores de los componentes detríticos varían muy rápidamente, igual sucede con los niveles volcánicos que varían de espesor y de ubicación de un sitio a otro.

Cuando los niveles volcánicos del Mitu se encuentran metamorfizados se observa también la aparición de una coloración verdosa, como se ve al NE.

Gran parte de las intercalaciones de lavas, por lo general ácidas (riodacitas), encontradas en el Mitu parecen estar relacionadas con cuerpos

intrusivos hipabisales, como el que aflora en el cuerpo Belenpuquio a unos 5 km, al NE de Huancayo.

GRUPO PUCARÁ.

FORMACIÓN CONDORSINGA (Sinemuriano superior a Aljeniano)

El término de calizas Condorsinga fue empleado por McLaughlin (1924) para describir las calizas liásicas que soportan a las areniscas con carbón en el área de Jatunhuasi, unos 10 km. al oeste del borde noroccidental del cuadrángulo de Huancayo. Como el nombre de Condorsinga es más antiguo y preciso lo adoptamos en vez de las denominaciones más recientes de Formación Jauja de Weaver (1942) y formación Llaquaripampa usado por Cerro de Pasco Corporation. La formación Condorsinga está prominentemente expuesta en toda la extensión de las Altas Mesetas y es la única parte de grupo Pucará que figura en el sector SW de la hoja.

La formación consta esencialmente de calizas con algunas intercalaciones de sienitas y margas. Se diferencia de la formación Chambará noro-retiana, por contener menor proporción de chert; además la cantidad de chert va disminuyendo conforme uno sube en la secuencia. Su litología monótona y sobre todo el hecho que de pocas veces se expone su piso, han sido motivo para no medir otras secciones, pero es evidente que su espesor se mantiene por lo menos igual en dirección suroeste.

FACIES ORIENTAL

Las calizas Pucará de facies oriental están presentes en los sinclinales de Huangash, Arturito y Huari de la Cordillera Oriental, ubicados en SW a NE, respectivamente. En estas tres estructuras los estratos Pucará de colores claros descansan en discordancia de erosión encima de lavas y areniscas de color púrpura oscuro del Grupo Mitu; sin embargo, se desconoce su techo, así como su espesor porque ya no se encuentra encima la cubierta cretácea,

El estudio del Grupo Pucará en la Cordillera Oriental es por lo general, difícil por la complicación de los pliegues disarmónicos de las calizas, tal como se observan claramente en los sinclinales de Huaritanga y Huari, que merecen más bien el nombre de sinclinorios,

En el sinclinal de Huangash tanto al norte del Río Acopalca (borde Norte de la hoja de Huancayo y Sur de la de Jauja) como al sur del mismo río, así como en las alturas situadas al E de Huancayo (zona de Huangash), se puede hacer una división del Grupo en tres miembros. En la base se encuentra un miembro calcáreo, en la parte media un miembro arenoso y en la parte superior otro miembro calcáreo que correlacionamos con las 3 formaciones diferenciadas en la facies occidental.

Sin embargo, no disponemos de datos paleontológicos, que apoyen esta equivalencia y por otra parte la litología no es idéntica, en particular el miembro medio consta aquí de areniscas gris claras a ocre,

interestratificadas con calizas beige laminadas, Por lo tanto, al mapear este sinclinal, consideramos el Grupo Pucará como indiviso.

En las calizas que a menudo contienen chert se encuentran restos siempre triturados de equinodermos, pelecípodos (se notan los Ostreides) y braquiópodos, así como impresionantes estructuras debidas a algas, Parte de las renicas son glauconíticas. Las cineritas forman intercalaciones mucho más frecuentes que en la facies occidental.

En los sinclinorios de Arturito y Huari ya no se diferencia el miembro arenoso y sólo se encuentran calizas grises, a veces laminadas, en bancos de 0.3 a 2 m. que a veces contienen chert negro.

En la base se notan algunos bancos arenosos, tal como se expone en la mina San Carlos, en el flanco derecho de la quebrada de Huaritanga.

FORMACIÓN JAUJA

Esta Formación ha sido definida por Dollfus (1965, p. 149-153) y aflora en varias localidades de la cuenca de Huancayo-Jauja; las mejores exposiciones se hallan en el cuadrángulo de Jauja, inmediatamente al Oeste de la ciudad de Jauja, y en la zona de Sincos-Aco-Mito en la margen derecha del Mantaro, La Formación es claramente más antiguas que las terrazas aluviales,

En la última zona, la Formación cuyo grosor pasa de 200 m, es bastante típica; comprende conglomerados basales cubiertos por areniscas finas y lutitas silíceas ricas en diatomeas, que localmente pasan a verdaderas

diatomitas, Las areniscas y lutitas son lacustres y contienen gasterópodos, lamelibranquios y ostrácodos de agua dulce.

En la hoja de Huancayo atribuimos a esta Formación unos afloramientos pequeños de sedimentos lacustres de la misma facies que los de Aco situados a unos 4 km. al SE de Huacrapuquio, y otros en el camino que une la Hda. Acopalca con la laguna Huacracochoa en la Cordillera Oriental; en ellos se encuentran los mismos gasterópodos y lamelibranquios.

Los Planorbideos, pequeños lamelibranquios y ostrácodos (Lymnocytheridae y Cyprididae, según A. Pardo) que recogimos en la zona de Sincos (hoja de Jauja) no han sido determinados por falta de publicaciones de comparación y desde luego no se consideraron para fijar la edad de la Formación. En base a las referencias poco precisas de Harrison (1940, 1943) sobre hallazgos de restos de Megatherium y Mastodonte, atribuimos a la Formación Jauja una edad pleistocénica.

Parte de los sedimentos Jauja muestran los efectos de un plegamiento nítido que afecta también las terrazas suprayacentes.

MORRENAS TERRAZAS, ESCOMBROS DE TALUD Y DESLIZAMIENTOS

Entre el Pleistoceno, representado en parte por la Formación Jauja, y el reciente se depositaron en el área de Huancayo morrenas, terrazas y depósitos de ladera que en términos generales se correlacionan con tres grandes etapas de glaciación, reconocidas por Dollfus (1965),

DEPÓSITOS CORRELATIVOS DE LA 1RA. GLACIACIÓN O GLACIACIÓN "MANTARO"

Morrenas JI.- Los depósitos de esta glaciación se encuentran presentes arriba de los 3500 m, y se reconocen por su frecuente y pronunciado recostamiento, su lixiviación y alteración local. La morfología típica de las morrenas, tales como crestas, arcos, etc., ha sido destruida en la mayoría de los casos por la erosión posterior.

Estos depósitos morrénicos tapizan todo el flanco este de la depresión de Acostambo, entre los puntos (481.3 x 8,650.5) y (491.5 x 8,640) situados sobre la carretera Huancayo-Ayacucho. Su litología, tal como se observa en algunos cortes, consiste de bloques hasta de varios metros cúbicos, dispersos al azar en una matriz de bloques más pequeños y gravas sin clasificación; el color dominante del conjunto es blanco. Estas morrenas vuelven a encontrarse en la depresión de Ingahuasi, principalmente en su flanco SO, yaciendo en discordancia de erosión encima de los travertinos Ingahuasi, y con igual relación debajo del material fluvioglaciárico contemporáneo de la segunda glaciación; en esta zona los bloques son más escasos y se encuentran dispersos en una matriz de guijarros y tierra parda rojiza, que imparte su color a toda la secuencia.

Terraza t1. - Esta terraza ocupa importantes áreas en la parte SO de la cuenca de Huancayo-Jauja, por ejemplo, en la zona Chambara Huachao Chongos Bajo. Está compuesta mayormente por conglomerados de cantos bien redondeados hasta de 50 cm, de diámetro que se hallan en una matriz de cantos chicos y de arena gruesa; estos materiales forman bancos de

grosor variable entre 2 y 20 m., y en algunos lugares contienen intercalaciones de bancos arenosos lenticulares; su espesor total alcanza 100 m, La superficie de esta terraza se halla a menudo encostrada y a veces en profundidad se la nota cementada por calcáreo.

Un examen algo más detallado permite comprobar que los materiales que forman la terraza han sido plegados, En la cuenca alta del río Jarpa tl no está plegada y se encuentra 50 a 80 m. encima del cauce actual del río.

Escombros de ladera e1 y deslizamientos d1.

Muchas de las pendientes circundan la depresión de Huancayo o limitan los valles del río Mantaro y sus afluentes, están cubiertas por gruesas capas de escombros e1 y a veces por materiales de deslizamientos d1 que se conocen por su cementación por calcáreo y su fuerte rencostamiento superficial.

LOS ESCOMBROS E1

Son de origen periglaciárico y consisten de cantos angulosos de tamaño variado de clasificación, dispuestos en lechos medianos (0.5 a 1 m.) paralelos a la pendiente,

Durante la primera glaciación y poco después se formó la cubierta de escombros de la mayoría de las grandes laderas, verbigracia la que está atravesada por la carretera Huancayo-Cercapuquio, encima de Pumpuña, al empezar la subida a los Altos del Mantaro.

DEPÓSITOS CORRELATIVOS DE LA SEGUNDA GLACIACIÓN

Morrenas. - Las morrenas de esta glaciación tienen formas morfológicas nítidas y abundan en todos los valles de altura superior a 3,800 m., por ejemplo, ellas cubren parte del flanco Oeste del sinclinal de Acostambo y con claramente visibles desde la nueva carretera Huancayo-Huayucachi Pampas, Las morrenas ya no están encostradas.

Terrazas y conos de deyección. - En la cuenca de Huancayo se encuentran dos niveles de terrazas, son terrazas "grosso modo" horizontales, la más antigua se encuentra a 25 m, aproximadamente encima del cauce actual de los ríos y la más reciente a 15 m. En Huamanmarca, cerca de Huayucachi, se puede observar un tercer nivel t2, a unos 35 m. sobre el fondo de la cuenca, que probablemente refleja condiciones locales de subsidencia.

Las terrazas t2, están constituidas por bancos de conglomerados sueltos, formados por cantos bien redondeados hasta de 20 cm, de diámetro y por bancos de arena que localmente pueden invadir gran parte de la secuencia; en la zona de Huamanmarca y Huacrapuquio se observan areniscas arcillosas y arcillas, ambas de color rosado.

Estas acumulaciones de elementos finos están claramente relacionadas a decrementos locales de la pendiente del río Mantaro. Las arenas de la terraza t2, de Sicaya parecen ligadas a la presencia de los conos de deyección de los ríos Acopalca y Chupaca, que se hallan frente a frente a pocos km. aguas abajo; el crecimiento de los conos por el aporte masivo

de los ríos habría levantado localmente el nivel del cauce del Mantaro, disminuyendo su pendiente y su capacidad de transporte. Las arcillas de facies lacustre de Huamanmarca y Huacrapuquio corresponden evidentemente a un represamiento más marcado del Mantaro, que aquí no se puede explicar de la misma manera que el caso anterior. La tesis de un embalse debido a un deslizamiento es difícil de aceptar ya que no se ven restos de deslizamiento en el embocadero del cañón. Por nuestra parte estamos en favor de un levantamiento del bloque Altos del Mantaro Chuamba y de su subsidencia correlativa del extremo Sur de la depresión de Huancayo.

El material que compone la terraza consiste de conglomerados con escasos lentes arenosos, la clasificación y el redondeamiento de los cantos varían bastante de un lugar a otro, características que suponemos guardan relación con la distancia y tiempo de acarreo de los elementos.

En la depresión de Huancayo se notan los restos de algunos conos de deyección, el más importante es el cono del río Acopalca, en cuya parte meridional está edificada la ciudad de Huancayo. Sus contornos aparecen bien delineados en los mapas topográficos por la deformación de las curvas de nivel, mientras que en las aerofotografías se observa con claridad estructuras lineares que convergen en su ápice, su pendiente de 2% es muy superior a la inclinación de las terrazas.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	GROSOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN		
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	Depósitos aluviales			Arenas, gravas y limos.		
		PLEISTOCENA	Depósitos glaciares			Morrenas		
	NEÓGENO	PLIOCENA	Grupo Icajua	Formación Mataula	50		Capas lacustrinas arenas y limos poco consolidadas.	
				Formación Ushno	100		Conglomerados fluviales.	
				Formación Ingahuasi	50		Tobas blancas calcáreas. Disc. eros.	
				Formación Yanacancha	250		Lavas, brechas, conglomerados andesíticos.	
	PALEÓGENO	MIOCENA		Formación Huarochiri	400		Tobas riolíticas y riolíticas con intercalaciones de areniscas.	
				Formación Millotingo	400		Lava andesítica a dacítica, areniscas volcánicas	
		OLIGOCENA		Formación Castrovirreyna	150		Volcánico - sedimentario con intercalaciones de tobas.	
				Grupo Sacsacero	2015		Tobas riolíticas soldadas, lavas y areniscas volcánicas	
		EOCENA	SUP.					Andesita / Riolita
			MED.		Formación Tantar	100		Derrames andesíticos a riolíticos, gris verdoso.
	PALEOCENA					Disc. ang.		
MESOZOICA	CRETÁCEO	SUPERIOR		Formación Casapalca	4000		Lutitas, areniscas, limolitas y conglomerados de color rojo.	
				Formación Celendín	400		Dioritas.	
				Formación Jumasha	400		Calizas pardo amarillentas con margas calcáreas, yeso.	
		INFERIOR		Formación Pariatambo	120		Calizas compactas en estratos gruesos a delgados.	
				Formación Chélec	220		Calizas, lutitas de color negro fétido.	
				Formación Pariahuanca	260		Calizas gris pardo amarillentas y margas calcáreas.	
				Formación Farrat	700		Calizas y margas calcáreas.	
				Grupo Goyllansiquiza		Formación Carhuaz	450	Areniscas de grano medio blanco a gris rojo.
				Formación Santa	100	Areniscas con intercalaciones de lutitas violáceas.		
				Formación Chimú	400	Caliza gris y arcillitas abigarradas.		
	JURÁSICO	MEDIA		Formación Chaucha	300	Cuarzitas grises con intercalaciones de material bituminoso.		
		INFERIOR		Formación Cercapuquio	322	Lodolitas y limolitas calcáreas, calizas y dolomitas.		
				Formación Condorsinga	1000	Areniscas de grano fino a grueso color blanco a gris.		
	TRIÁSICO	SUPERIOR		Formación Aramachay	400	Calizas gris azulada con presencia de venillas de calcitas.		
				Formación Chamberá	300	Intercalaciones de caliza con nódulos calcáreos y limoarcillitas carbonosas.		
PALEOZOICA	PERMIANO	SUPERIOR		Grupo Mitu	1700	Calizas micríticas con nódulos de chert.		
		INFERIOR		Grupo Copacabana	150	Disc. ang.		
	CARBONÍFERO	SUPERIOR		Grupo Tarma	1300	Secuencia rítmica molásica, conglomerados con clastos de volcánicos.		
		INFERIOR		Grupo Ambo	900	Intrusivos y brechas volcánicas.		
	DEVONIANO	SUPERIOR		Grupo Cabanillas	780	Areniscas, calizas y lutitas de color bruno.		
		MEDIA				Lutitas y limolitas grises con intercalaciones de areniscas		
	INFERIOR		Monzogranitos, granitos.					
	SILURIANO ORDOVICIANO			Metasedimentitas no diferenciadas	700	Conglomerados, molasas rítmicas, areniscas feldespáticas.		
				Complejo Metamórfico	1000	Secuencias tipo flysch con areniscas, lutitas y pizarras		
	NEOPROTEROZOICA					Disc. ang.		
					Filitas con escasas intercalaciones de cuarcita, negro grisáceas, basaltos, metatoba y mármoles.			
					Disc. ang.			
					Lutitas serioesquistosas y paragneises, anfíbolitas.			

FIG. 23 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA REGION DE HUANCAYO (INGEMMET)

AMBIENTE HIPABISAL O SUBVOLCÁNICO

El ambiente hipabisal o subvolcánico incluye los cuerpos que cristalizaron cerca de la superficie, no en profundidades de los batolitos y por supuesto no en la superficie. Los cuerpos hipabisales generalmente provienen de magmas salientes de la cámara magmática principal, Los cuerpos hipabisales tienen un volumen reducido y se ve marcado por una velocidad de enfriamiento "mediana", entre los lentos intrusivos y los rápidos extrusivos. De acuerdo de lo anterior discutido la textura visible de estas rocas varía entre algo como intrusivo y algo como una lava.

La presencia de fluidos acuosos del mismo sistema magmático o de la roca de caja frecuentemente convierten los sistemas subvolcanicas o hipabisales (especialmente los stocks) en un objetivo de la prospección de pórfidos cupríferos entre otros.

CUERPOS HIPABISALES O SUBVOLCANICAS

Cuerpos hipabisales o subvolcánicas son intrusiones de relativamente pequeñas dimensiones, ubicados en profundidades bajas - algo entre el batolito y de la superficie,

Los cuerpos hipabisales / subvolcánicas muestran algunas particularidades:

Velocidad del enfriamiento mediana.

Heterogéneo, los contactos a la roca de caja tienen otro desarrollo.

Probable contacto con aguas subterráneas, movilizaciones hacia y desde de la roca de caja.

Contenidos altos en volátiles y fase acuosa en el magma,

RIOLITA (ROCA)

Roca ígnea volcánica ácida de grano fino a vítreo. Mineralógicamente son similares a los granitos y microgranitos, aunque desde el punto de vista químico parecen ser algo más ricas en SiO₂. A veces en las riolitas se reemplaza el cuarzo por formas beta de alta temperatura y muy raramente por tridimita o cristobalita (Grupo de minerales silíceos). La presencia de minerales ferromagnesianos está menos clara que en las rocas plutónicas correspondientes. En sentido estricto, las riolitas se dividen en dos tipos, sódicas y potásicas, de acuerdo con el tipo de feldespato presente. Tipo: básico ígneas, Grupo: Silicatos. Lavas ácidas.

4.1.8. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

FALLAS REGIONALES

La falla de Huaytallapana se encuentra al pie de la cordillera del mismo nombre. Dicha cordillera constituye el segmento de la Cordillera Oriental que domina la cuenca de Huancayo. El rumbo general de la falla es NWSE, con un buzamiento de 65° hacia el NE. Esta falla se ha reactivado en el sismo de 1969, originando un movimiento del tipo Sinestral-Inverso. El desplazamiento vertical alcanza hasta 2 m. en la parte norte de la falla, Su longitud es de 25 Km. y la magnitud del sismo de 1969 fue de $m_b = 5.9$. La falla de Cayesh se ubica en la parte NE del cuadrángulo de Tarma, cerca

de la localidad de Cayesh, Tiene un rumbo promedio N20 OVV. Es aparentemente normal y recorta a todos los depósitos cuaternarios de la zona, tiene una longitud de unos 10 Km. No existen registros de sismos superficiales que evidencien la actividad de esta falla

4.1.8.1 CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS

Al respecto de la Sismología Regional podemos mencionar que de acuerdo al nuevo mapa de zonificación sísmica del Perú según la nueva Norma Sismo Resistente de Estructuras (NTE E-03 - 2016) y del Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas observadas en el Perú (J. Alva Hurtado, 1984) el cual está basado en isosistas de sismos ocurridos en el Perú y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y sismos recientes; se concluye que el área en estudio se encuentra dentro de la zona de sismicidad alta (Zona 3), existiendo la posibilidad de que ocurran sismos de intensidades como VII - VIII en la escala Mercalli Modificada. 'Zonificación Sísmica del Perú" y "Mapa de distribución de Máximas Intensidades Sísmicas".

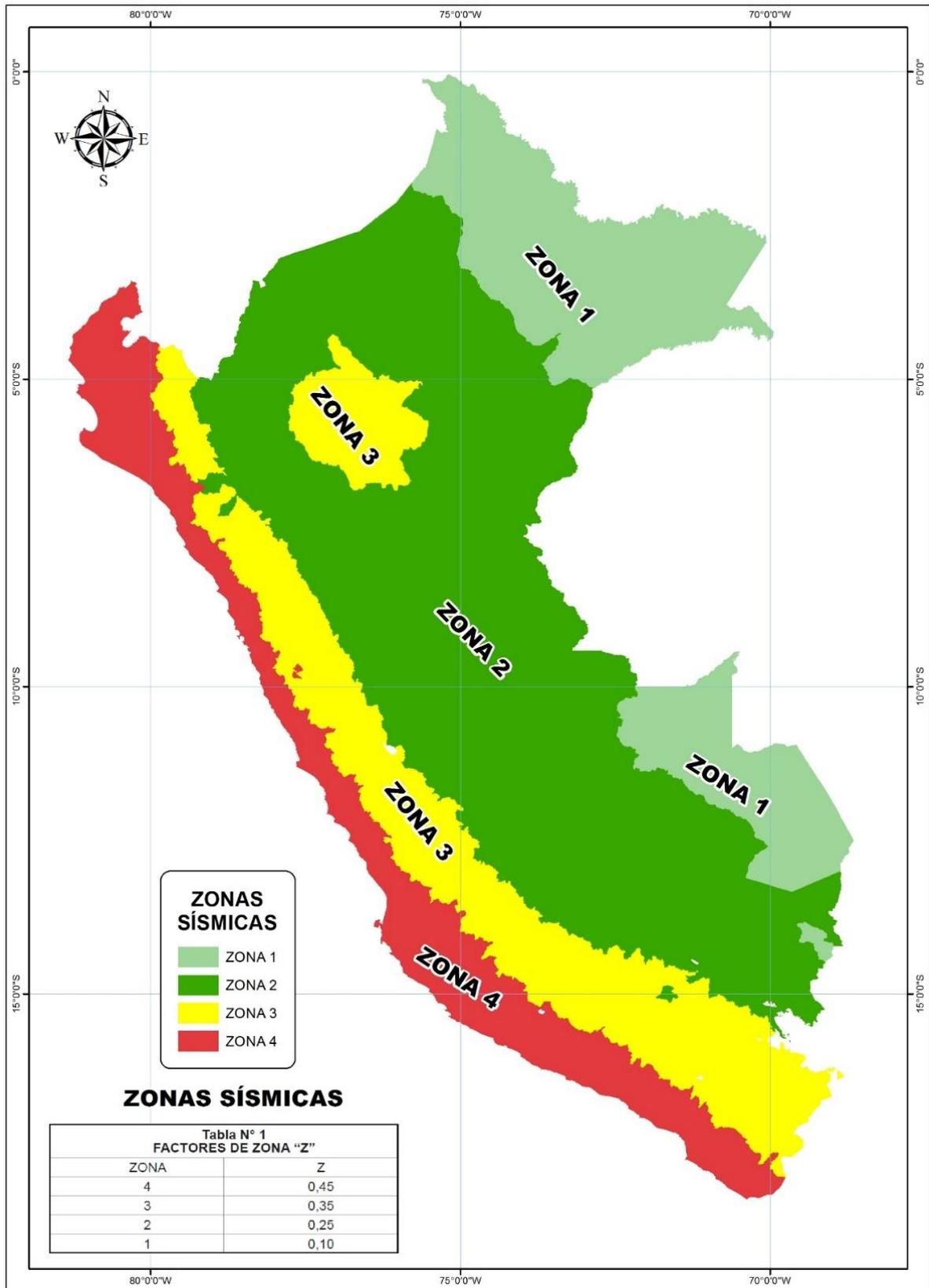


Figura 24, Mapa de Zonificación Sísmica del Perú

4.1.8.2 CONDICIONES GEOTÉCNICAS

PARÁMETROS DE SITIO:

Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos TP y TL.

La Norma Técnica NTE E-3 y el predominio del suelo bajo la cimentación, se recomiendan adoptar en los Diseños Sismo Resistentes para las obras no lineales, y obras menores, los siguientes parámetros, según la siguiente Tabla 2

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Tabla N°2 Factores de zona Z

PERIODOS "T _P " Y "T _L "				
	PERFIL DEL SUELO			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _P (S)	0.3	0.4	0.6	1.0
T _L (S)	3.0	2.5	2.0	1.6

PERFILES DE SUELOS

So: Roca Dura:

A este tipo corresponden las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte s mayor que 1500 m/s, Las mediciones

deberán corresponder al sitio del proyecto o a perfiles de la misma roca en la misma formación con igual o mayor intemperismo o fracturas, Cuando se conoce que la roca dura es continua hasta una profundidad de 30 m, las mediciones de la velocidad de las ondas de corte superficiales pueden ser usadas para estimar el valor de s .

S1: ROCA O SUELOS MUY RÍGIDOS:

A este tipo corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte s , entre 500 m/s y 1500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Roca fracturada, con una resistencia a la compresión no confinada (σ_{11} mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm²)).
- Arena muy densa o grava arenosa densa, con mayor que 50.
- Arcilla muy compacta (de espesor menor que 20 m), con una resistencia al corte en condición no drenada u mayor que 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

S2: SUELOS INTERMEDIOS:

A este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del SPT N₆₀, entre 15 y 50.

- Suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada S_u , entre 50 kPa (0,5 kg/cm²) y 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

S3: SUELOS BLANDOS:

Corresponden a este tipo los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte V_s , menor o igual a 180 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena media a fina, o grava arenosa, con valores del SPT N₆₀ menor de 15. Tabla N°3, Periodos de acuerdo la norma E – 030

4.2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.2.1. PRESENTACIÓN DE LOS DATOS

Para el levantamiento de refracción sísmica se presenta secciones de domocrónicas que representan la distancia total entre geófonos definidos en el eje de las abscisas y el tiempo de recorrido de la onda P en el eje de las ordenadas. Asimismo, se elaboran perfiles de interpretación que determinan estratos y/o capas en función a las pendientes y velocidades sísmicas obtenidas. Seguidamente determinado las velocidades y/o espesores de cada capa se calculan los parámetros elásticos.

