

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA MASW - MAM Y  
PARÁMETROS ELÁSTICOS DEL PUENTE VEHICULAR  
INTERREGIONAL PAMPAS. AYACUCHO – APURIMAC. 2016”**

**PRESENTADO POR:  
BACH. ARTURO SANTOS ZEVALLOS FLORES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**HUANCAYO – PERÚ  