Para optimizar con mayor precisión la interpretación de cada perfil (LRS) se insertó la topografía de cada perfil y se correlacionó con información complementaria, tales como:

Trincheras, perfiles de calicatas, observaciones geológicas de campo, evaluación geológica detallada.

4.2.2. PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO DE CAMPO

En los trabajos de campo que se realizan ensayos de Refracción Sísmica, Medición de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanal MASW y la Medición de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanal Bidimensional MASW2D, primero se define el eje de la línea, luego se procede a instalar los geófonos y los cables de conexión al equipo de adquisición de datos. El espaciamiento entre geófonos es definido en función de la profundidad de exploración requerida y del área libre disponible en la zona de trabajo, El equipo utilizado cuenta con 24 geófonos con 10 m de espaciamiento máximo entre ellos, dando una longitud total máxima de 240 m.

REFRACCIÓN SÍSMICA (LRS):

Definida las líneas a realizarse en campo, se procede a armar e instalar el equipo sísmico definiendo intervalo entre geófonos de 3.0 m, número de disparos (3 registros) y metraje de los disparos, Usando 24 canales de adquisición.

LRS-01	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m
LRS-02	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m
LRS-03	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m
LRS-04	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m
LRS-05	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m
LRS-06	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m
LRS-07	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m
LRS-08	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m
LRS-09	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m
LRS-10	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m
LRS-11	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m
LRS-12	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m
LRS-13	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m
LRS-14	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m
LRS-15	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m

COORDENADAS DE LOS LINEAMIENTOS MASW

Ensayo	Ubicación	Este (ni)	Norte (m)	Cota (m)
LRS-01	INICIO	477982.57	8665446.70	3285.59
	FIN	477970.73	8665372.64	3285.59
LRS-02	INICIO	477971.95	8665400.66	3285.59
	FIN	477979.55	8665326.04	3285.59
LRS-03	INICIO	477998.11	8665373.63	3284.04
	FIN	478013.93	8665446.94	3284.04
LRS-04	INICIO	478113.12	8665405.62	3285.82
	FIN	478107.11	8665330.87	3285.94
LRS-05	INICIO	478068.20	8665434.71	3285.12
	FIN	478064.25	8665359.81	3285.45
LRS-06	INICIO	478152.55	8665326.82	3286.86
	FIN	478156.39	8665401.73	3288.08
LRS-07	INICIO	478057.74	8665278.90	3285.35
	FIN	478123.05	8665315.78	3287.74
LRS-08	INICIO	478079.60	8665248.20	3285.56
	FIN	478137.14	8665296.31	3286.86
LRS-09	INICIO	477994.15	8665313.29	3285.15
	FIN	478063.11	8665283.82	3285.46
LRS-10	INICIO	478002.18	8665457.22	3286.00
	FIN	478072.19	8665484.12	3286.01
LRS-11	INICIO	478053.92	8665505.59	3286.00
	FIN	477990.93	8665464.89	3286.00
LRS-12	INICIO	478126.14	8665517.78	3287.08
	FIN	478050.50	8665503.39	3286.00
LRS-13	INICIO	478147.39	8665467.97	3287.94
	FIN	478073.68	8665481.84	3286.00
LRS-14	INICIO	478136.32	8665445.96	3286.16
	FIN	478077.95	8665493.06	3290.94
LRS-15	INICIO	478012.13	8665218.57	3284.71
	FIN	47/965^2	8665277.49	3283.89

SONDAJE MASW

Se definen las líneas sísmicas a realizarse en campo, se procede a armar e instalar el equipo sísmico definiendo intervalo entre geófonos de 3.0 m, número de disparos (4 registros) y metraje de los disparos. Usando 24 canales de adquisición.

MASW-01	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW-02	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW-03	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW-04	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW-05	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW-06	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW-07	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW-08	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW-09	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW-10	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW-11	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW-12	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW-13	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW-14	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW-15	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.

COORDENADAS DE LOS PUNTOS MASW

ENSAYOS (PUNTO CENTRAL)	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
MASW-01	477976.65	8665409.81	3285.59
MASW-02	477975.75	8665363.35	3285.59
MASW-03	478006.02	8665410.43	3284.04
MASW-04	478110.11	8665368.39	3285.88
MASW-05	478066.23	8665397.26	3285.43
MASW-06	478154.47	8665364.42	3287.85
MASW-07	478090.40	8665297.49	3285.78
MASW-08	478108.37	8665272.40	3285.96
MASW-09	478028.63	8665298.70	3285.04
MASW-10	478037.18	8665470.67	3285.26
MASW-11	478022.42	8665485.38	3285.99
MASW-12	478087.15	8665510.54	3286.59
MASW-13	478110.53	8665475.05	3286.35
MASW-14	478107.13	8665469.65	3285.98
MASW-15	477988.93	8665248.03	3284.00

PERFIL MASW2D:

Se definen las líneas sísmicas a realizarse en campo, se procede a armar e instalar el equipo sísmico definiendo intervalo entre geófonos de 3.0 m, número de disparos (3 registros) y metraje de los disparos. Usando 24 canales de adquisición.

MASW2D-01	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW2D-02	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW2D-03	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW2D-04	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW2D-05	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW2D-06	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW2D-07	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW2D-08	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW2D-09	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW2D-10	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW2D-11	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW2D-12	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW2D-13	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW2D-14	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.
MASW2D-15	Intervalo de geófonos 3 m distancia total 75 m.

COORDENADAS DE LOS PUNTOS MASW 2D

Ensayo	Ubicación	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
MASW2D-01	INICIO	477982.57	8665446.70	3285.59
	FIN	477970.73	8665372.64	3285.59
MASW2D-02	INICIO	477971.95	8665400.66	3285.59
	FIN	477979.55	8665326.04	3285.59
MASW2D-03	INICIO	477998.11	8665373.63	3284.04
	FIN	478013.93	8665446.94	3284.04
MASW2D-04	INICIO	478113.12	8665405.62	3285.82
	FIN	478107.11	8665330.87	3285.94
MASW2D-05	INICIO	478068.20	8665434.71	3285.12
	FIN	478064.25	8665359.81	3285.45
MASW2D-06	INICIO	478152.55	8665326.82	3286.86
	FIN	478156.39	8665401.73	3288.08
MASW2D-07	INICIO	478057.74	8665278.90	3285.35
	FIN	478123.05	8665315.78	3287.74
MASW2D-08	INICIO	478079.60	8665248.20	3285.56
	FIN	478137.14	8665296.31	3286.86
MASW2D-09	INICIO	477994.15	8665313.29	3285.15
	FIN	478063.11	8665283.82	3285.46
MASW2D-10	INICIO	478002.18	8665457.22	3286.00
	FIN	478072.19	8665484.12	3286.01
MASW2D-11	INICIO	478053.92	8665505.59	3286.00
	FIN	477990.93	8665464.89	3286.00
MASW2D-12	INICIO	478126.14	8665517.78	3287.08
	FIN	478050.50	8665503.39	3286.00
MASW2D-13	INICIO	478147.39	8665467.97	3287.94
	FIN	478073.68	8665481.84	3286.00
MASW2D-14	INICIO	478136.32	8665445.96	3286.16
	FIN	478077.95	8665493.06	3290.94
MASW2D-15	INICIO	478012.13	8665218.57	3284.71
	FIN	477965.72	8665277.49	3283.89

4.2.3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Obtenido todos los registros de campo se procede a direccionarlas de Norte a Sur y de Este a Oeste, dependiendo la ubicación de cada perfil trazado en campo, seguidamente se procede al análisis de registros, procesamientos de datos y finalmente la interpretación de los perfiles sísmicos.

4.2.3.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA REFRACCIÓN SÍSMICA (LRS)

Con los registros de las ondas sísmicas obtenidas en cada una de las líneas de exploración realizadas, se determinaron las curvas tiempo distancia o dromocrónicas, las cuales representan las primeras llegadas de las ondas directas o refractadas a cada uno de los geófonos ubicados a distancias determinadas. Con esta información se realizó la interpretación de los perfiles sísmicos realizados en el estadio Huancayo correspondientes.

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-01

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico A-B de 75,0 m de longitud. Los resultados del análisis muestran la presencia de dos estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 381 m/s y 596 m/s, con un espesor variable de 4.16 m a 6.36 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente

compacto, El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 596 m/s y 1347 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 01

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-02

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico (3-1) de 75.0 m de longitud, Los resultados del análisis muestran la presencia de dos estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 369 m/s y 547 m/s, con un espesor variable de 4,75 m a 5.70 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 547 m/s y 1437 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder stratigráficamente a un depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 02

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-03

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico E-F de 75,0 m de longitud, Los resultados del análisis muestran la presencia

de dos estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 487 m/s y 832 m/s, con un espesor variable de 7.43 m a 8.67 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 832 m/s y 1730 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto, La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 03

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-04

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico G-H de 75,0 m de longitud. Los resultados del análisis muestran la presencia de dos estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 219 m/s y 782 m/s, con un espesor variable de 3.09 m a 8.00 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 782 m/s y 1666 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial

medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 04

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-05

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico I-J de 75.0 m de longitud. Los resultados del análisis muestran la presencia de dos estratos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 248 m/s y 468 m/s, con un espesor variable de 2.56 m a 4.74 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 468 m/s y 913 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 05.

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-06

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico K-L de 75.0 m de longitud. Los resultados del análisis muestran la presencia de dos estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 227 m/s y 484 m/s, con un espesor variable de 5.2 m a 7.52 m, Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno

superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 484 m/s y 1383 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 06

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-07

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico M-N de 75.0 m de longitud, Los resultados del análisis muestran la presencia de dos estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 230 m/s y 374 m/s, con un espesor variable de 1,63 m a 3.5 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto, El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 374 m/s y 749 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 07

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-08

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico 0-P de 75.0 m de longitud. Los resultados del análisis muestran la presencia de dos estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 267 m/s y 620 m/s, con un espesor variable de 3,76 m a 8.41 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 620 m/s y 1173 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 08

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-09

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico Q-R de 75.0 m de longitud. Los resultados del análisis muestran la presencia de dos estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 267 m/s y 538 m/s, con un espesor variable de 4.69 m a 6,18 m, Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 538 m/s y 876 m/s, valores que se incrementan

con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 09

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-10

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico S-T de 75.0 m de longitud. Los resultados del análisis muestran la presencia de dos estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 313 m/s y 567 m/s, con un espesor variable de 3,72 m a 5,58 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto, El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 567 m/s y 883 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 10

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-11

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico U-V de 75,0 m de longitud. Los resultados del análisis muestran la presencia de dos estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 251 m/s y 544 m/s, con un espesor variable de

2,97 m a 3.39 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto, El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 544 m/s y 1004 m/s, valores que se incrementan con la profundidad, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 11

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-12

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico W -X de 75.0 m de longitud, Los resultados del análisis muestran la presencia de dos estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 466 m/s y 661 m/s, con un espesor variable de 5.67 m a 6,26 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 661 m/s y 1343 m/s, valores que se incrementan con la profundidad, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 12

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-13

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico Y-Z de 75.0 m de longitud. Los resultados del análisis muestran la presencia de dos estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 280 m/s y 556 m/s, con un espesor variable de 3.18 m a 4.02 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 556 m/s y 1146 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 13

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-14

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico AA-AB de 75,0 m de longitud. Los resultados del análisis muestran la presencia de dos estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 294 m/s y 582 m/s, con un espesor variable de 2.31 m a 3.72 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (V_p) entre 582 m/s y 1159 m/s, valores que se

incrementan con la profundidad, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 14

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-15

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico AC-AD de 75.0 m de longitud. Los resultados del análisis muestran la presencia de dos estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P (V_p) entre 358 m/s y 570 m/s, con un espesor variable de 4.51 m a 5,02 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y llimos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P (H_p) entre 570 m/s y 1121 m/s, valores que se incrementan con la profundidad, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo de Perfiles sísmicos tomograficos N° 15

4.2.3.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS SONDAJES MASW

Los registros de las ondas sísmicas de los ensayos de ondas MASW y las curvas de dispersión respectivas. Esta información se utilizó para la interpretación de los modelos unidimensionales de velocidades de ondas de corte, cuya descripción se presenta a continuación.

SONDAJE MASW-01

Este perfil está conformado por el sondeo MASW-01, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 90.0 m. De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 217 m/s y 237 m/s, y cuyo espesor es de 3.2 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 284 m/s y 468 m/s, y cuyo espesor es de 16.9 m, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 522 m/s y 602 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial compacto a denso. La cual podemos observar en el anexo de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-01

SONDAJE MASW-02

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-02, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 30.0 m. De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos, El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (Vs) que varían entre 254 m/s y 261 m/s, y cuyo espesor es de 3.9 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compactos. El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (Vs) que varían entre 280 m/s y 377 m/s, y cuyo espesor es de 13.9 m. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (Vs) que varían entre 426 m/s y 488 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial compacto a denso. La cual podemos observar en el anexo de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-02

SONDAJE MASW-03

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-03, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 30.0 m. De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (Vs) que varían entre 267 m/s y 279 m/s, y cuyo espesor es de 2.6 m.

Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compactos. El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 307 m/s y 442 m/s, y cuyo espesor es de 21.8 m. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 488 m/s y 509 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial compacto a denso. La cual podemos observar en el anexo de Registro de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-03

SONDAJE MASW-04

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-04, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 30.0 m, De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 320 m/s y 348 m/s, y cuyo espesor es de 6,1 m, Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 384 m/s y 486 m/s, y cuyo espesor es de 12.9 m, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial

medianamente compacto a compacto. El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 496 m/s y 526 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial compacto a denso. La cual podemos observar en el anexo de Registro de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-04

SONDAJE MASW-05

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-05, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 30.0 m. De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 230 m/s y 254 m/s, y cuyo espesor es de 3.9 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 291 m/s y 442 m/s, y cuyo espesor es de 14.6 m, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto, El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 473 m/s y 541 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial compacto a denso. La cual podemos observar en el anexo de Registro de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-05

SONDAJE MASW-06

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-06, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 30.0 m. De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 274 m/s y 289 m/s, y cuyo espesor es de 4.3 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 314 m/s y 461 m/s, y cuyo espesor es de 12.8 m, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto, El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 498 m/s y 620 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial compacto a denso. La cual podemos observar en el anexo de Registro de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-06

SONDAJE MASW-07

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-07, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 30,0 m. De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 223 m/s y 248 m/s, y cuyo espesor es de 4.3 m,

Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 263 m/s y 463 m/s, y cuyo espesor es de 20,6 m. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto, El tercer estrato presenta un valor de velocidad de ondas S (V_s) de 532 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial compacto a denso. La cual podemos observar en el anexo de Registro de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-07

SONDAJE MASW-08

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-08, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 30.0 m, De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 291 m/s y 294 m/s, y cuyo espesor es de 4.8 m, Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 318 m/s y 410 m/s, y cuyo espesor es de 18.4 m, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial

medianamente compacto a compacto. El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 455 m/s y 476 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial compacto a denso. La cual podemos observar en el anexo de Registro de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-08

SONDAJE MASW-09

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-09, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 30.0 m. De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 204 m/s y 232 m/s, y cuyo espesor es de 4,2 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 243 m/s y 402 m/s, y cuyo espesor es de 20.1 m. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto, El tercer estrato presenta valor de velocidad de ondas S (V_s) de 411 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial compacto a denso. La cual podemos observar en el anexo de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-09

SONDAJE MASW-10

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-10, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 30.0 m, De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 203 m/s y 285 m/s, y cuyo espesor es de 5.1 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto, El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 300 m/s y 394 m/s, y cuyo espesor es de 8.7 m, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 432 m/s y 444 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial compacto a denso. La cual podemos observar en el anexo de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-10

SONDAJE MASW-11

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-11 con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 30,0 m. De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 249 m/s y 266 m/s, y cuyo espesor es de 5,2 m,

Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 306 m/s y 408 m/s, y cuyo espesor es de 14.9 m. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 437 m/s y 494 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial compacto a denso. La cual podemos observar en el anexo de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-11

SONDAIE MASW-12

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-12, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 30.0 m. De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 290 m/s y 305 m/s, y cuyo espesor es de 3.7 m. Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 352 m/s y 476 m/s, y cuyo espesor es de 8.1 m. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial

medianamente compacto a compacto. El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 500 m/s y 673 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial compacto a denso. La cual podemos observar en el anexo de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-12

SONDAJE MASW-13

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-13, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 30.0 m, De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 270 m/s y 290 m/s, y cuyo espesor es de 4.0 m, Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto, El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 332 m/s y 407 m/s, y cuyo espesor es de 8,7 m. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 439 m/s y 569 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial compacto a denso. La cual podemos observar en el anexo de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-13

SONDAJE MASW-14

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-14, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 30.0 m, De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (Vs) que varían entre 211 m/s y 296 m/s, y cuyo espesor es de 4.4 m, Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (Vs) que varían entre 340 m/s y 423 m/s, y cuyo espesor es de m, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (Vs) que varían entre 437 m/s y 551 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial a denso. La cual podemos observar en el anexo de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-14

SONDAJE MASW-15

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-15, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 30,0 m. De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de tres estratos, El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (Vs) que varían entre 257 m/s y 275 m/s, y cuyo espesor es de 4.4 m.

Estratigráficamente este estrato superficial estaría conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 288 m/s y 442 m/s, y cuyo espesor es de 12.6 m, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto, El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) que varían entre 495 m/s y 587 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad, Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial compacto a denso. La cual podemos observar en el anexo de Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-15

4.2.5.3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS SONDAJES MASW2D

Con los registros de las ondas sísmicas obtenidas en cada una de las líneas de exploración realizadas, se determinaron las curvas de dispersión. Esta información se utilizó para la interpretación de los modelos bidimensionales de velocidades de ondas de corte, cuya descripción se presenta a continuación.

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-01

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 2D - 01 de 75.0 m de longitud, La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico A"B, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 249 y 378 m/s, con un espesor variable de 3,73 m a 6,85 m. Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compactos. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas S (V_s) de entre 378 m/s y 462 m/s, incrementándose con la profundidad. Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondeos MASW2D - 01

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-02

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 2D - 02 de 75,0 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico C-D, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 246 y 296 m/s, con un espesor variable de 4.42 m a 6,12 m.

Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto, El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas S (V_s) de entre 296 m/s y 478 m/s, incrementándose con la profundidad. Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D - 02

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-03

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 2D - 03 de 75,0 m de longitud, La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico E-F, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 286 y 362 m/s, con un espesor variable de 7.55 m a 8.12 m. Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos

medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas S (V_s) de entre 362 m/s y 625 m/s, incrementándose con la profundidad. Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D - 03

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-04

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 2D-04 de 75.0 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico G-H, el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 326 y 376 m/s, con un espesor variable de 4.84 m a 5,75 m. Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas S (V_s) de entre 376 m/s y 499 m/s, incrementándose con la profundidad. Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D – 04

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-05

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 2D - 05 de 75.0 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico 1-J el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 220 y 266 m/s, con un espesor variable de 4.63 m a 5.76 m, Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas S (V_s) de entre 266 m/s y 368 m/s, incrementándose con la profundidad. Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D - 05

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-06

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 2D-06 de 75,0 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico K-L el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 245 y 294 m/s, con un espesor variable de 3.03 m a 4.35 m, Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades

de propagación de ondas S (V_s) de entre 294 m/s y 471 m/s, incrementándose con la profundidad, Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D - 06

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-07

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 2 D -07 de 75.0 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico IVI-N el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 223 y 254 m/s, con un espesor variable de 3.8 m a 4.91 m. Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas S (V_s) de entre 254 m/s y 400 m/s, incrementándose con la profundidad, Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D - 07

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-08

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 2D -08 de 75.0 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico 0-P el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 270 y 300 m/s, con un espesor variable de 6,28 m a 6.81 m, Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas S (V_s) de entre 300 m/s y 352 m/s, incrementándose con la profundidad. Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D - 08

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-09

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 2D -09 de 75.0 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico Q-R el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 192 y 248 m/s, con un espesor variable de 4.92 m a 5.98 m. Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades

de propagación de ondas S (V_s) de entre 248 m/s y 342 m/s, incrementándose con la profundidad. Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D - 09

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-10

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 2D-10 de 75.0 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico S-T el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos, El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 250 y 305 m/s, con un espesor variable de 5.29 m a 7,49 m, Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas S (V_s) de entre 305 m/s y 405 m/s, incrementándose con la profundidad. Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D - 10

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-11

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 2D -11 de 75.0 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico 1-J'V el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos, El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 240 y 282 m/s, con un espesor variable de 5.51 m a 5.84 m. Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas S (V_s) de entre 282 m/s y 427 m/s, incrementándose con la profundidad. Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D - 11

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-12

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 2D-12 de 75.0 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico W-X el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 270 y 320 m/s, con un espesor variable de 3.47 m a 4,30 m. Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades

de propagación de ondas S (V_s) de entre 320 m/s y 457 m/s, incrementándose con la profundidad, Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D - 12

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-13

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 21D - 13 de 75.0 m de longitud de La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico Y-Z el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos, El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 247 y 305 m/s, con un espesor variable de 4.26 m a 6,08 m. Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas S (V_s) de entre 305 m/s y 527 m/s, incrementándose con la profundidad, Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D – 13

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-14

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 2D-14 de 75,0 m de longitud. La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico AA-AB el cual muestra la presencia de dos estratos sísmicos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 262 y 325 m/s, con un espesor variable de 2.87 m a 4.54 m. Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto. El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas S (V_s) de entre 325 m/s y 565 mis, incrementándose con la profundidad. Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D - 14

PERFIL SÍSMICO LÍNEA MASW-2D-15

Este perfil está conformado por la línea sísmica MASW 2D -15 de 75.0 m de longitud, La interpretación de estos ensayos genera el perfil sísmico AC-AD el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S (V_s) entre 273 y 312 m/s, con un espesor variable de 3,85 m a 6,25 m. Estratigráficamente está conformado por un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compactos. El segundo estrato presenta velocidades

de propagación de ondas S (V_s) de entre 312 m/s y 441 m/s, incrementándose con la profundidad, Dichas velocidades corresponderían estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto. La cual podemos observar en el anexo Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D – 15

4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS

En la teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996), la velocidad de las ondas P y S se representan en forma de ecuación de movimiento para un cuerpo elástico isotrópico de la siguiente manera:

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Dónde:

V_p : Velocidad de ondas de compresión

V_s : Velocidad de ondas de corte i: Constante de Lamé p: Rigidez p:

Densidad

Relacionando las velocidades de ondas de corte, ondas de compresión y la densidad de los materiales por donde se propagan las ondas se pueden obtener los siguientes parámetros elásticos:

Relación de Poisson (ν)
$$\nu = \frac{(V_p / V_s)^2 - 2}{2(V_p / V_s)^2 - 2}$$

Módulo de Young (E_d)

$$E_d = 2(1 + \nu)G$$

Módulo de Corte (G_{max})

$$G_{max} = \rho V_s^2$$

Para las zonas de trabajo, los ensayos geofísicos proporcionaron la velocidad de ondas de P (V_p) y de corte (V_s) del perfil estratigráfico. Por su parte para estimar la densidad de los materiales se asumieron valores característicos, lo cual permitió, mediante el empleo de las formulaciones antes indicadas, obtener los parámetros elásticos de las zonas de estudio, se tomó los resultados de las líneas geofísicas LRS—05/ MASW— 05; LRS-06/ MASW-06; LRS-08/ MASW-08; LRS-II/ MASW-II para el cálculo de estos parámetros. Los resultados obtenidos se puede observar en las siguientes tablas N°4, N°5, N°6

(LRS-05/MASW-05)

SUELO	Prof.(m)	Espesor de estrato	Vs (m/s)	Vp (m/s)	P (Tn/m3)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Gmáx (Tn/m2)	Emáx (n/m2)	E=0.1*Emáx (Tn/m2)
Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto.	3.9	3.9	230	468	1.80	2.03	0.34	9706.42	26028.38	2602.84
Depósito aluvial medianamente compacto a compacto.	8.2	4.3	442	840	1.80	1.90	0.31	35846.61	93814.53	9381.45
Depósito aluvial medianamente compacto a compacto.	13.7	5.5	470	877	1.80	1.87	0.30	40532.11	105264.47	10526.46
Depósito aluvial medianamente compacto a compacto.	18.5	4.8	480	913	1.90	1.90	0.31	44623.85	116826.03	11682.60
Depósito aluvial compacto a denso.	22.1	3.6	528		1.90			53994.86		
Depósito aluvial compacto a denso.	27.8	5.7	541		1.90			56686.43		

Tabla N°4, Parámetros elásticos LRS-05/MASW-05

(LRS-06/MASW-06)

SUELO	Prof.(m)	Espesor de estrato	Vs (m/s)	Vp (m/s)	P (Tn/m3)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Gmáx (Tn/m2)	Emáx (n/m2)	E=0.1*Emáx (Tn/m2)
Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto.	4.3	4.3	289	677	1.80	2.34	0.39	15324.95	42559.90	4255.99
Depósito aluvial medianamente compacto a compacto.	9.2	4.9	398	934	1.80	2.35	0.39	29064.95	88746.24	8874.62
Depósito aluvial medianamente compacto a compacto.	17.1	7.9	461	1127	1.80	2.44	0.40	38994.68	109148.25	10914.83
Depósito aluvial compacto a denso.	18.9	1.8	498		1.9			48033.39		
Depósito aluvial compacto a denso.	20.8	1.9	502		1.9			48808.11		
Depósito aluvial compacto a denso.	22.8	2.0	542		1.9			56896.19		

Tabla N°5, Parámetros elásticos LRS-06/MASW-06

(LRS-08/MASW-08)

SUELO	Prof.(m)	Espesor de estrato	Vs (m/s)	Vp (m/s)	P (Tn/m3)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Gmáx (Tn/m2)	Emáx (n/m2)	E=0.1*Emáx (Tn/m2)
Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto.	4.8	4.8	292	548	1.80	1.88	0.33	15644.77	40731.11	4073.11
Depósito aluvial medianamente compacto a compacto.	10.3	5.5	324	613	1.80	1.89	0.31	19261.65	50317.95	5031.80
Depósito aluvial medianamente compacto a compacto.	15.3	5.0	334	677	1.80	2.03	0.34	20468.99	54822.15	5482.21
Depósito aluvial medianamente compacto a compacto.	23.2	7.9	410	934	1.90	2.28	0.38	32557.59	89901.56	8990.16
Depósito aluvial compacto a denso.	25.4	2.2	455		1.90			40096.59		
Depósito aluvial compacto a denso.	27.6	2.2	466		1.90			42058.76		

Tabla N°6, Parametros elásticos LRS-08/MASW-08

(LRS-11/MASW-11)

SUELO	Prof.(m)	Espesor de estrato	Vs (m/s)	Vp (m/s)	P (Tn/m3)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Gmáx (Tn/m2)	Emáx (n/m2)	E=0.1*Emáx (Tn/m2)
Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto.	5.2	5.2	266	544	1.75	2.05	0.34	12622.12	33900.24	3390.02
Depósito aluvial medianamente compacto a compacto.	10.3	5.1	394	753	1.75	1.91	0.31	27692.46	72637.48	7263.75
Depósito aluvial medianamente compacto a compacto.	14.8	4.5	397	837	1.75	2.11	0.35	28115.77	76185.95	7618.60
Depósito aluvial medianamente compacto a compacto.	20.1	5.3	480	963	1.80	2.36	0.39	30543.85	84949.45	8494.94
Depósito aluvial compacto a denso.	22.0	1.9	437		1.80			35040.18		
Depósito aluvial compacto a denso.	23.9	1.9	442		1.80			35846.61		

Tabla N°7, Parametros elásticos LRS-11/MASW-11

Relacionando las velocidades de ondas de corte, ondas de compresión y la densidad de los materiales por donde se propagan las ondas se obtuvo los parámetros dinámicos mostrados en los cuadros anterior, Tanto Gmax como Ed son valores máximos, evaluados para deformaciones angulares (γ) del orden de 10-4%. Sin embargo, se ha encontrado que la deformación angular promedio en cimentaciones (condiciones estáticas) es de alrededor de 10-1 %. Por lo tanto, para estimar asentamientos en suelos partiendo de parámetros elásticos máximos (Gmax y Ed), hay que reducirlos, En consecuencia, para el análisis de asentamiento de zapatas y losas de cimentación es conveniente que se use el Módulo de Corte y el Módulo de Young que corresponden a un valor del 10% de los valores máximos.

4.3.1 CLASIFICACIÓN DEL SITIO (FUENTE IBC, 2012)

Los sondajes MASW-01, MASW-02, MASW-03, MASW-04, MASW-05, MASW-06, MASW-07, MASW-08, MASW-09, MASW-10, MASW-11, MASW-12, MASW-13, MASW—14 y MASW—15, ejecutados para el proyecto, se ha calculado la velocidad promedio de ondas de corte de los primeros 30 metros de investigación (vs30) de acuerdo a los lineamientos establecidos en el código International Building Code (IBC, 2012), con el propósito de caracterizar sísmicamente el tipo de suelo en función de los perfiles unidimensionales de ondas de corte obtenidos de la ejecución de los sondajes geofísicos MASW. De acuerdo a esta normativa, se clasifica los suelos en 6 clases, tal como se presenta en Cuadro 4, esta clasificación ha sido definida en función a la velocidad de ondas de corte promedio de un estrato de 30 m de profundidad que se calcula de acuerdo a la siguiente relación:

$$VS30 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n v_{si}}$$

d1 : Espesor de cada capa entre 0.0 m y 30.0 m

v : Velocidad de ondas de corte de cada capa (m/s)

TIPO DE SUELO	NOMBRE DE SUELO	PROPIEDADES PROMEDIO EN LOS 30 PRIMEROS METROS, VER SECCIÓN 1613.5.5		
		Velocidad de onda de corte, \bar{V}_s (m/s)	Resistencia a la penetración estándar, \bar{N}	Resistencia al corte no drenada, \bar{S}_H (psf)
A	Roca muy dura	$\bar{V}_s > 1,500$	N/A	N/A
B	Roca	$760 < \bar{V}_s \leq 1,500$	N/A	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < \bar{V}_s \leq 760$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_H \geq 2,000$
D	Suelo rígido	$180 \leq \bar{V}_s \leq 360$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$1,000 \leq \bar{S}_H \leq 2,000$
E	Suelo blando	$\bar{V}_s < 180$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_H < 1,000$
E	-	Cualquier perfil de suelo con más de 3 m de espesor que tenga las siguientes características: 1. Índice de plasticidad (IP) > 20 2. Contenido de humedad (w) $\geq 40\%$ y 3. Resistencia al corte no drenada $\bar{S}_H < 500$ psf		
F	-	Cualquier perfil de suelo que contenga una o más de las siguientes características: 1. Suelos vulnerables a una posible fractura o colapso bajo efecto sísmico, por ejemplo: suelos licuables, arcillas altamente sensibles y suelos débilmente cementados. 2. Turbas y/o arcillas altamente orgánicas (H > 3 m de turba y/o arcillas altamente orgánicas, donde H = espesor del suelo) 3. Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.6 m con índice de plasticidad IP > 75) 4. Arcillas gruesas suaves a medias (H > 36 m)		

Nota: 1 libra por pie cuadrado (psf) = 0.0479 kPa. N/A = No aplicable

Tabla N°8, Clasificación del sitio (fuente IBC,2012)

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

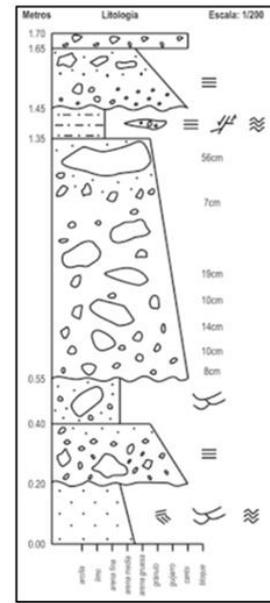
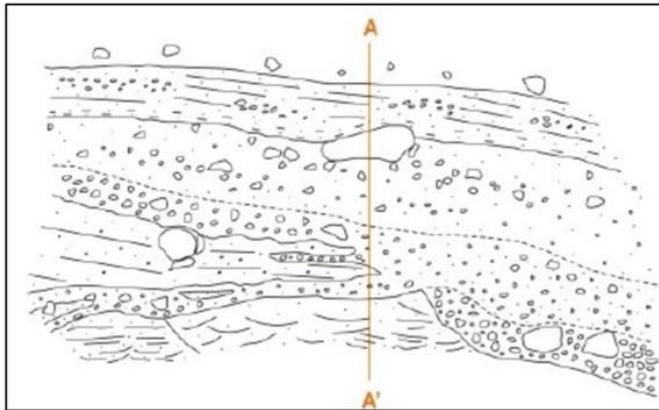
Los resultados muestran que el comportamiento dinámico del suelo en el área de estudio de los sondajes MASW-01, MASW-03, IVIASW-04, MASW-05, MASW-06, MASW-08, MASW-11, MASW-12, MASW-13, MASW-14 y MASW-15, corresponde a un suelo Tipo C (Suelo Muy Denso o Roca Blanda), cuyas velocidades promedio de ondas de corte vs30 se encuentran en el rango de 360 m/s y 760 m/s.

Por otro lado, los sondajes MASW-02, MASW-07, MASW-09 y MASW-10, corresponde a un suelo Tipo D (Suelo rígido), cuyas velocidades promedio de ondas de corte vs30 se encuentran en el rango de 180 m/s y 360 m/s.

Los valores exactos de este cálculo se aprecian en la tabla N°9.

SONDAJE	VS30 (m/s)	TIPO DE SUELO	NOMBRE DEL TIPO DE SUELO
			(IBC,2012)
MASW-01	389.3	C	Suelo muy denso a roca blanda
MASW-02	325.6	D	Suelo rígido
MASW-03	396.9	C	Suelo muy denso a roca blanda
MASW-04	444.9	C	Suelo muy denso a roca blanda
MASW-05	393.4	C	Suelo muy denso a roca blanda
MASW-06	428.3	C	Suelo muy denso a roca blanda
MASW-07	352.6	D	Suelo rígido
MASW-08	362.1	C	Suelo muy denso a roca blanda
MASW-09	317.6	D	Suelo rígido
MASW-10	356.7	D	Suelo rígido
MASW-11	373.5	C	Suelo muy denso a roca blanda
MASW-12	483.5	C	Suelo muy denso a roca blanda
MASW-13	421.5	C	Suelo muy denso a roca blanda
MASW-14	411.4	C	Suelo muy denso a roca blanda
MASW-15	408.2	C	Suelo muy denso a roca blanda

Tabla N°9, Velocidad promedio de ondas de corte a 30 metros de profundidad (Vs-30)



SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA	ESPEZOR (m)	LITOLÓGIA	DESCRIPCIÓN
CUATERNARIO	HOLOCENA	Depósitos aluviales			Arenas, gravas y limos.
	PLEISTOCENA	Depósitos glaciares			Morrenas
NEÓGENO	PLIOCENA	Formación Matafuta	50		Capas lacustrinas arenas y limos poco consolidadas.
		Formación Ushino	100		Conglomerados fluviales.
		Formación Inghuasi	50		Tobas blancas calcáreas. Disc. eros.
		Formación Yanacancha	250		Lavas, brechas, conglomerados andesíticos.



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

“LA REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL MEJORAMIENTO DEL ESTADIO HUANCAYO”

PLANO: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL ESTADIO HUANCAYO

ELABORADO: NEUCIR E. CARHUALLANQUI MANRIQUE

FECHA: JUL. 2019	DATUM: D_WGS_1984	FUENTE: INGEMMET	ESCALA: 1:50000	Nº 27
---------------------	----------------------	---------------------	--------------------	-------

CONCLUSIONES

- Los ensayos de esta evaluación consistieron en la ejecución de ensayos de Refracción Sísmica, MASW (Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal) y MASW2D (Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal Bidimensional) para determinar las velocidades de propagación de las ondas "P" y ondas "S". La evaluación geofísica tiene como propósito determinar la profundidad de cimentación del estadio
- De acuerdo al análisis cualitativo de todos los perfiles, ubicación de las mismas y con las pendientes identificadas apoyados con el estudio geológico de la zona se clasificaron e identificaron los estratos en cada perfil y/o sección.
- En la zona de estudio, se realizaron 1125 m de ensayos de Refracción Sísmica distribuidos en 15 líneas, 1125 m de ensayos MASW distribuidos en 15 líneas y 1125 m de ensayos MASW2D distribuidos en 15 líneas, cada una de ellas convenientemente distribuidas en el área de estudio.

ZONA OESTE

- (LRS-01/MASW-01, LRS-02/MASW-02, LRS-03/MASW-03)

Los resultados de la zona oeste son determinado por los sondajes y la líneas sísmicas LRS-03/MASW-03, los cuales registran de forma consistente la presencia superficial de un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto, con velocidades de ondas P (V_p) entre 487 m/s

y 832 m/s, y con velocidades de ondas S (V_s) entre 286 m/s y 362 m/s, con un espesor que varía entre 7.55m y 8.12 m.

Y un segundo estrato se podría encontrar un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto, con velocidades de ondas S (V_s) entre 362 m/s y 625 m/s, con valores que aumentan con la profundidad.

Las líneas elaboradas en esta zona fueron realizadas sobre cemento por lo cual se da la presencia de una velocidad mayor a los 0.8 centímetros seguido de un descenso, lo que indicaría la caracterización del cemento para luego seguir la caracterización del suelo en los lugares donde se realizó las líneas sísmicas lo cual se puede observar en los anexos de MASW.

ZONA ESTE

- (LRS-04/MASW-04; LRS-05/MASW-05; LRS-06/MASW-06)

Los resultados de la zona este son determinado por los sondajes y la líneas sísmicas LRS-06/MASW-06, las cuales registran de forma consistente la presencia superficial de un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto, con velocidades de ondas P (V_p) entre 227 m/s y 484 m/s, y con velocidades de ondas S (V_s) entre 245 m/s y 294 m/s, con un espesor que varía entre 3.03 m y 4.35 m.

Y un segundo estrato se podría encontrar un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto, con velocidades de ondas S (V_s) entre 294 m/s y 471 m/s, con valores que aumentan con la profundidad.

ZONA SUR

- (LRS-07/MASW-07; LRS-08/MASW-08; LRS-09/MASW-09; LRS-15/MASW-15)

Los resultados de la zona sur son determinados por los sondajes y la línea sísmica, LRS-08/MASW-08, registran de forma consistente la presencia superficial de un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto, con velocidades de ondas P (V_p) entre 267 m/s y 620 m/s, y con velocidades de ondas S (V_s) entre 270 m/s y 300 m/s, con un espesor que varía entre 6.28 m y 6.81 m.

Y un segundo estrato se podría encontrar un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto, con velocidades de ondas S (V_s) entre 300 m/s y 352 m/s, con valores que aumentan con la profundidad.

La anomalía principal determinada en esta zona es caracterizada por los sondajes LRS15/MASW-15 que muestra un mayor aumento en su tercer estrato llegando a velocidades sísmicas más altas, lo que indicaría que a esa profundidad se encontraría un material más rígido a diferencia de los otros sondajes.

ZONA NORTE

- (LRS-10/MASW-10; LRS-II/MASW-11; LRS-12/MASW-1X LRS-13/MASW-13; LRS- 14/MASW-14)

Los resultados de la zona norte son determinado por los sondajes y la líneas sísmicas LRS-13/MASW-13, registran de forma consistente la presencia superficial de un Material conformado por un relleno superficialmente, a matriz arcillosa con grava y limos medianamente compacto, con velocidades de ondas P (V_p) entre 280 m/s y 556 m/s, y con velocidades de ondas S (V_s) entre 247 m/s y 305 m/s, con un espesor que varía entre 4.26 m y 6.08 m.

Y un segundo estrato se podría encontrar un Depósito aluvial medianamente compacto a compacto, con velocidades de ondas S (V_s) entre 305 m/s y 527 m/s, con valores que aumentan con la profundidad.

Los sondajes y las líneas sísmicas LRS-II/MASW-II, a diferencia de las otras líneas elaboradas en la zona norte muestra la presencia de un material diferente caracterizando por tener menor rigidez lo que provocarían velocidades sísmicas menores, lo que indicaría que el lugar donde se realizó las líneas sísmicas tendrían una caracterización geológica diferente.

En la dirección Norte, se muestra una menor compacidad superficial, que podría indicar estratos blandos entre estratos rígidos, así mismo estos estratos podrían estar relacionado con una posible saturación.

- Los ensayos realizados en la zona de estudio, se observa que la clasificación del suelo de acuerdo al International Building Code (IBC, 2012), corresponden a un suelo Tipo C (Suelo Muy Denso o Roca Blanda) y a un suelo Tipo D (Suelo Rígido), Como se muestra en el siguiente cuadro.

RECOMENDACIONES

- Los ensayos de Refracción Sísmica son análisis indirectos que tiene un grado de aproximación aceptable, sin embargo, requiere de algunas verificaciones mediante perforaciones para determinar su grado de precisión.
- Se recomienda hacer las cimentaciones LRS-05/MASW-05 a partir de los 22.1m, debido a que a partir de dicha profundidad encontramos un depósito aluvial compacto a denso.
- Se recomienda hacer las cimentaciones LRS-06/MASW-06 a partir de los 18.9m, debido a que a partir de dicha profundidad encontramos un depósito aluvial compacto a denso.
- Se recomienda hacer las cimentaciones LRS-08/MASW-08 a partir de los 25.4m, debido a que a partir de dicha profundidad encontramos un depósito aluvial compacto a denso.
- Se recomienda hacer las cimentaciones LRS-11/MASW-11 a partir de los 22.0m, debido a que a partir de dicha profundidad encontramos un depósito aluvial compacto a denso.
- Las conclusiones del presente informe son aplicables sólo y exclusivamente para las áreas de estudio.

BIBLIOGRAFIA

Astier, J., L. (1975), "Geofísica Aplicada a la Hidrogeología" PARANINFO, Madrid, España.

Ayashi, K (2003), "Data Acquisition and Analysis of Active and Passive Surface Wave Methods". Short course SAGEEP 2003.

CISMID (1991), "Memorias del Seminario Taller de Dinámica de Suelos". Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Figuerola, J., C. (1974), "Tratado de Geofísica aplicada LITOPRINT", Madrid.

International Building Code, (2012).

Kramer, S. L, (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.

Park, C, Miller, R. y Ma, J. 1999, "Multichannel analysis of surface waves". Geophysics. Vol. 64. NO 3. p: 800-808.

Park., C.B., R. D. Miller, and J. Xia, Julian M. (1999), Multichannel Analysis of Surface Waves to Map Bedrock, Kansas Geological Survey, Lawrence, Kansas, U.S.

Park, C., Miller, R., Xia, J., & Ivanov, J. 2001a. "Seismic characterization of geotechnical Sites by Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) method". Tenth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE), Philadelphia.

Redpath, B., B. (1973), "Seismic Refraction Exploration for Engineering Site Investigations" Explosive Excavation Research Laboratory Livermore, California, U.S.A.

U. S. Army Corps of Engineers, (1995), "Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations", Engineer Manual 1110-1-1802, Washington, U. S. A.

Underwood, De; Hayashi, K. (2006), Surface Wave data Acquisition and Field Methods,

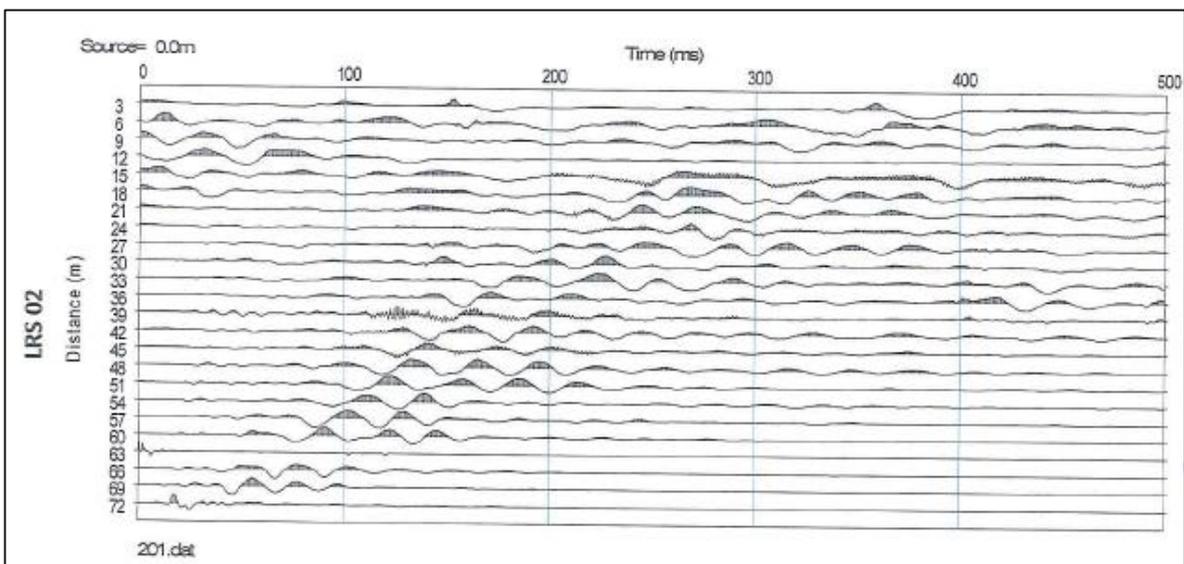
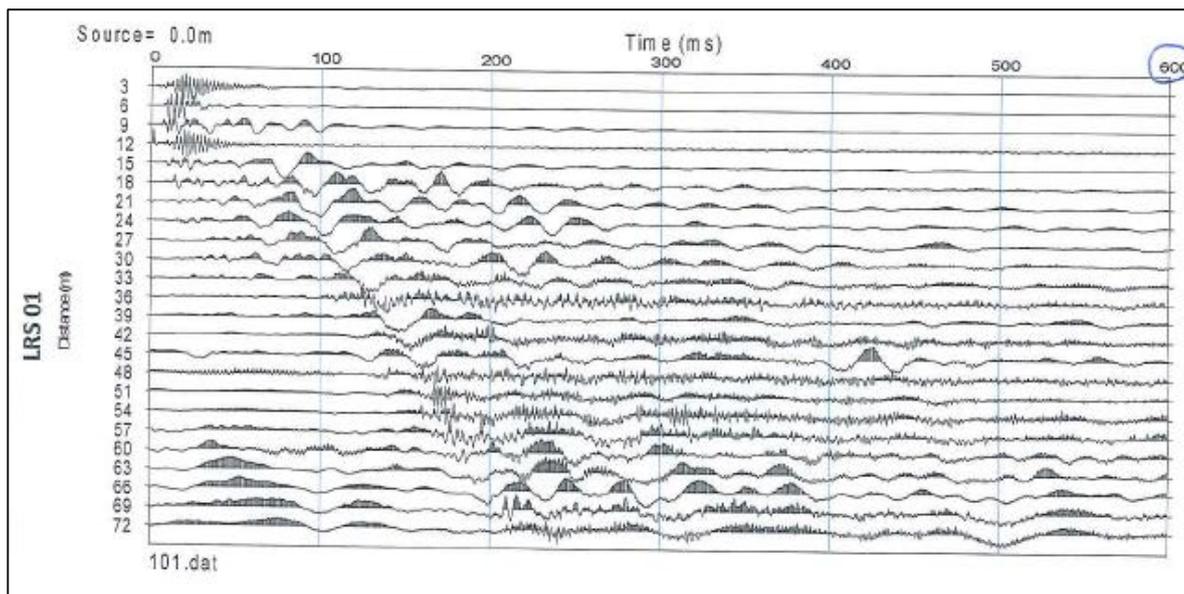
Geometrics Inc, U.S.

ANEXOS

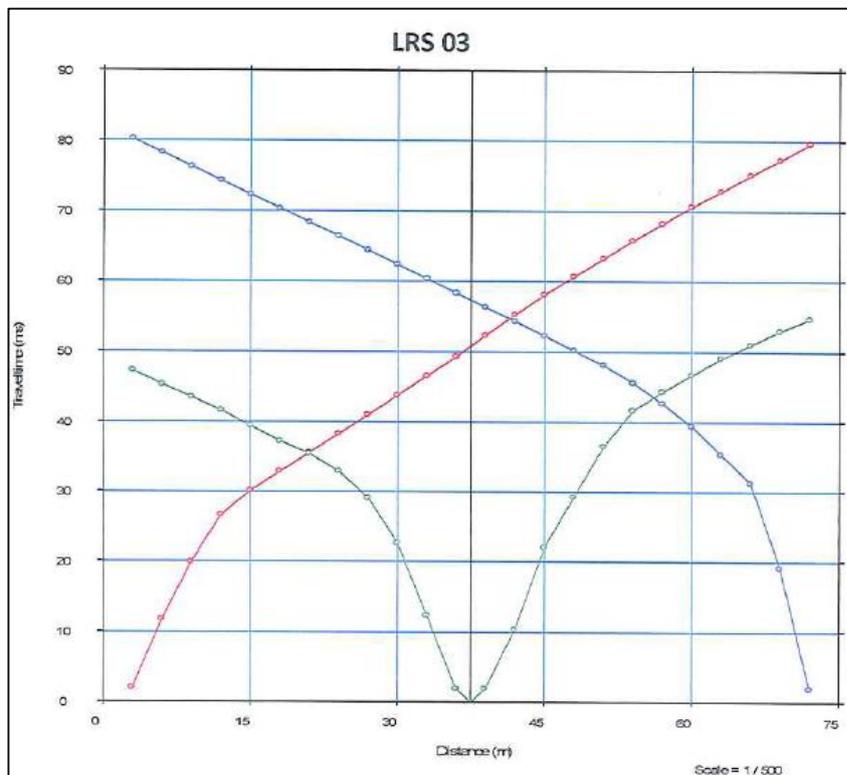
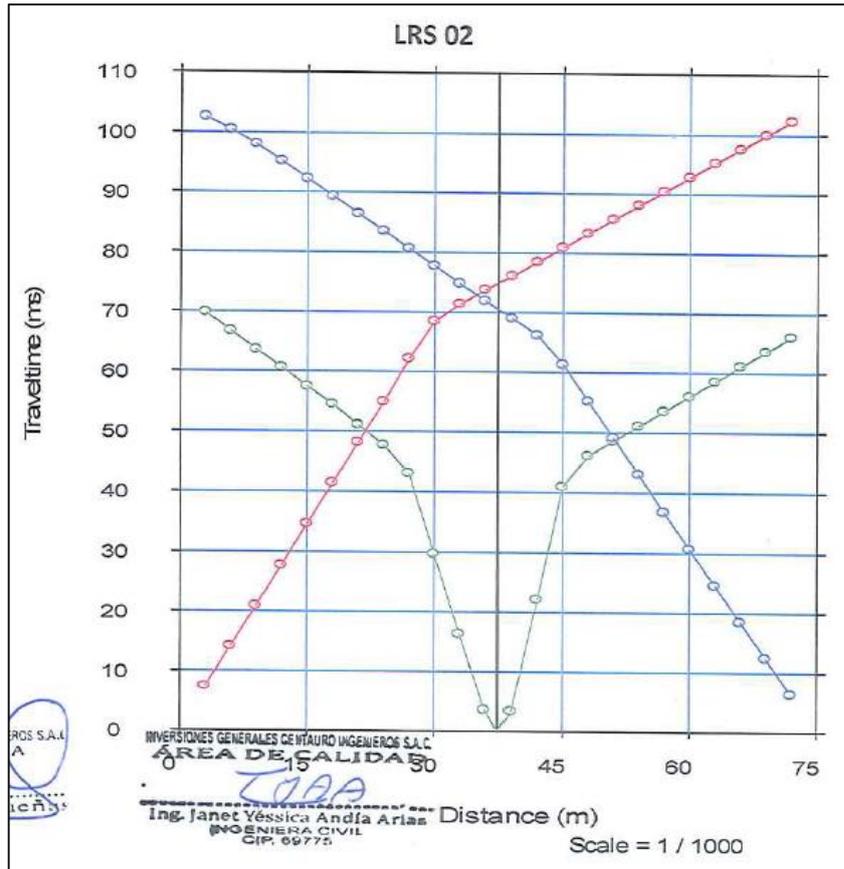


Sismógrafo de 24 canales, marca Geometrics, modelo GEODE

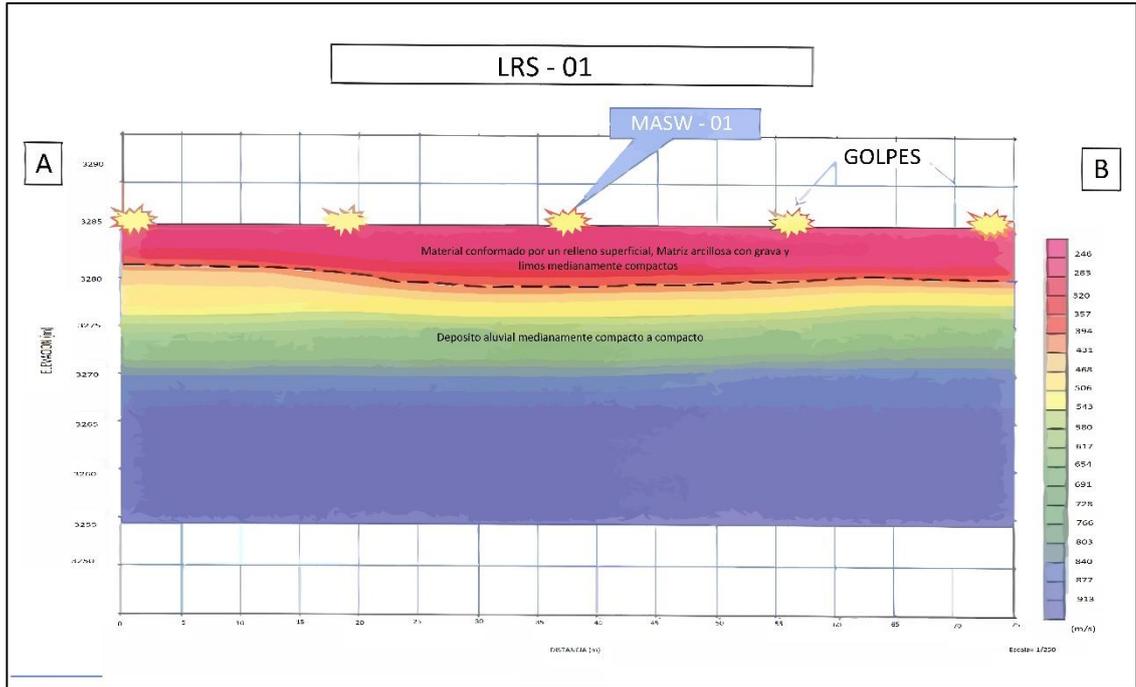




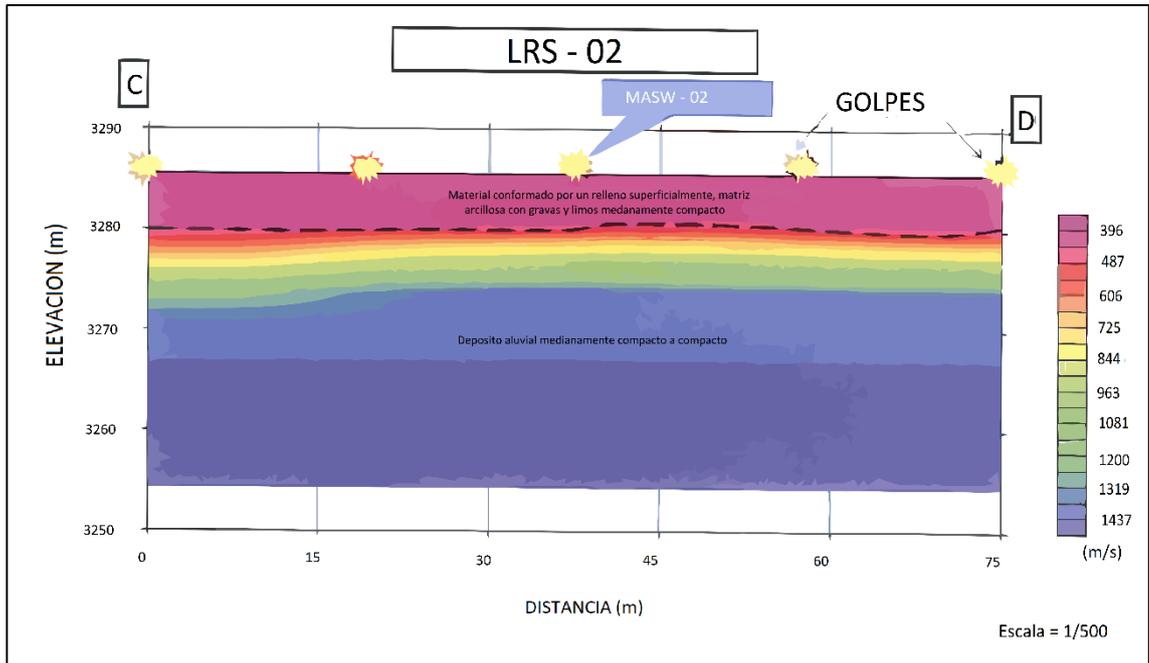
Registro de ondas sísmica - Ensayos geofísicos – Refracción sísmica



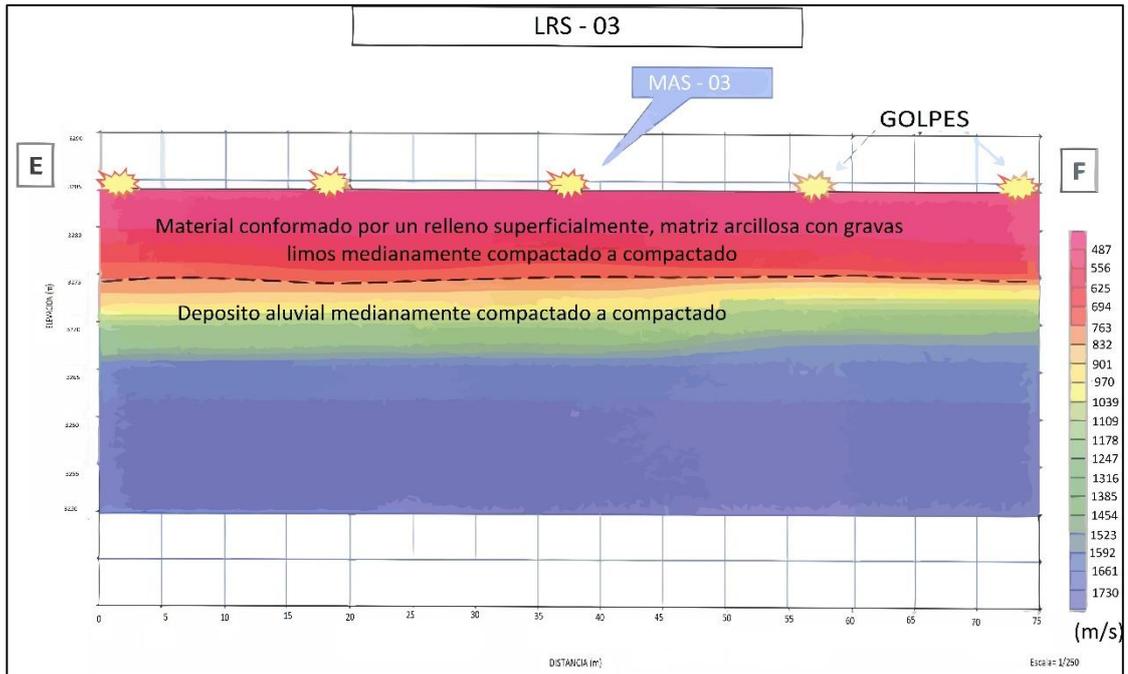
Domocronas ensayos de refraccion sismica



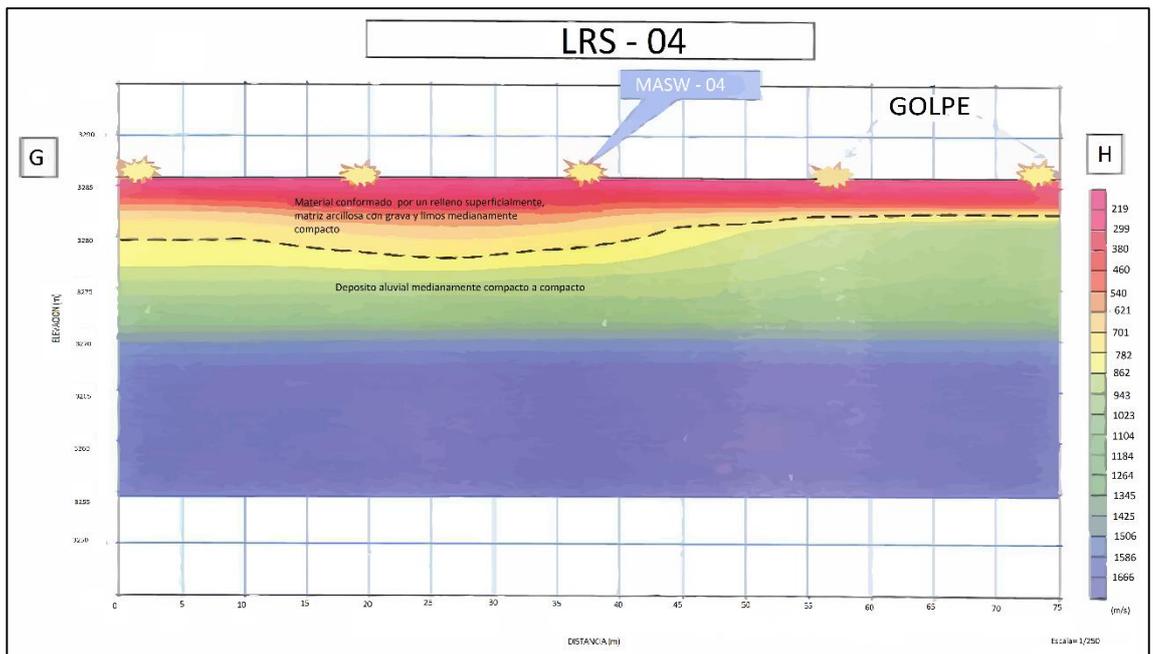
Perfiles sísmicos tomograficos N° 01



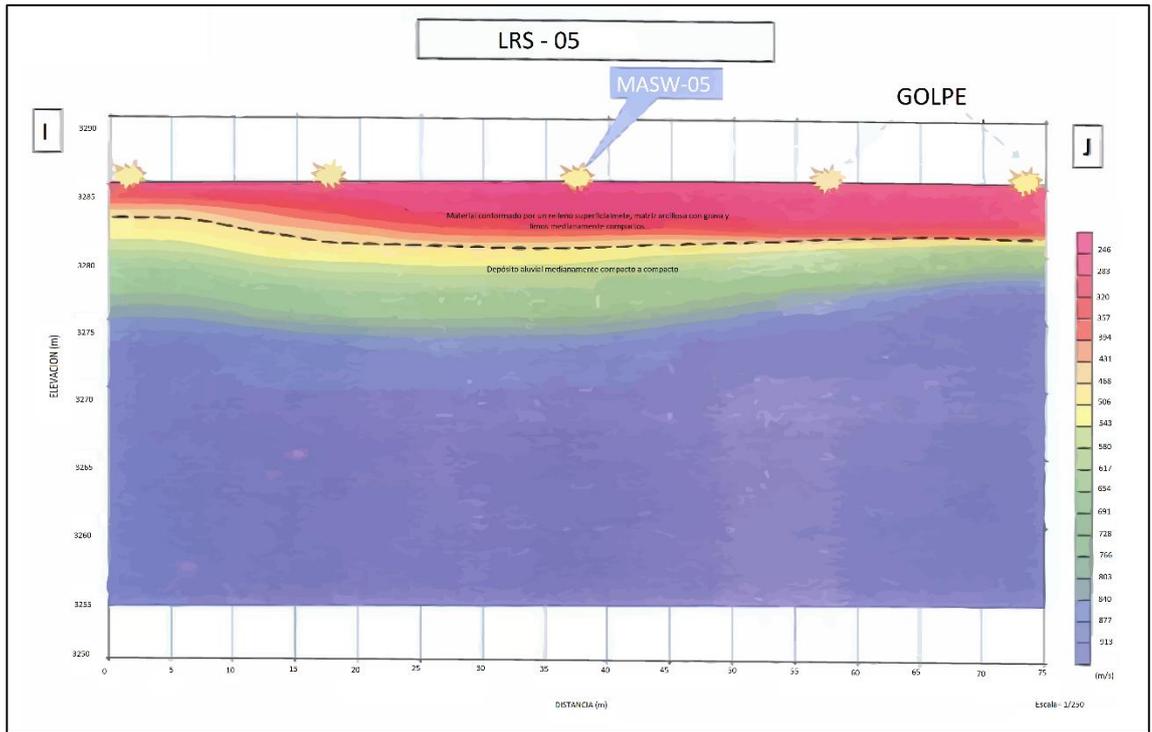
Perfiles sísmicos tomograficos N° 02



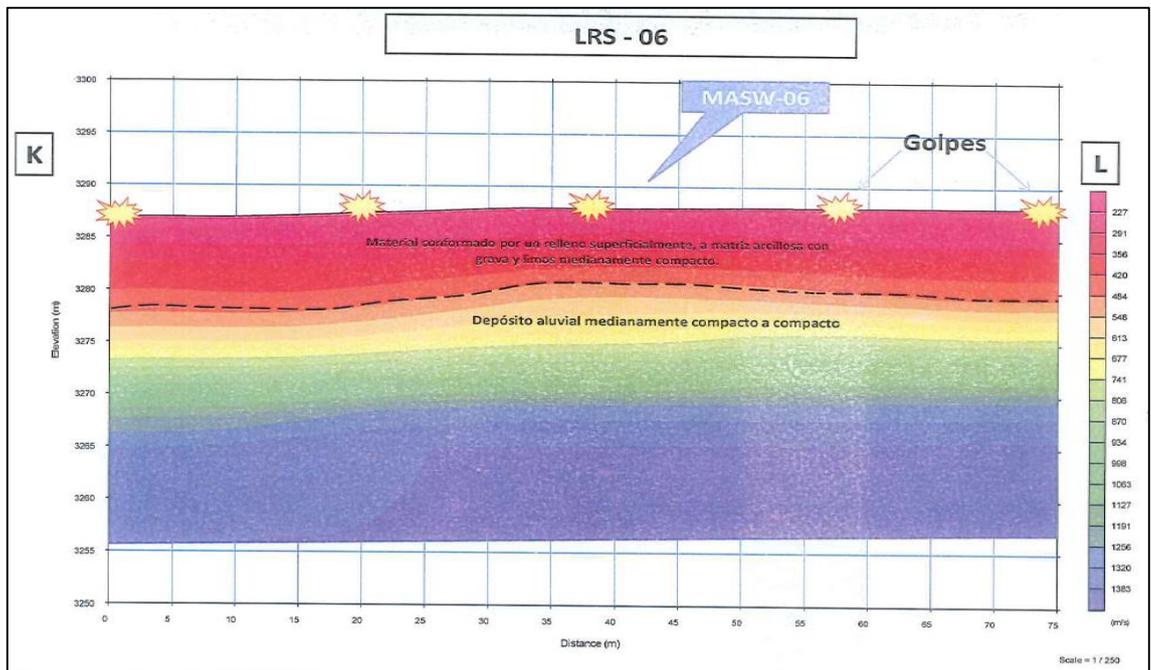
Perfiles sísmicos tomograficos N° 03



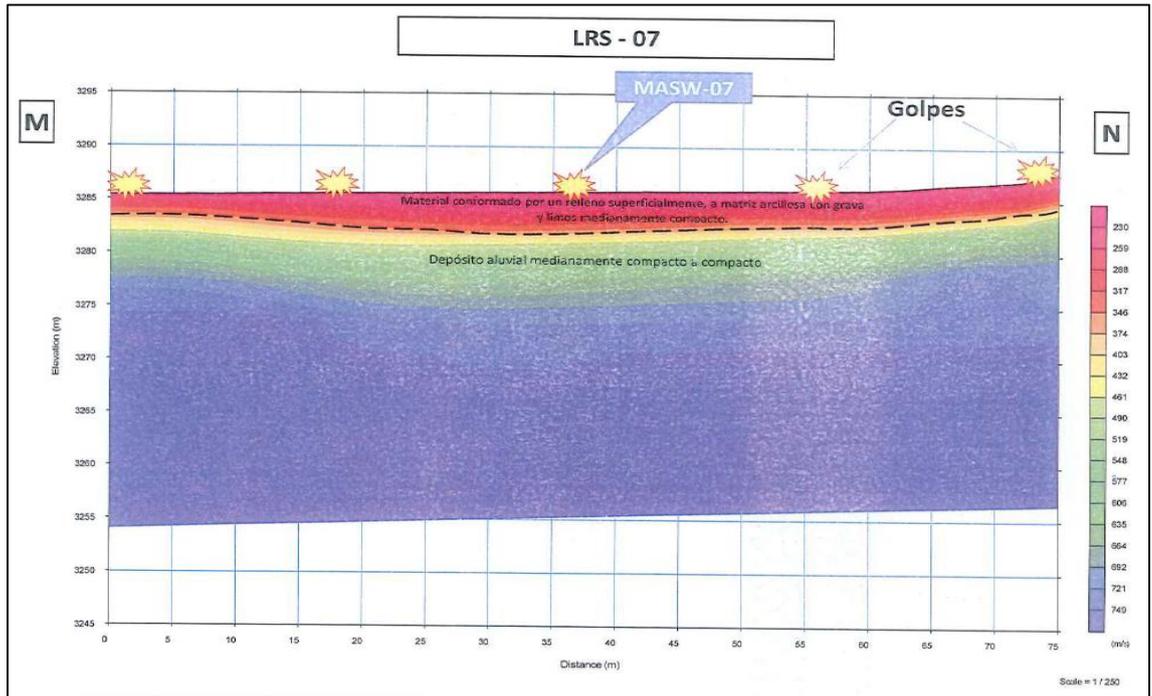
Perfiles sísmicos tomograficos N° 04



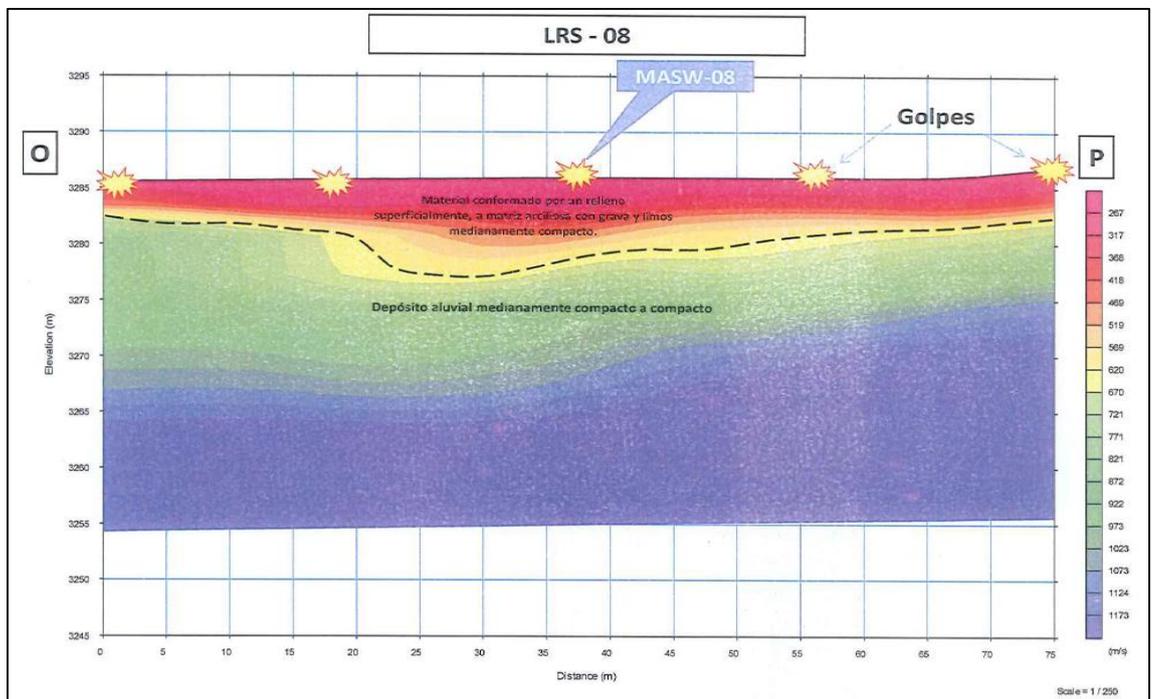
Perfiles sísmicos tomograficos N° 05



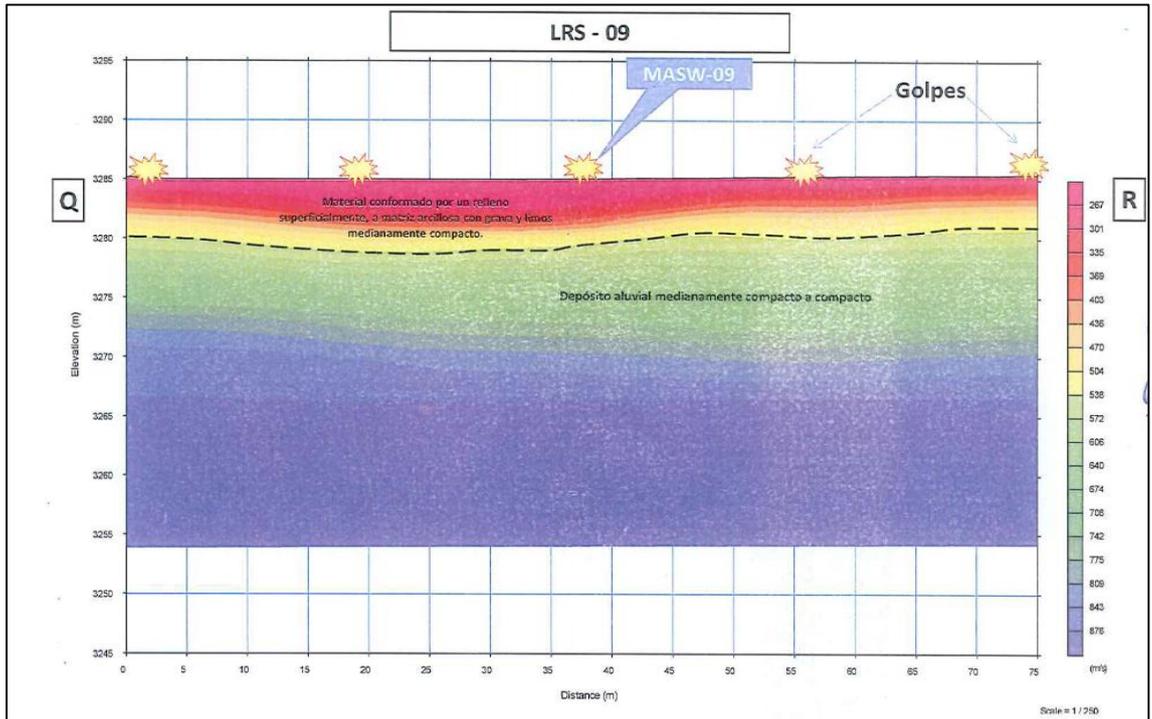
Perfiles sísmicos tomograficos N° 06



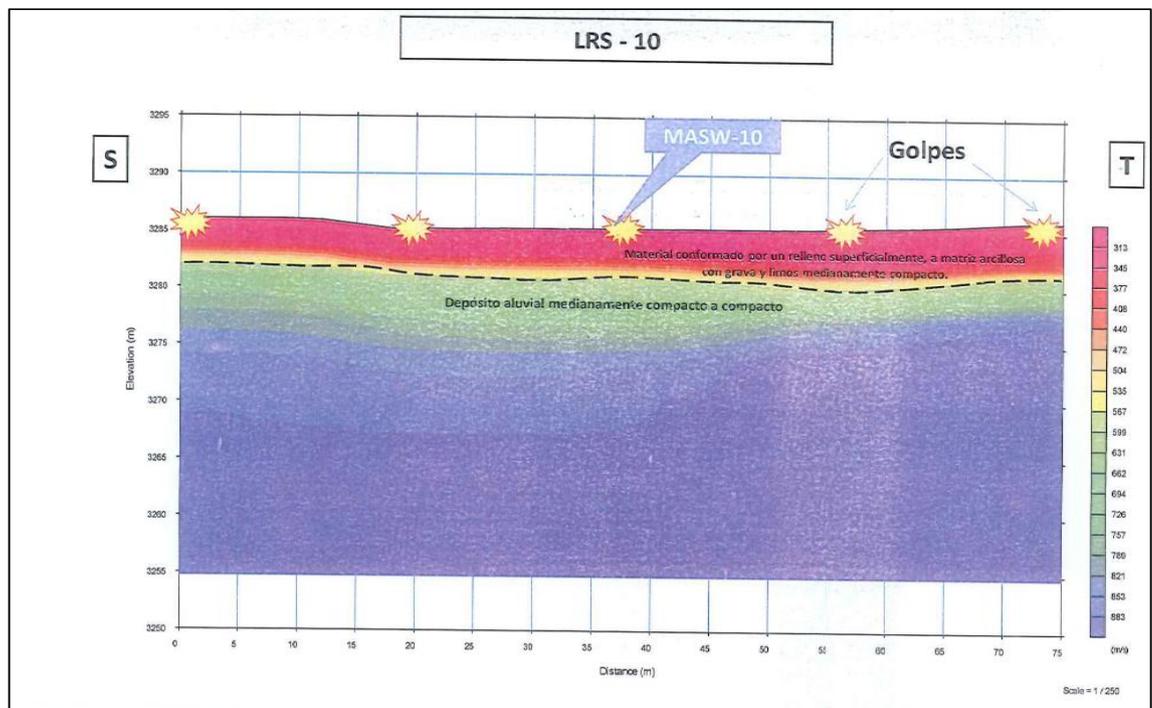
Perfiles sísmicos tomograficos N° 07



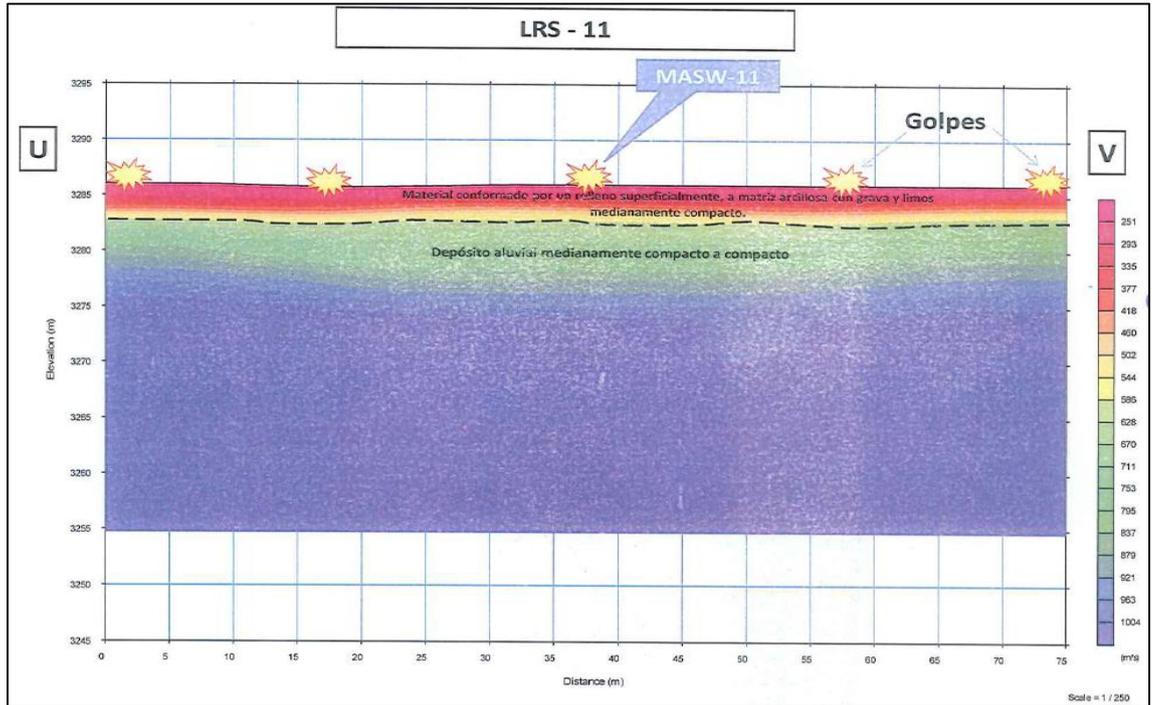
Perfiles sísmicos tomograficos N° 08



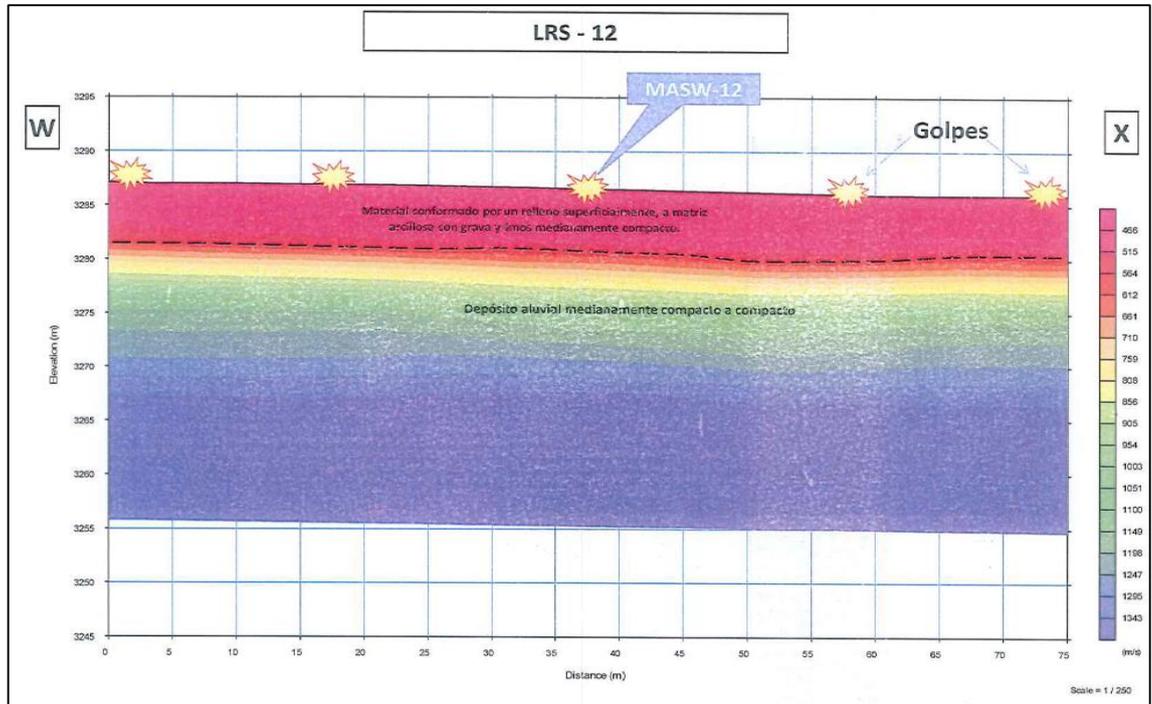
Perfiles sísmicos tomográficos N° 09



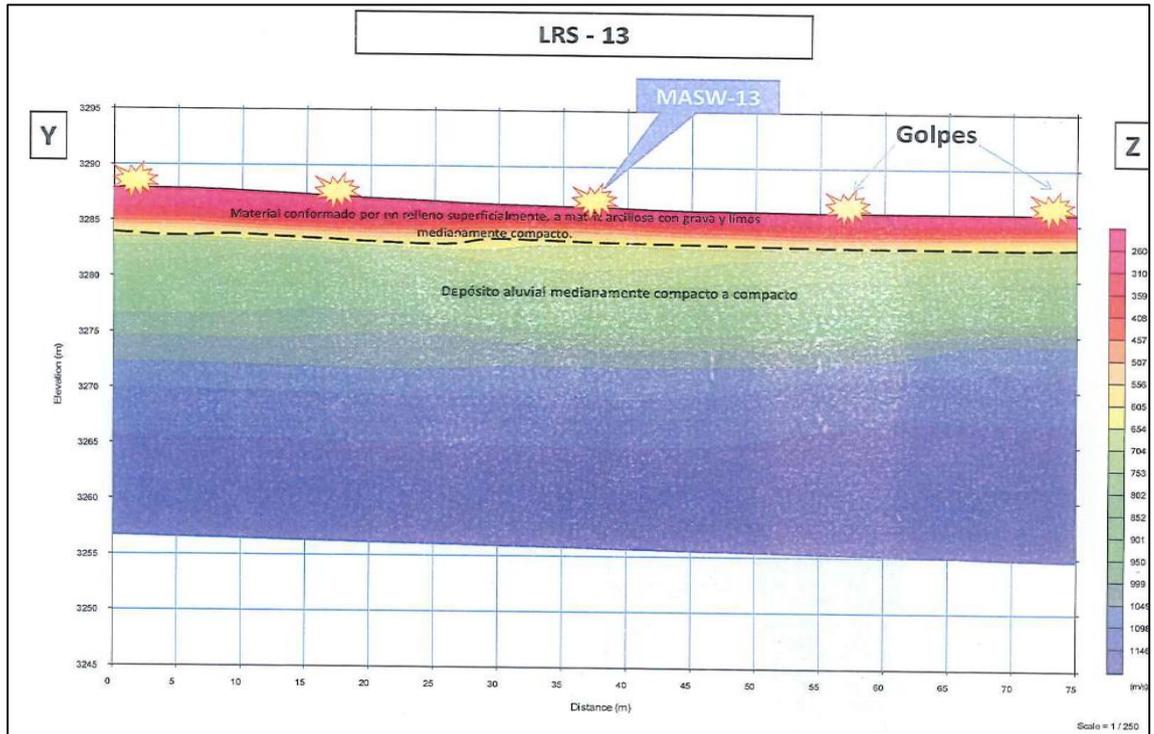
Perfiles sísmicos tomográficos N° 10



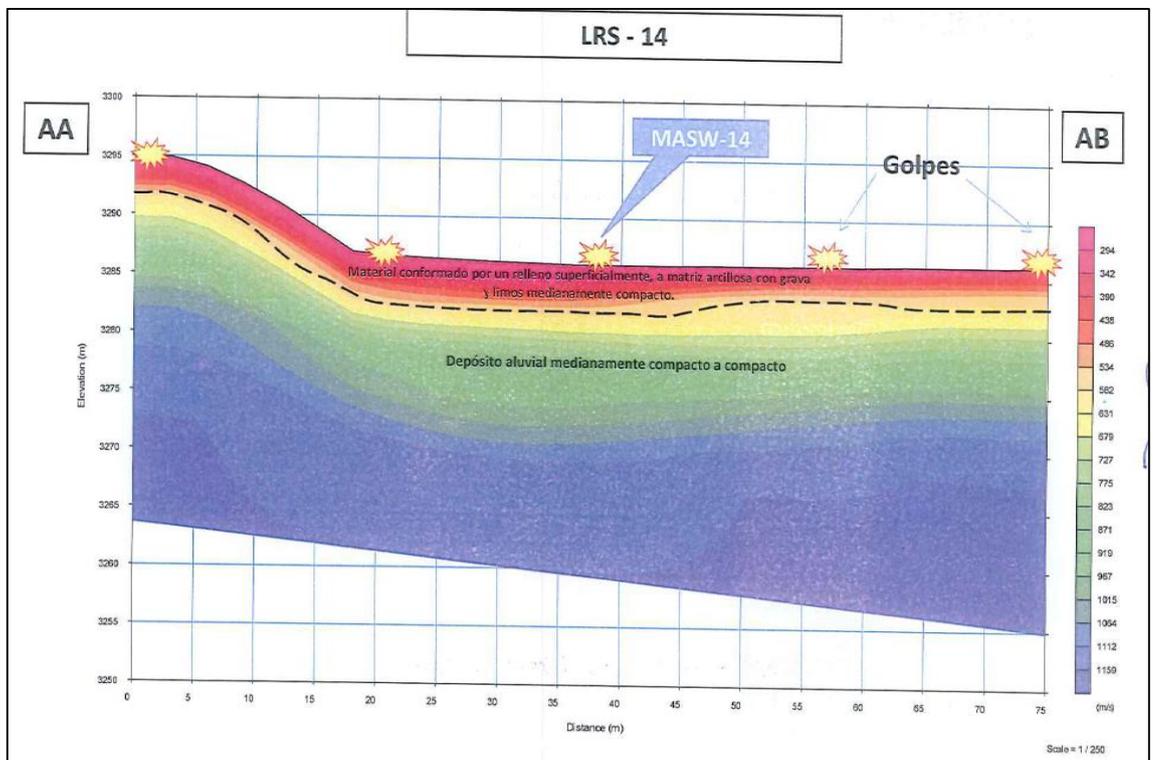
Perfiles sísmicos tomograficos N° 11



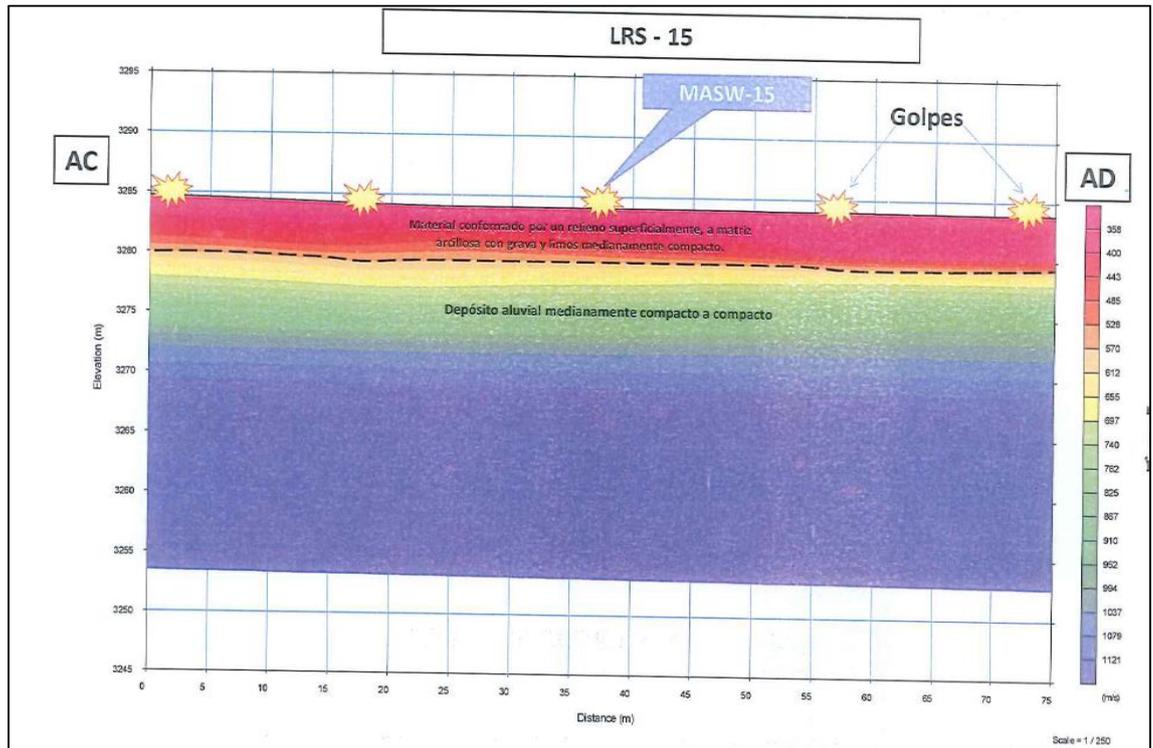
Perfiles sísmicos tomograficos N° 12



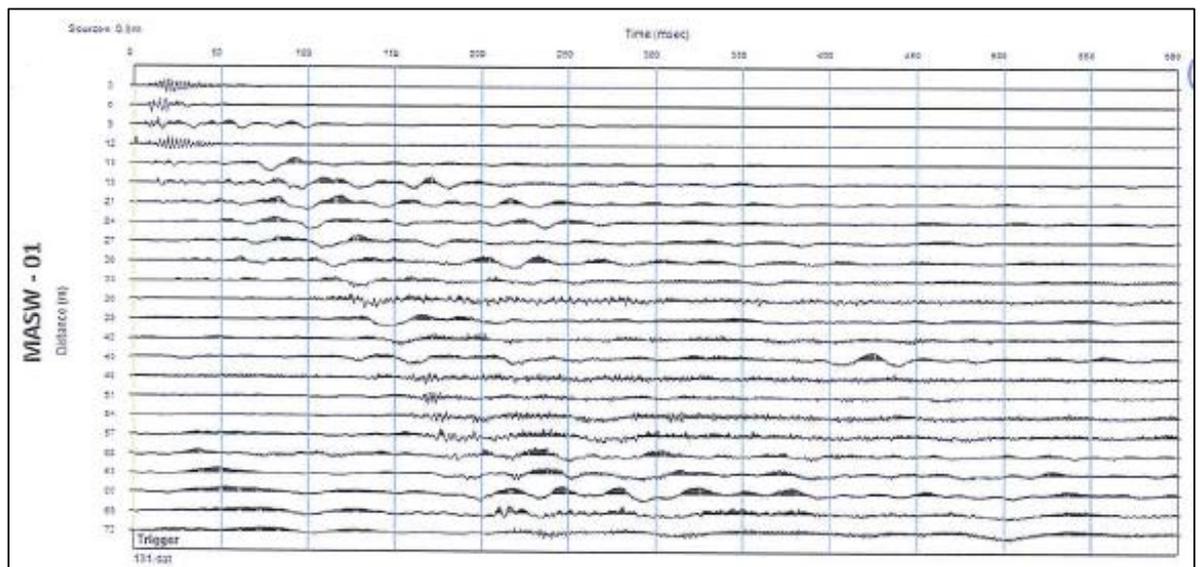
Perfiles sísmicos tomograficos N° 13



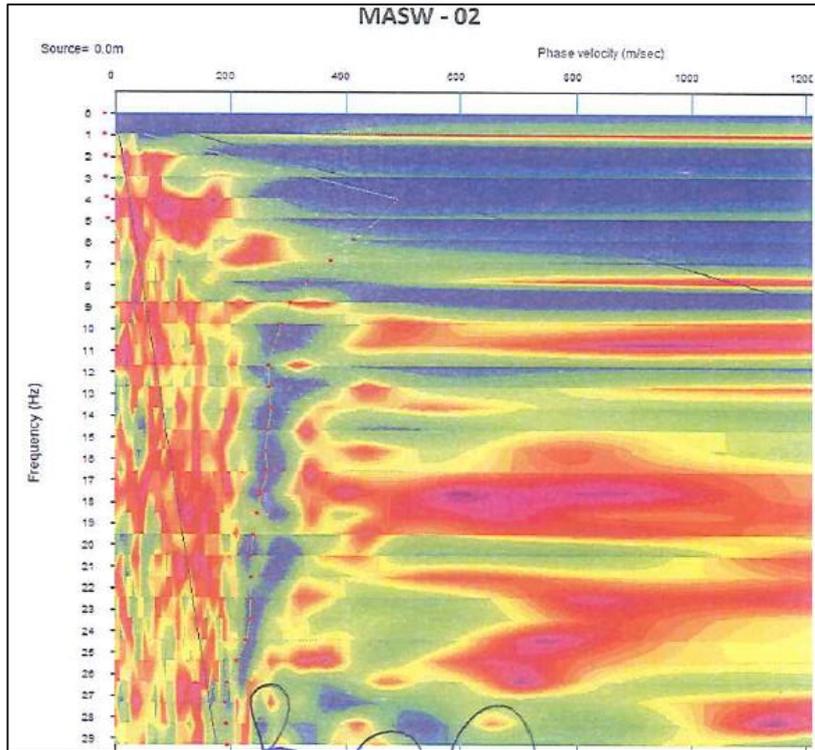
Perfiles sísmicos tomograficos N° 14



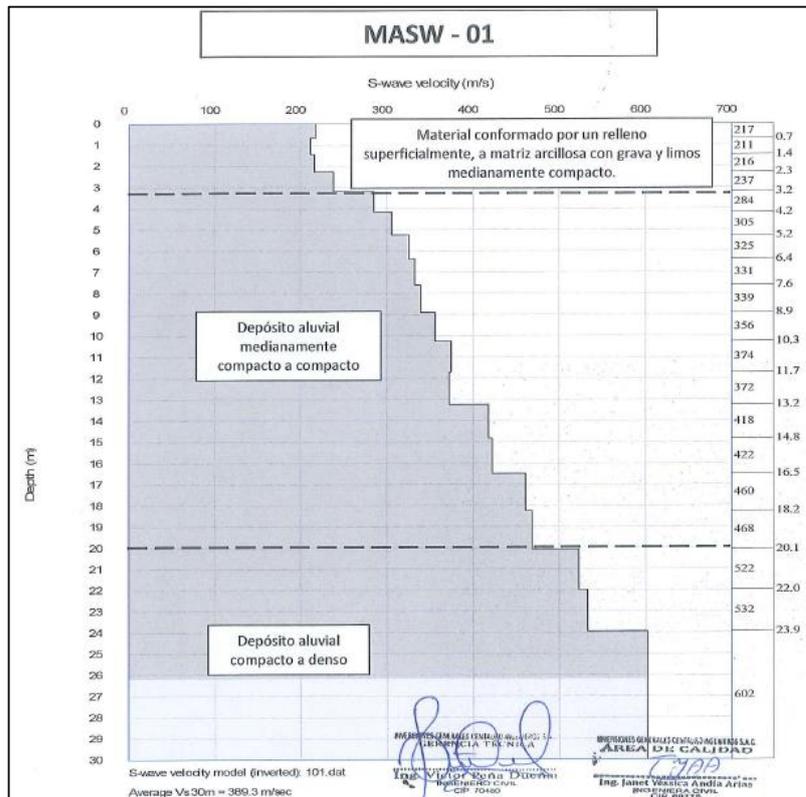
Perfiles sísmicos tomograficos N° 15



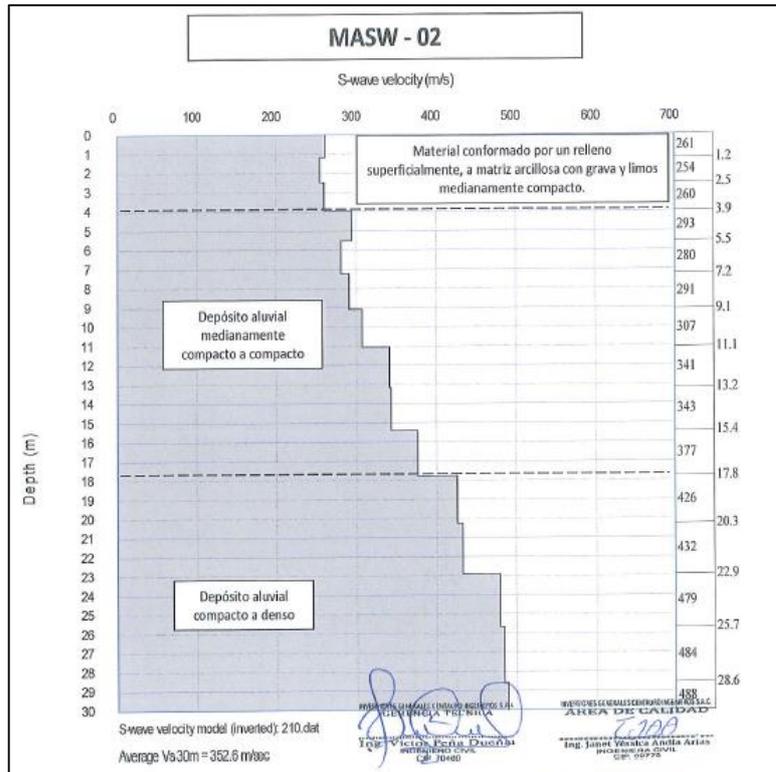
Registro de ondas sísmicas – Sondajes MASW – 01



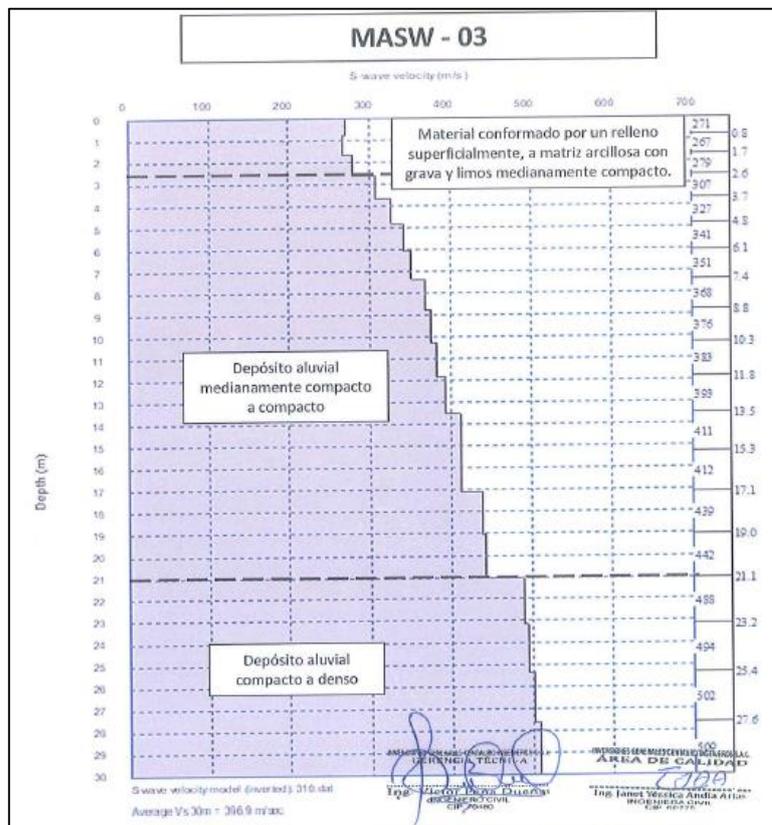
Cuvas de dispersion MASW



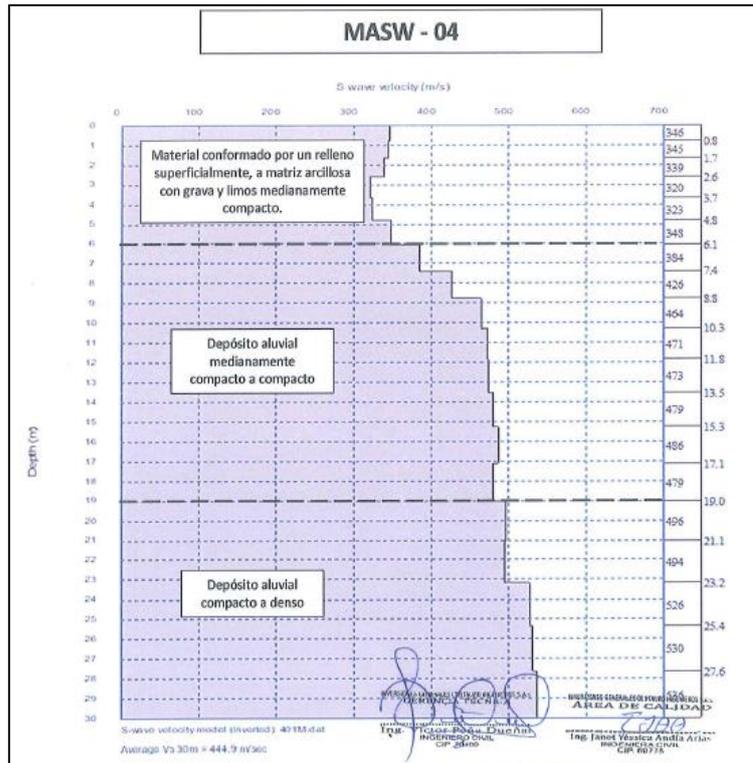
Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-01



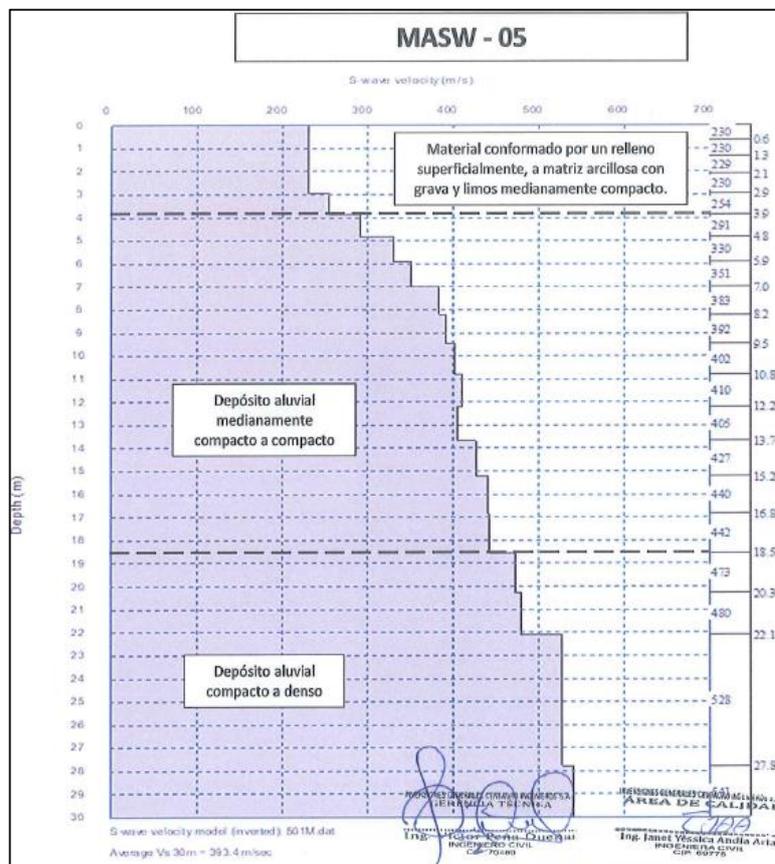
Modelo unidimensionalde ondas de corte – MASW-02



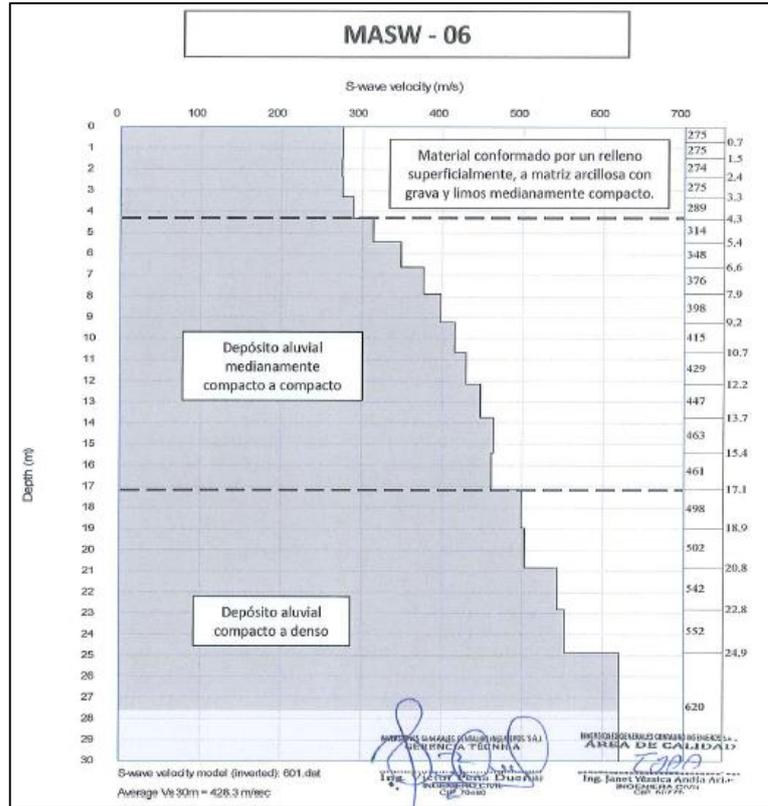
Modelo unidimensionalde ondas de corte – MASW-03



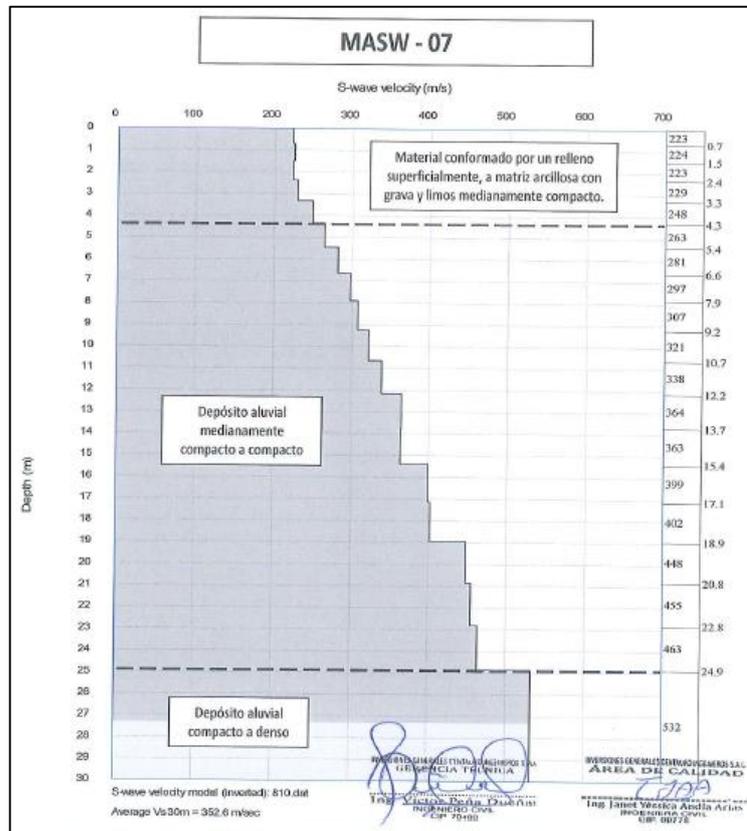
Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-04



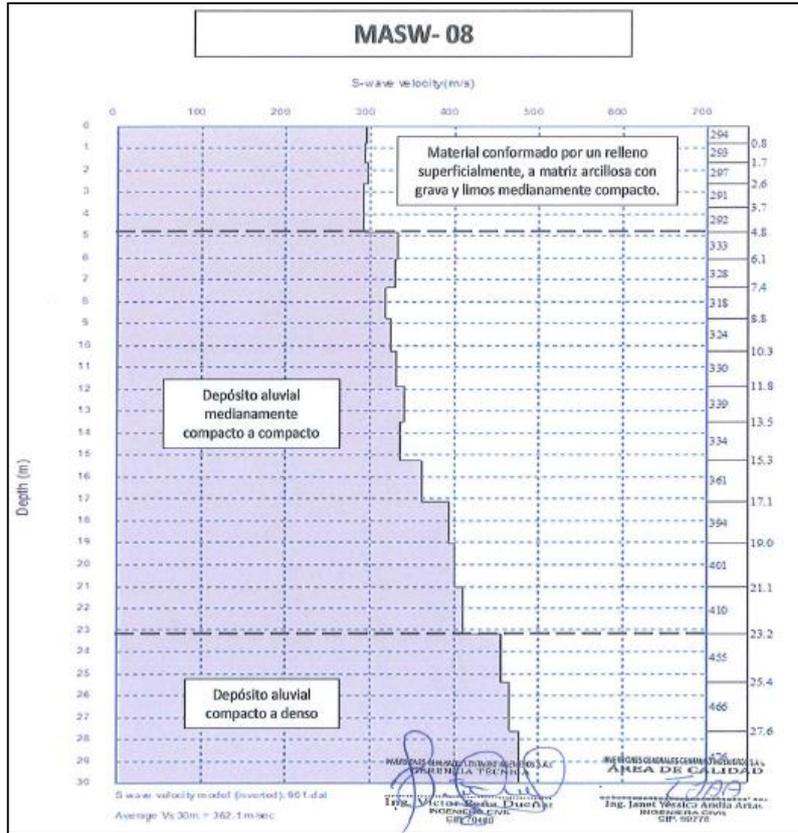
Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-05



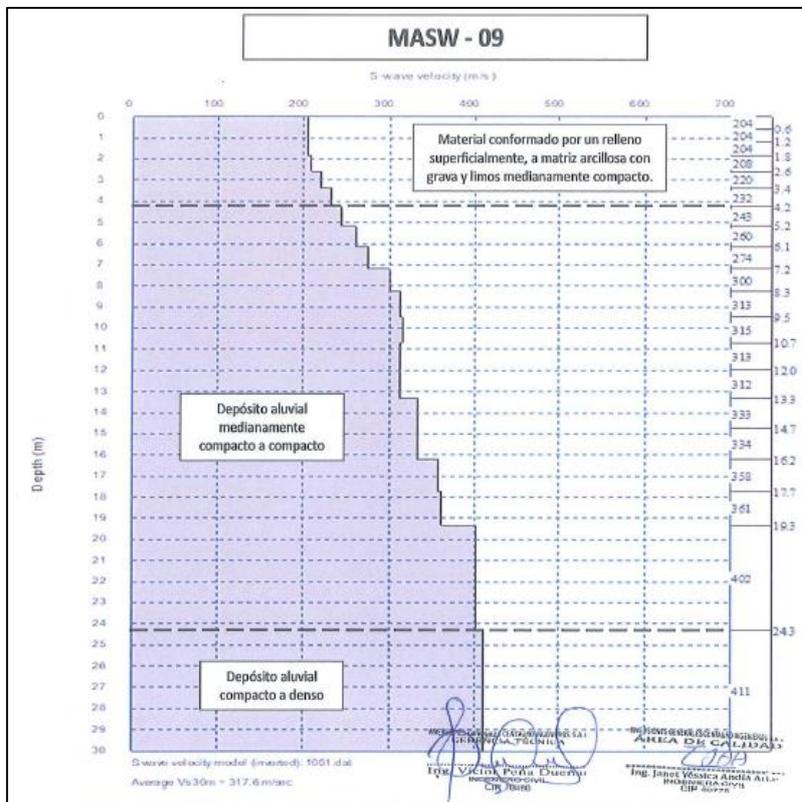
Modelo unidimensionalde ondas de corte – MASW-06



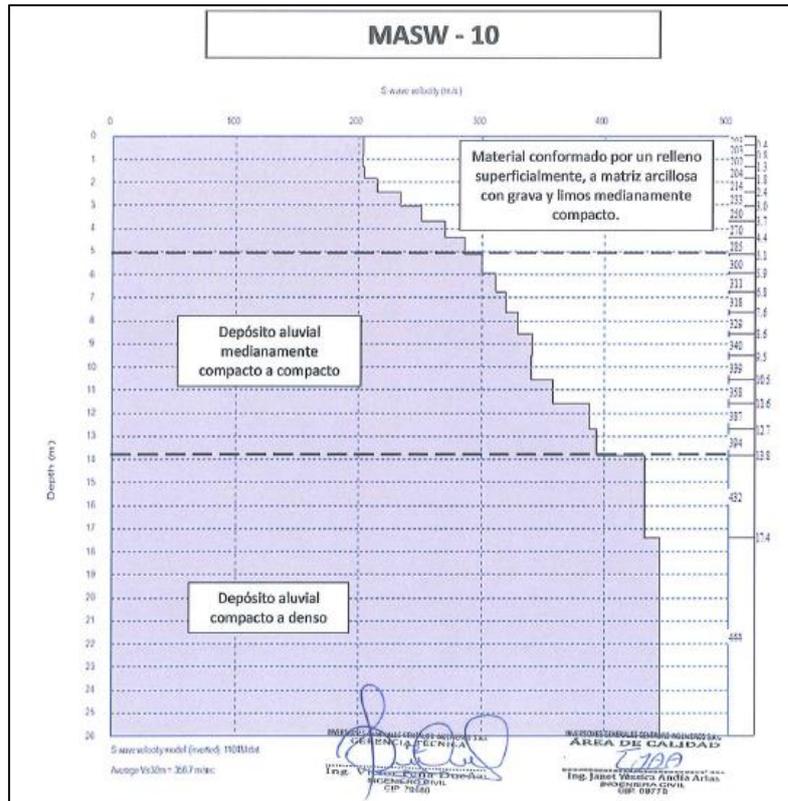
Modelo unidimensionalde ondas de corte – MASW-07



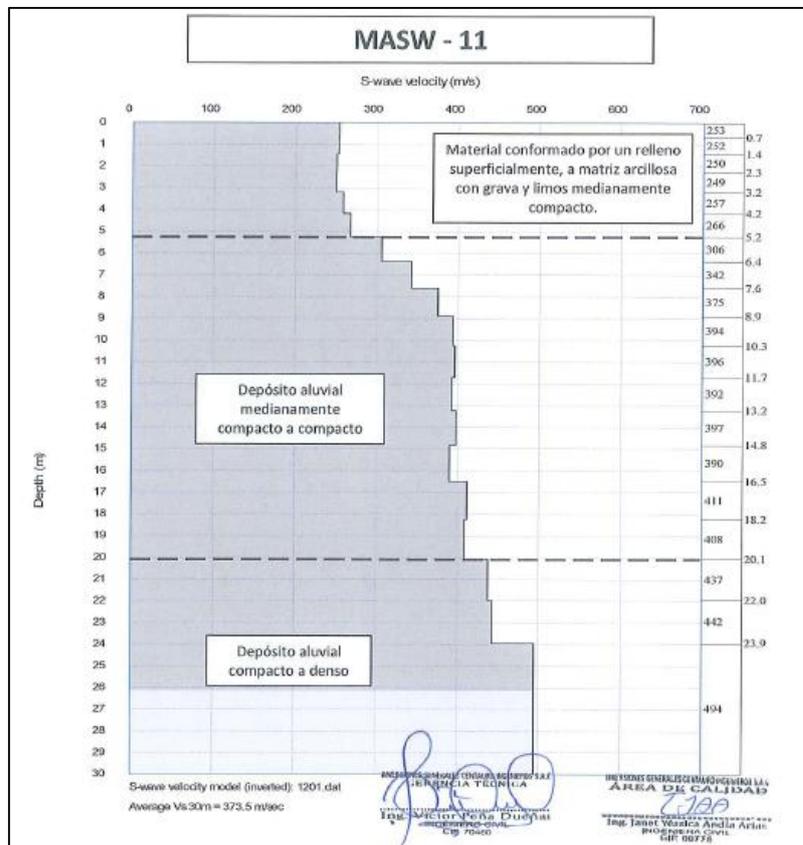
Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-08



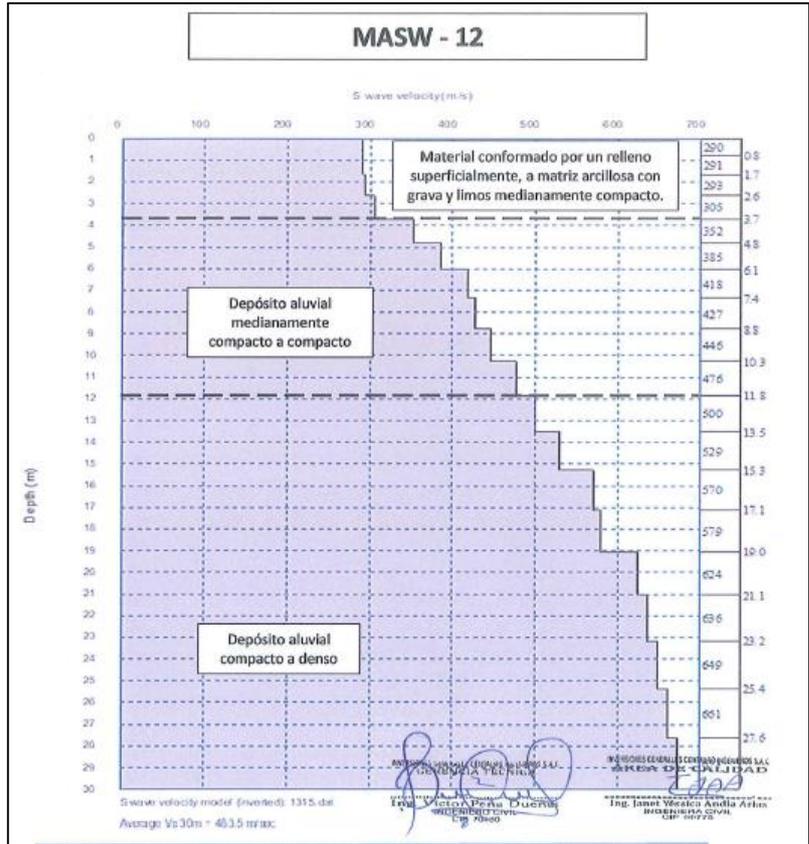
Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-09



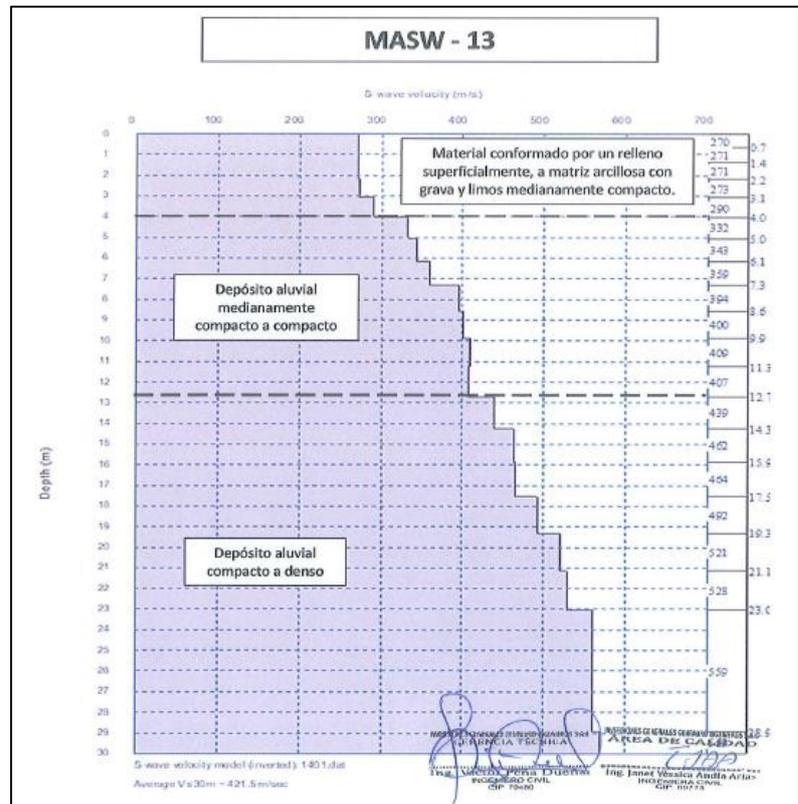
Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-10



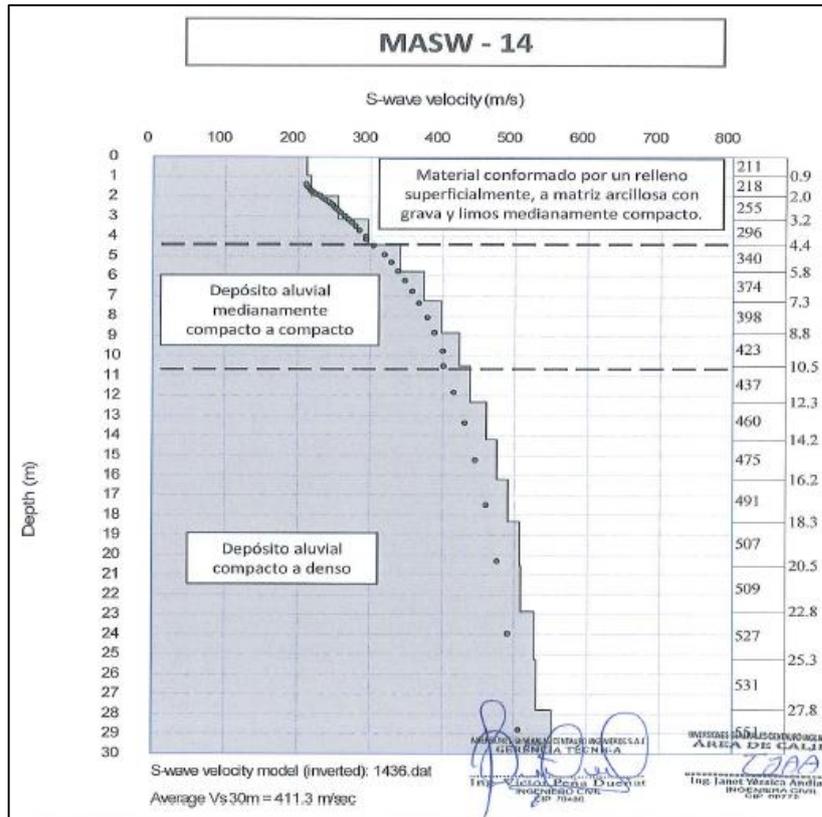
Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-11



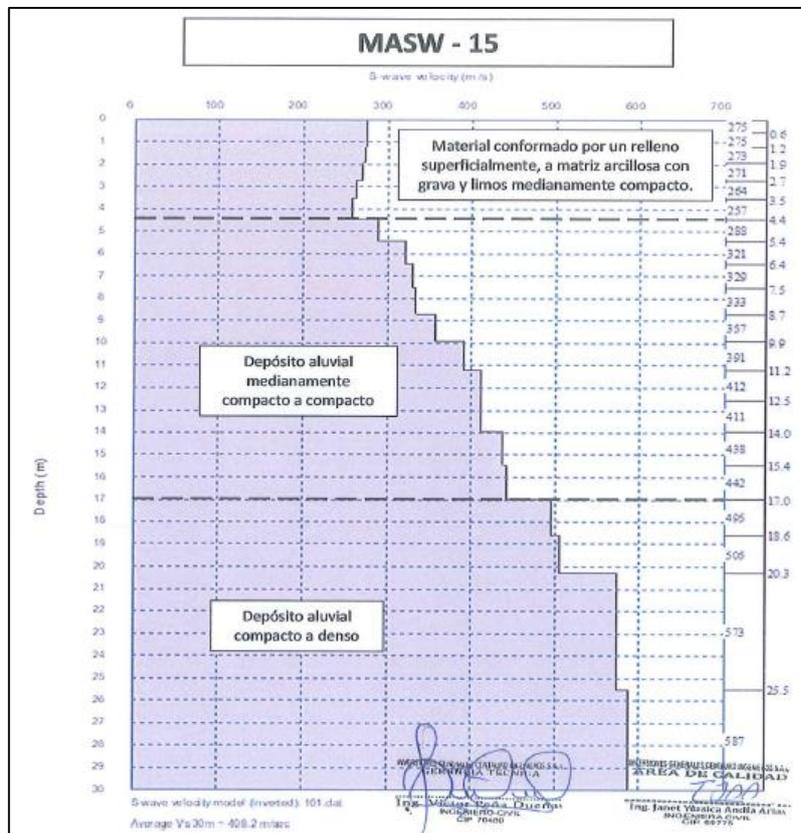
Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-12



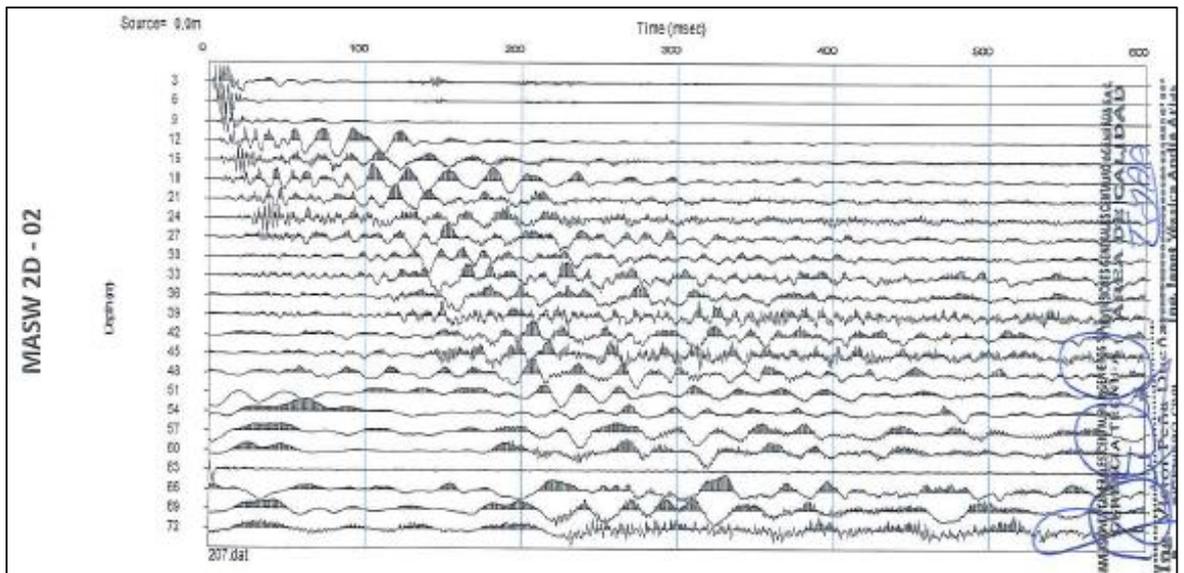
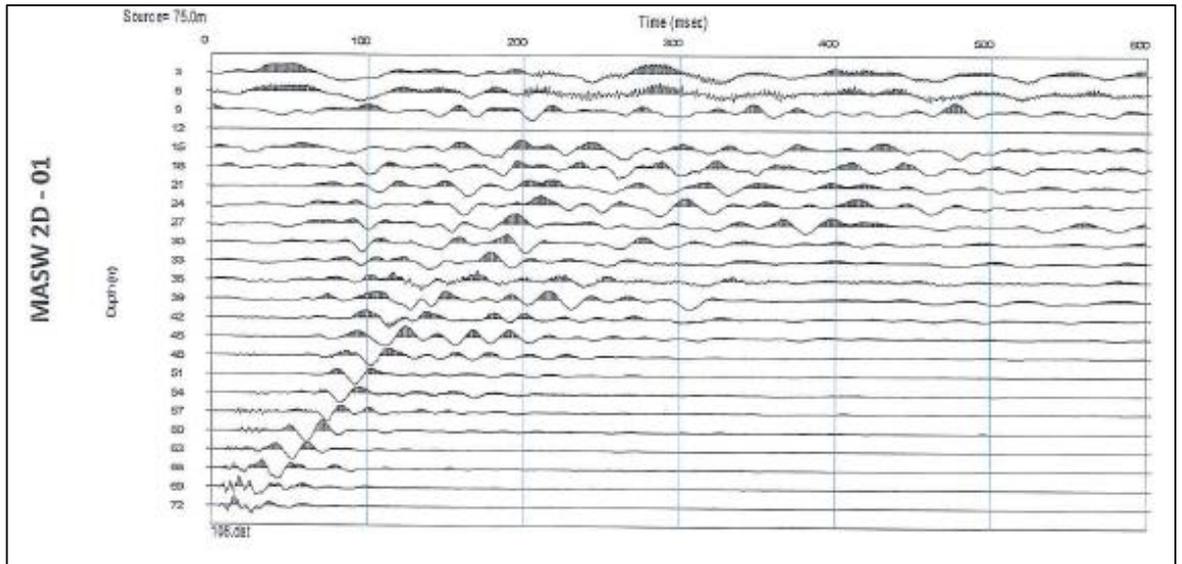
Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-13



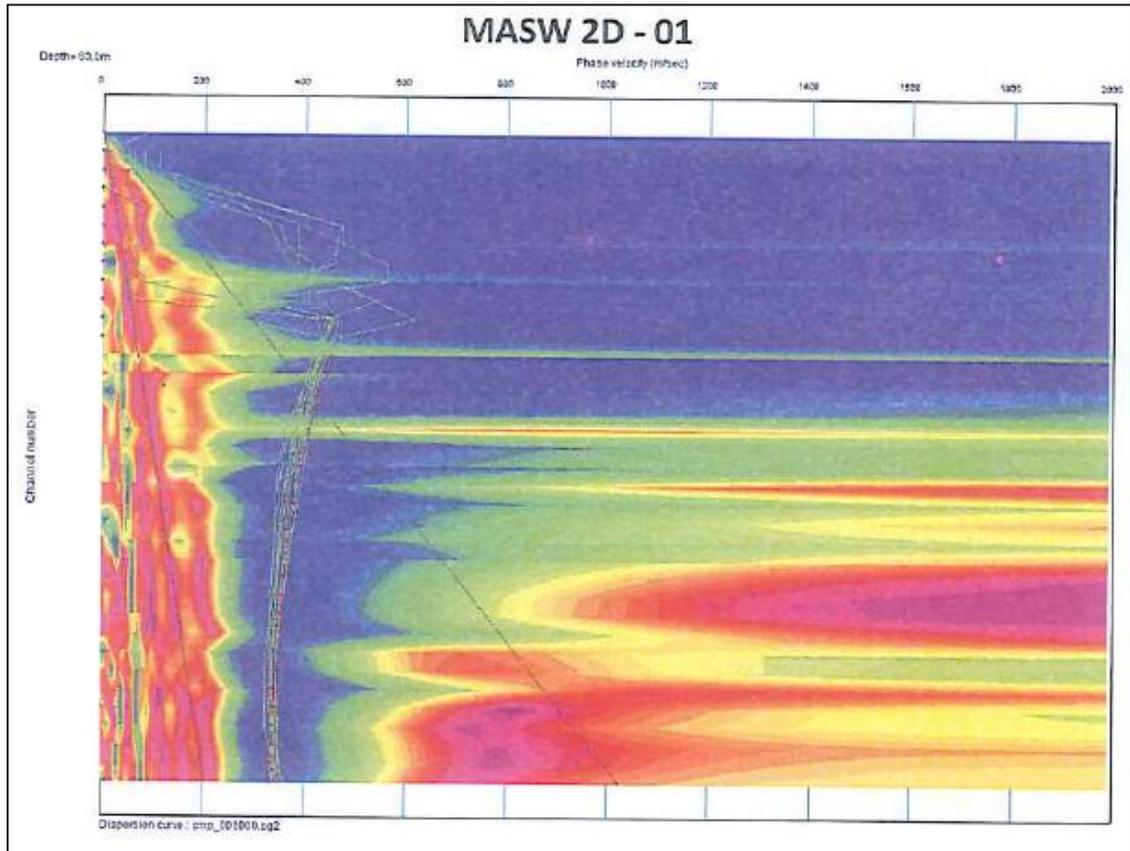
Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-14



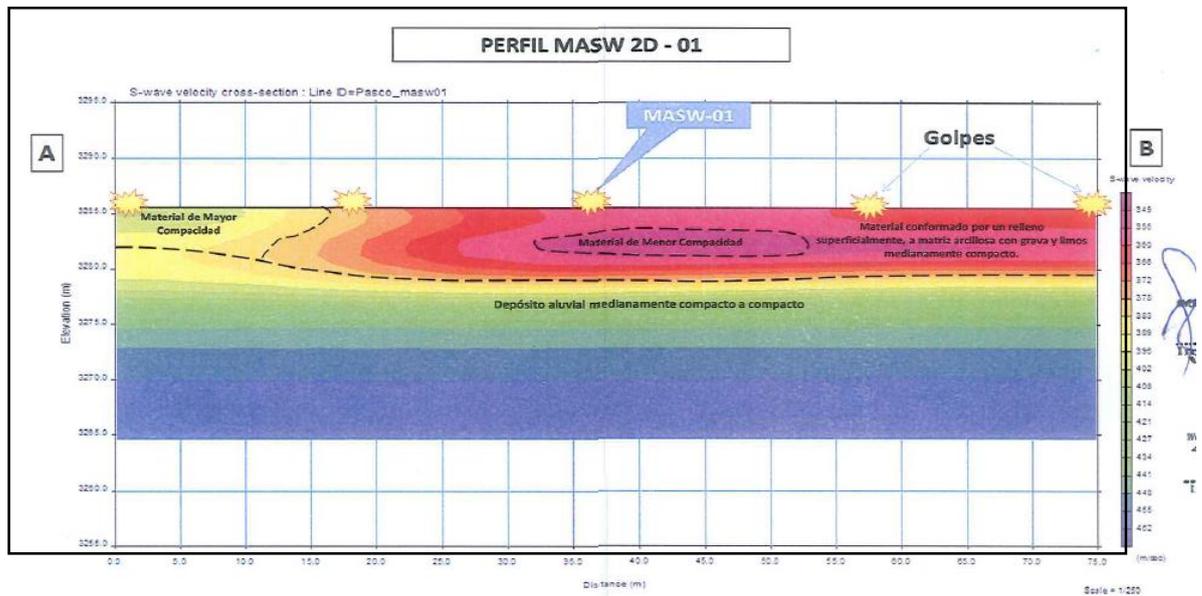
Modelo unidimensional de ondas de corte – MASW-15



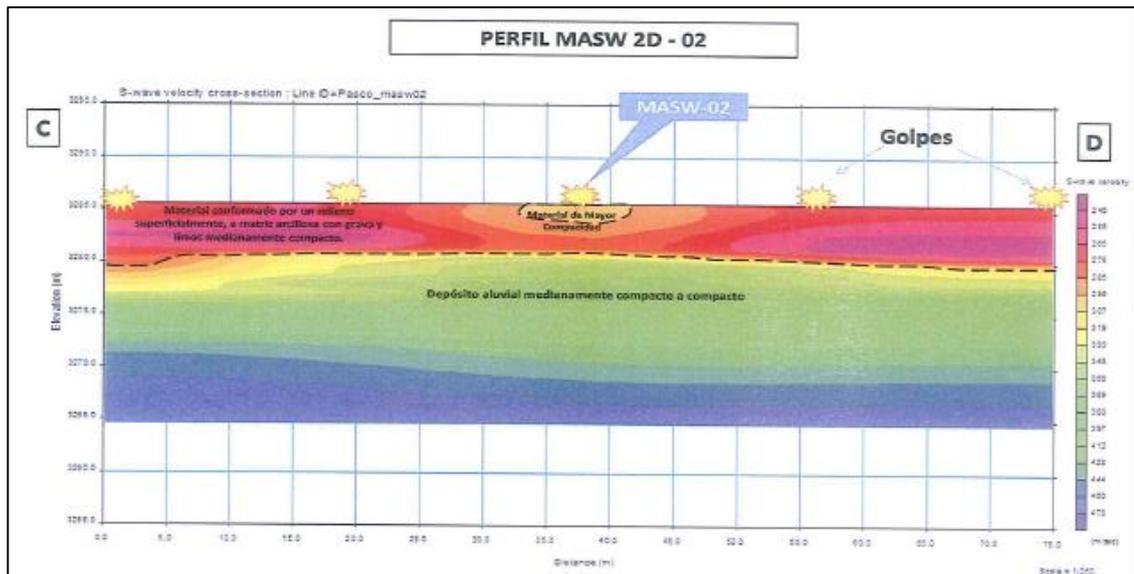
Registro de ondas sísmicas – sondaje MAW2D



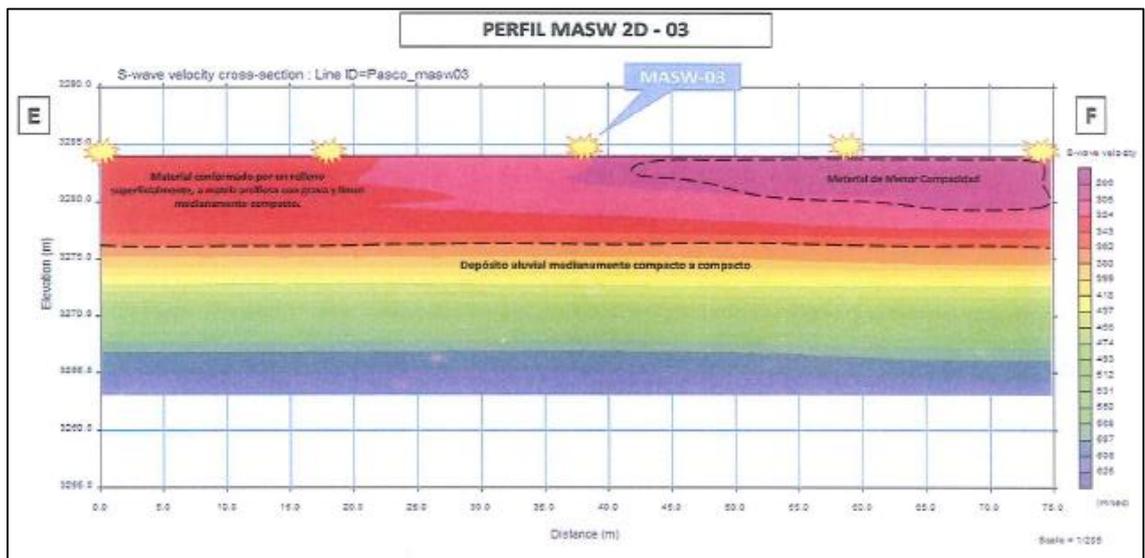
Curva de dispersion – Ensayo MASW2D



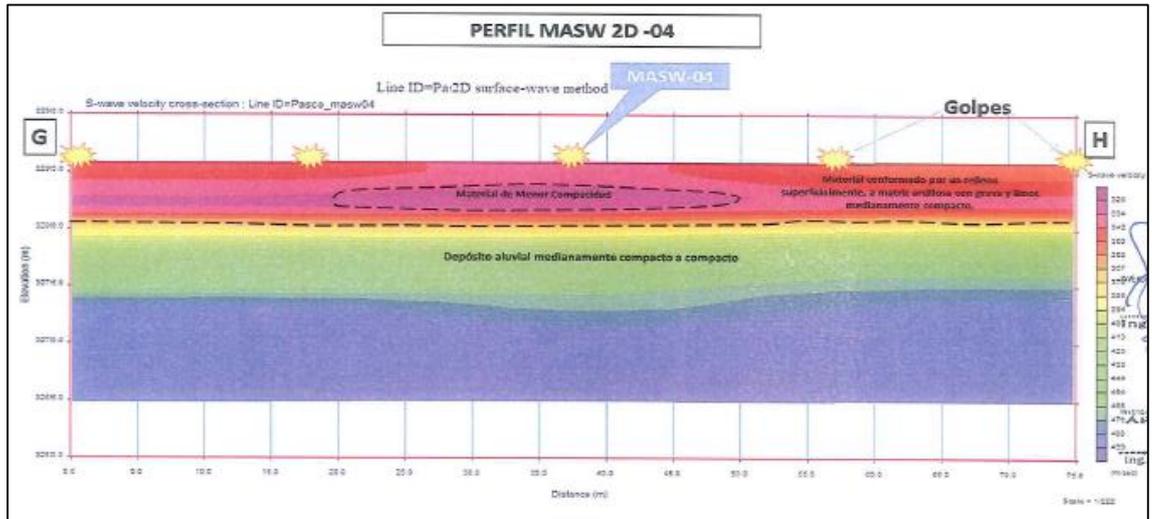
Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D – 01



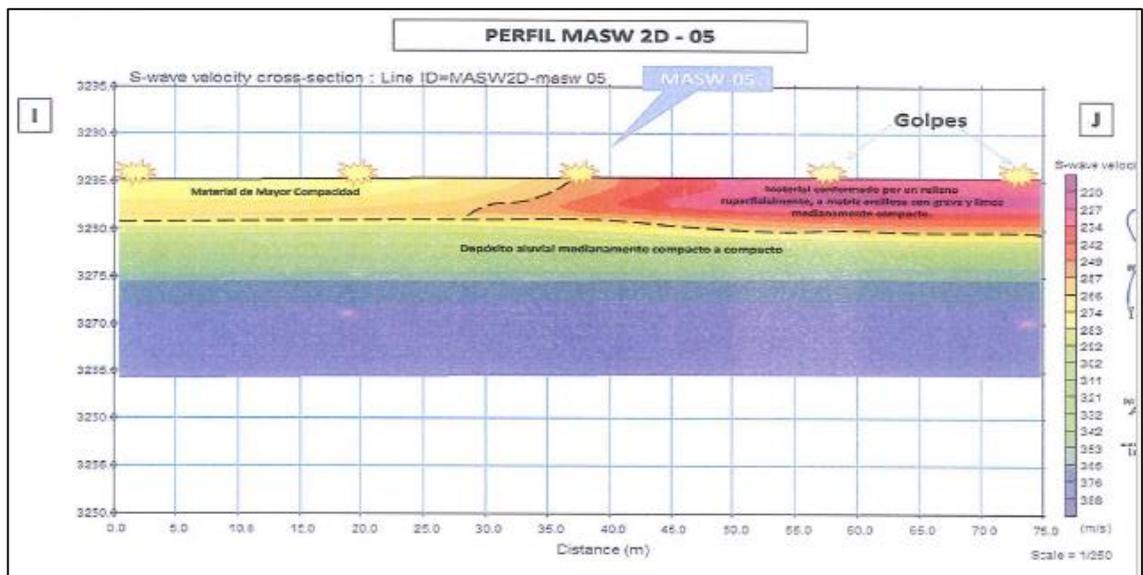
Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D – 02



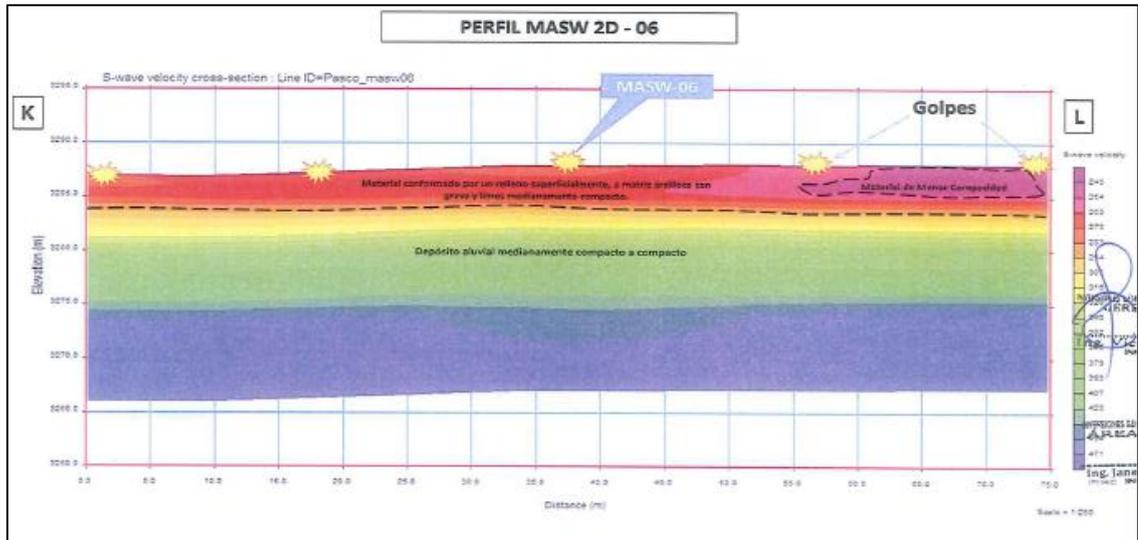
Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D – 03



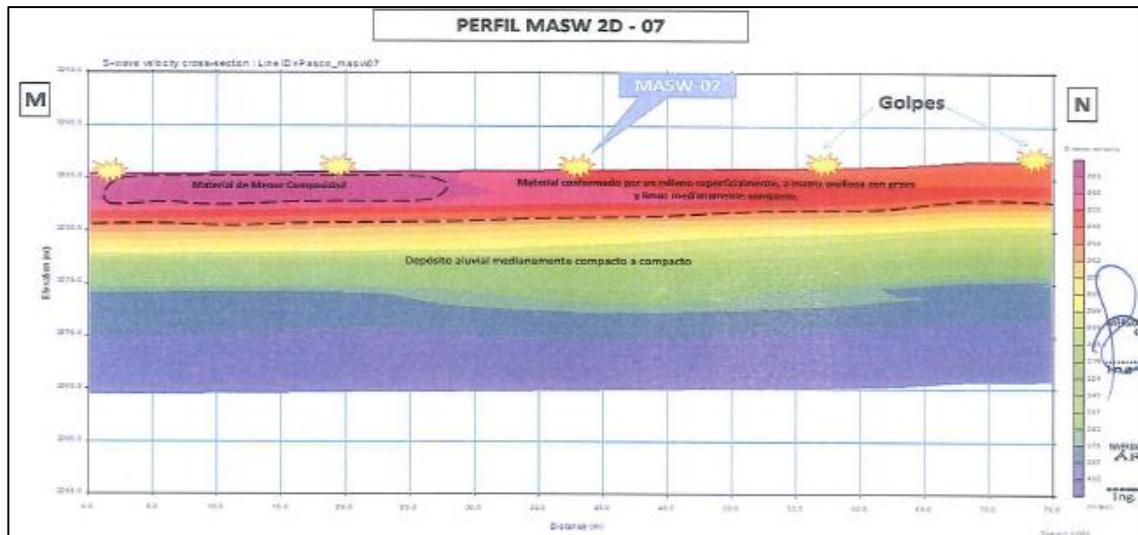
Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D - 04

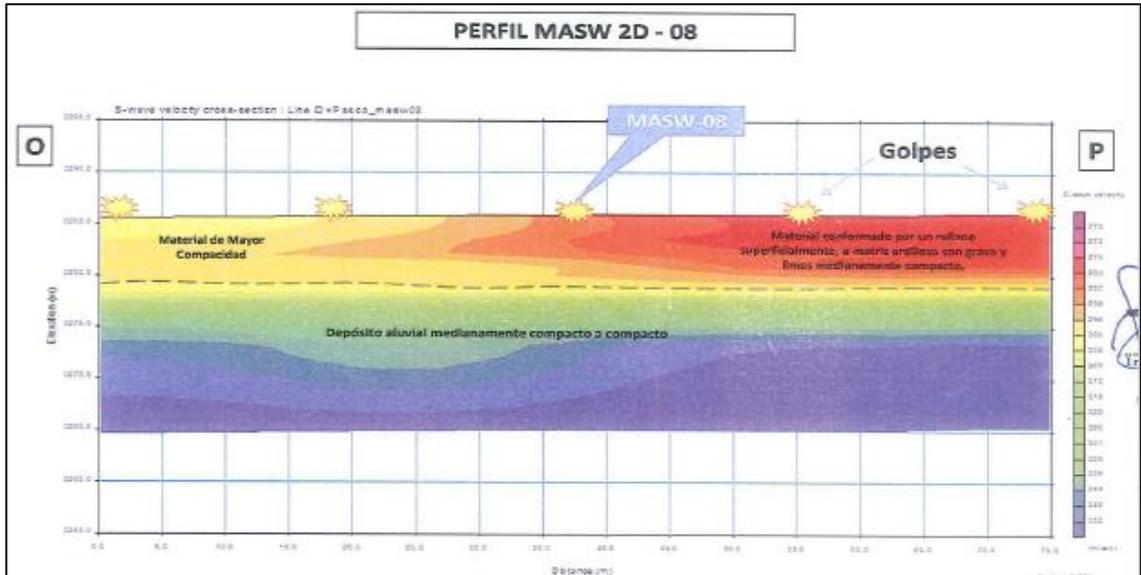


Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D – 05

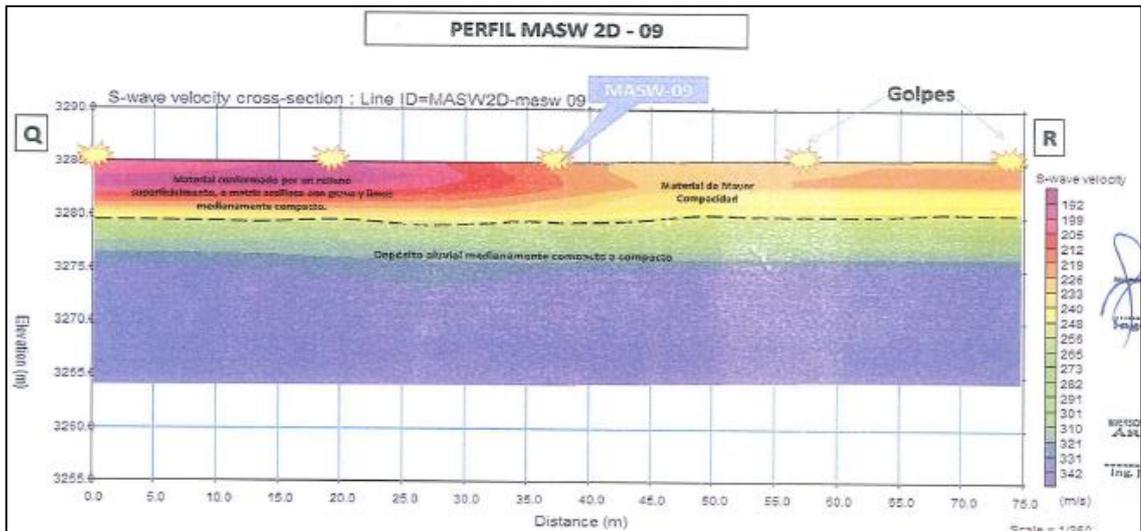


Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D – 06

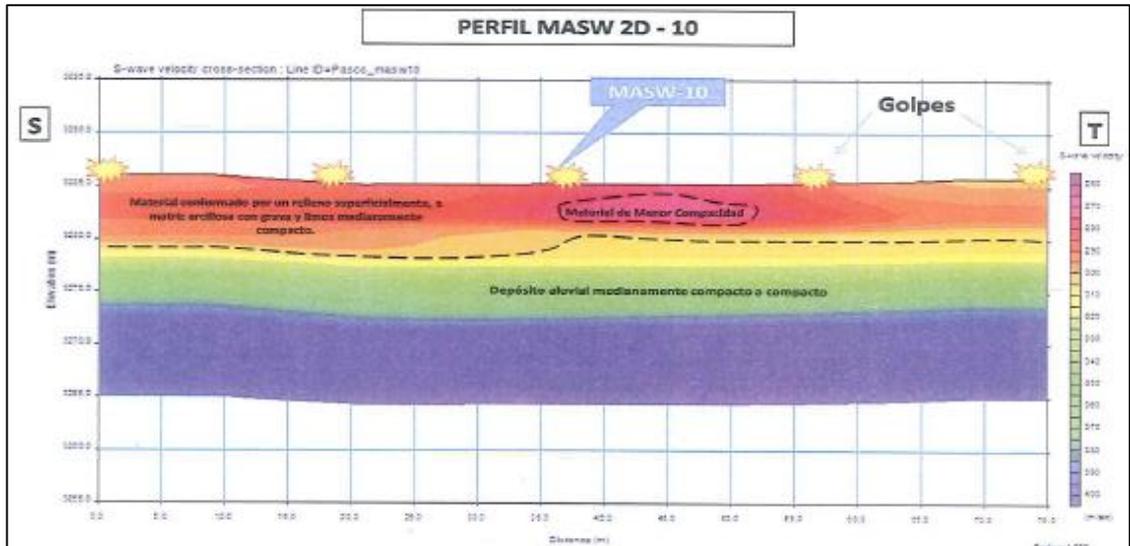




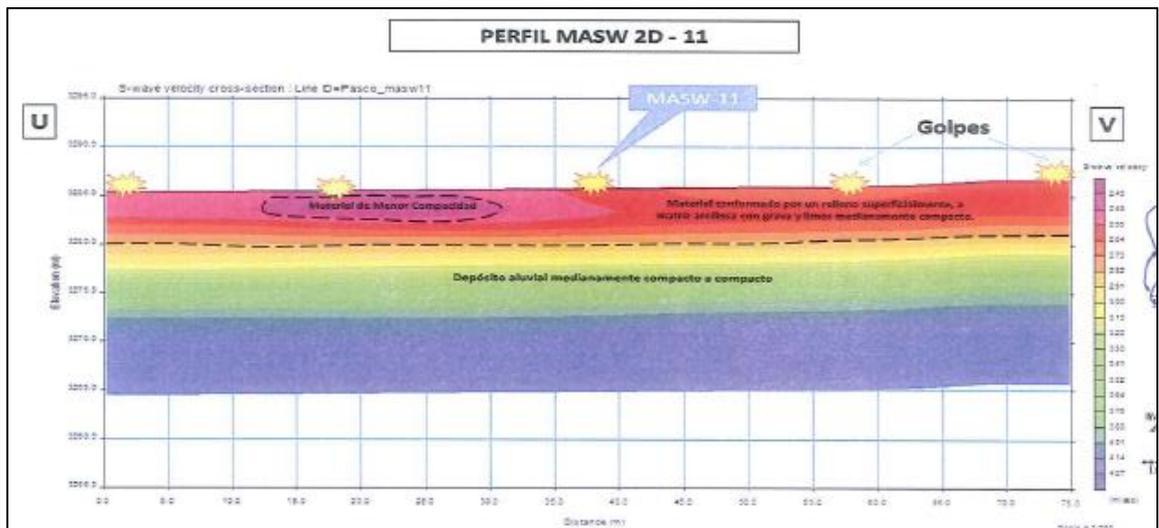
Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D – 08



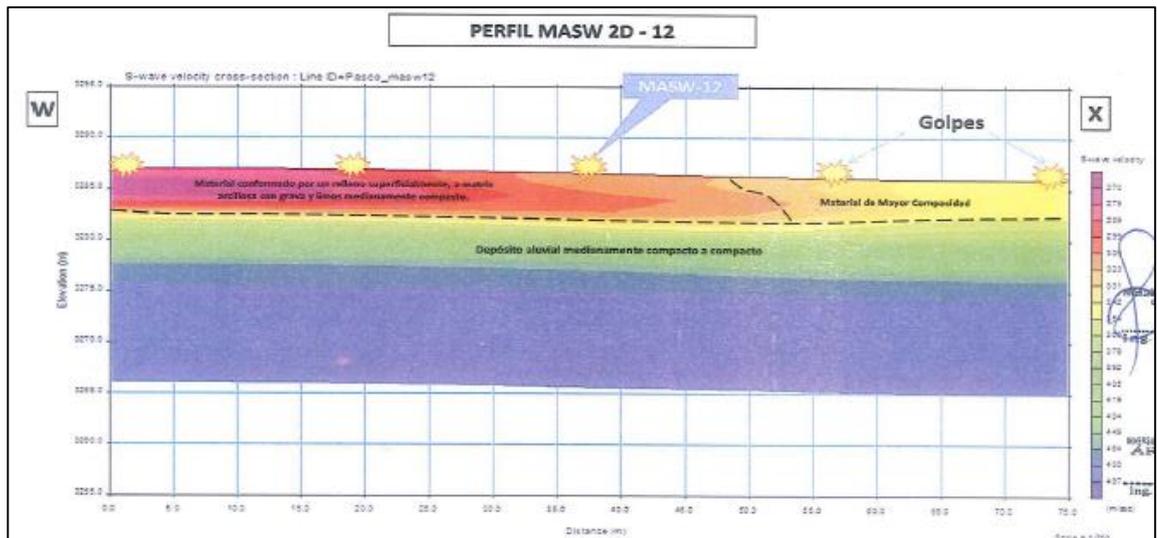
Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D – 09



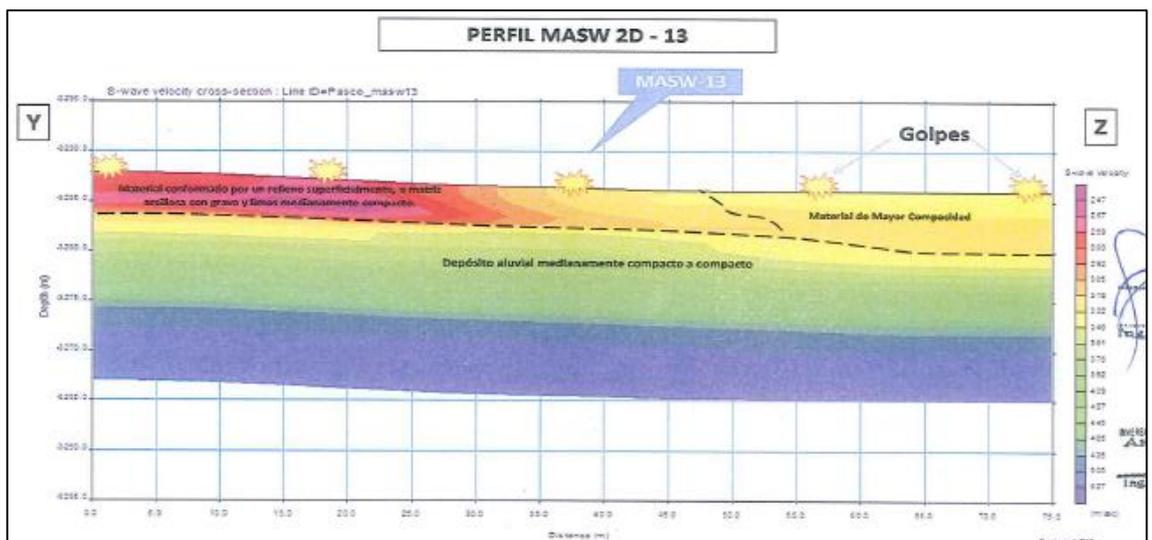
Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D - 10



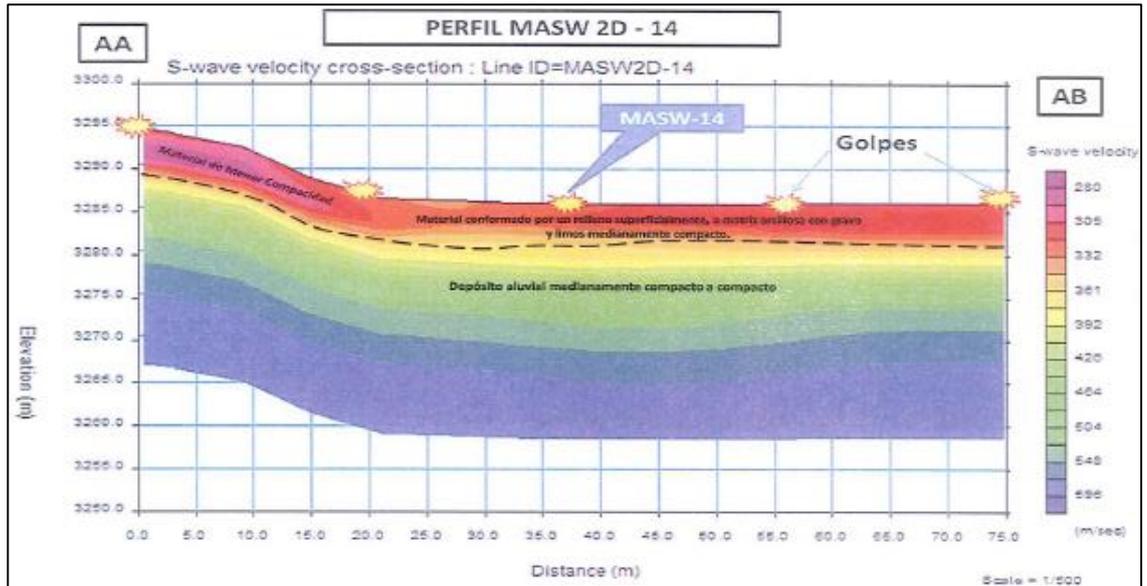
Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D – 11



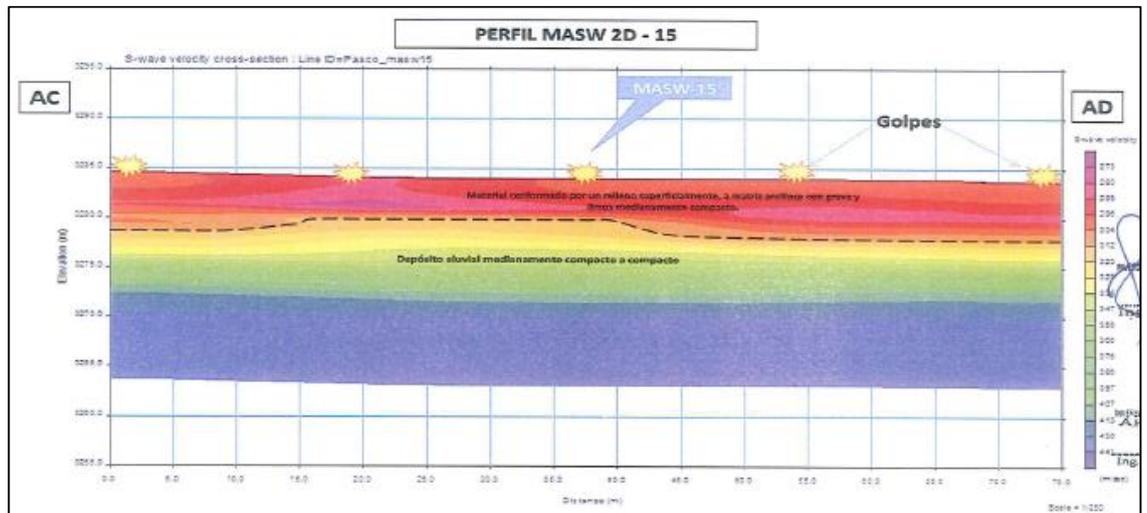
Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D – 12



Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D – 13



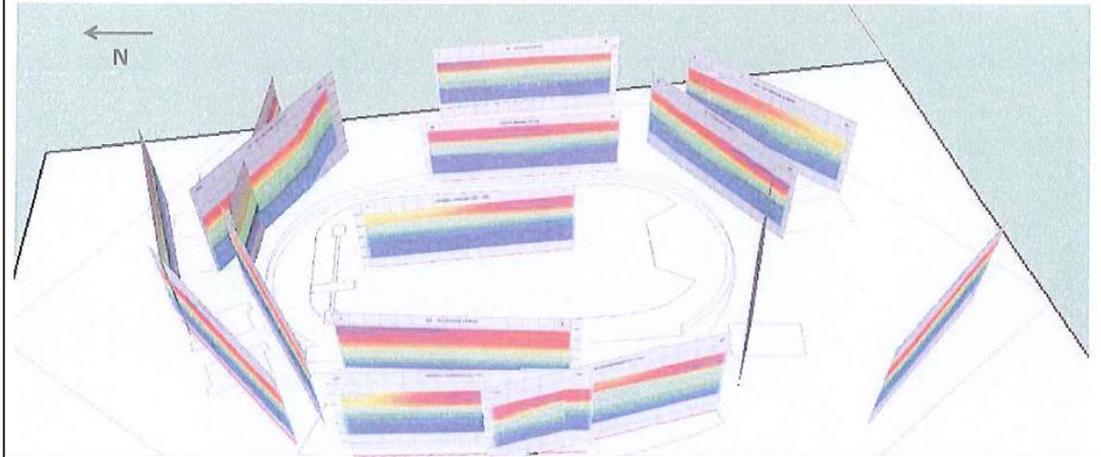
Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D – 14



Modelo bidimensional de ondas de corte – sondajes MASW2D - 15

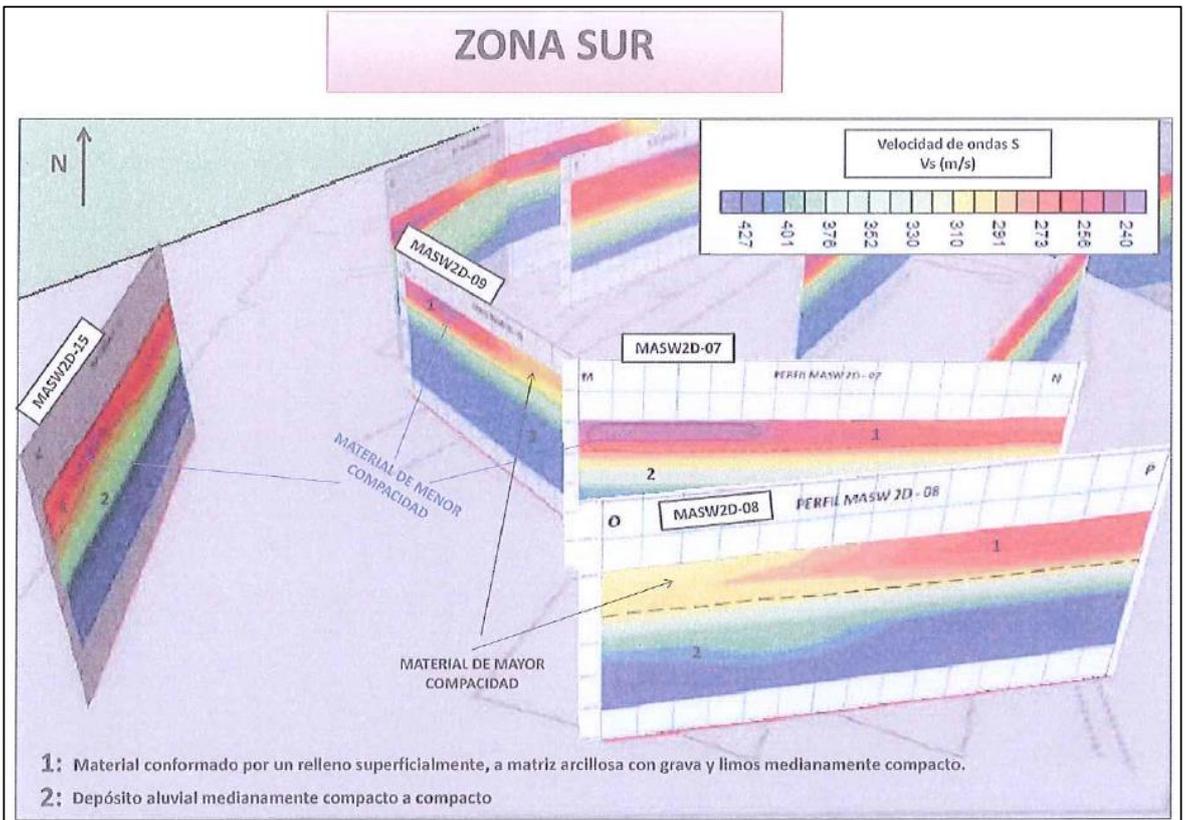
PRESENTACIÓN DEL ESTADIO HUANCAYO

ZONAS NORTE – SUR – ESTE – OESTE.

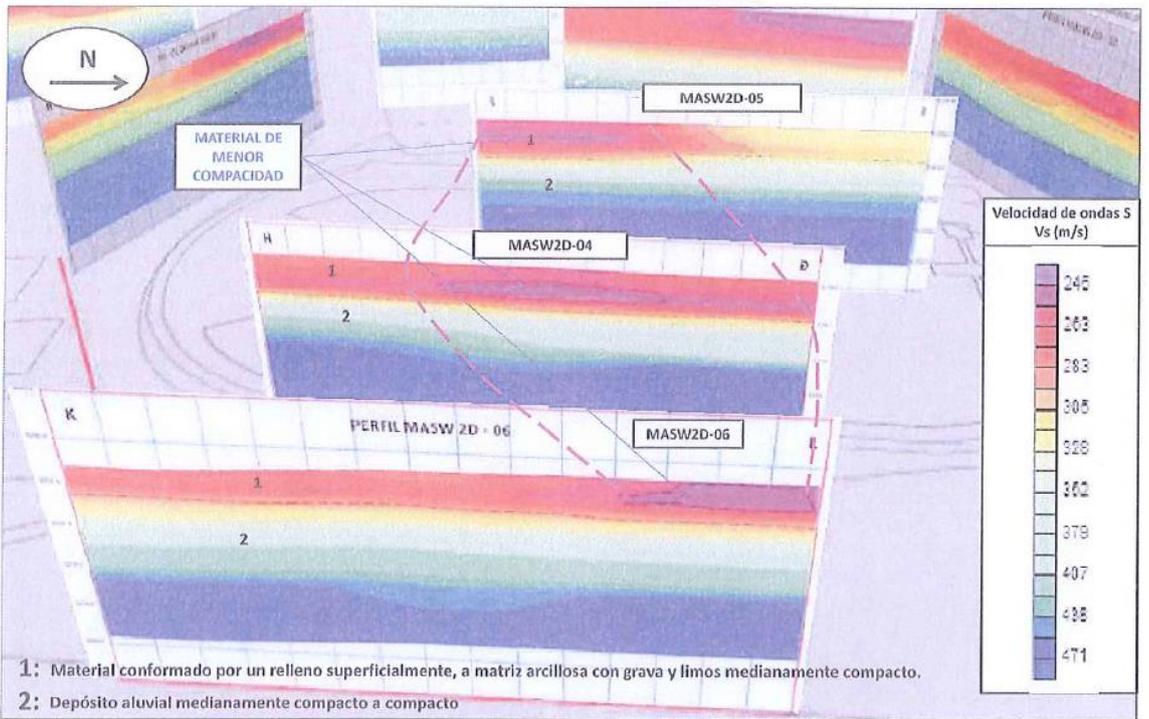


Vista de las intersecciones de los sondajes MASW2D-1 al MASW2D-15

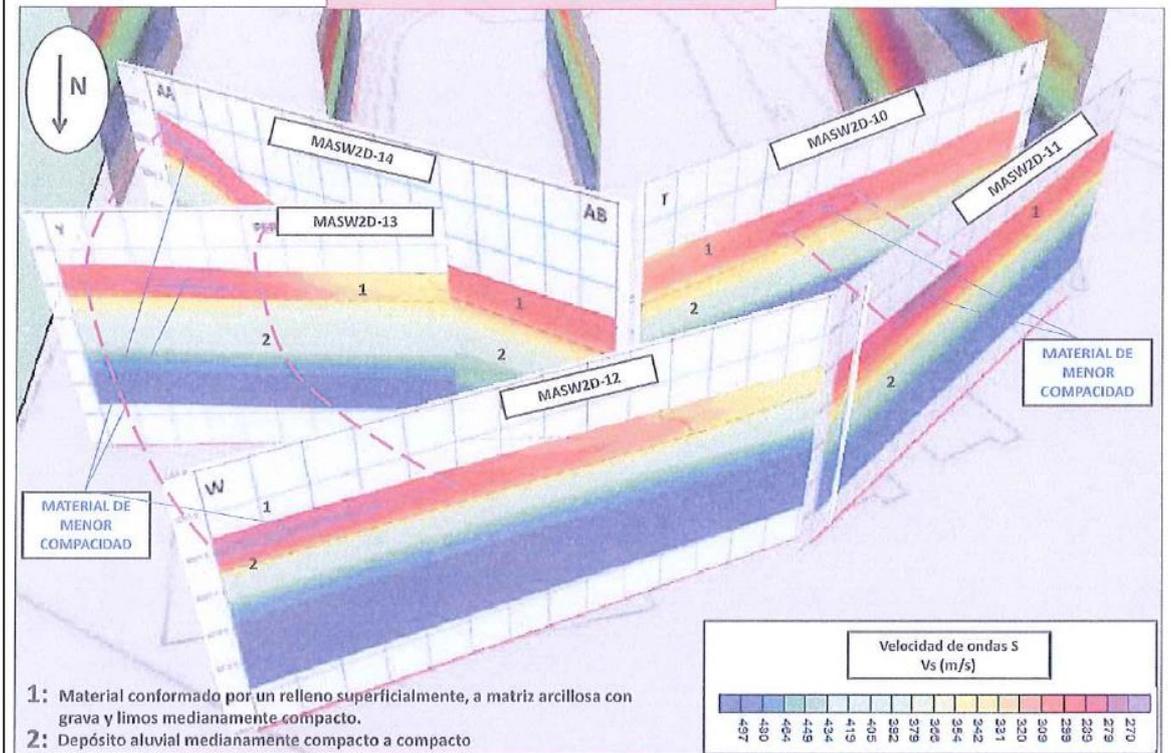
ZONA SUR



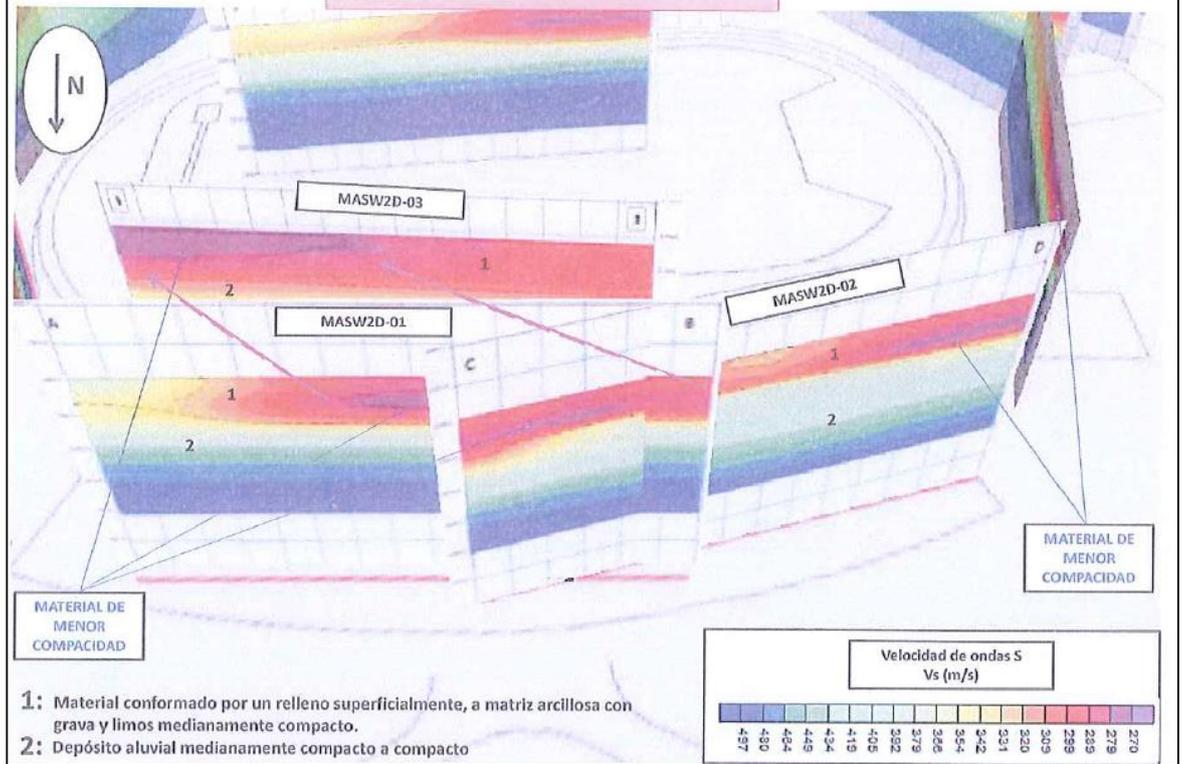
ZONA ESTE



ZONA NORTE



ZONA OESTE



VISTA - SW A NE

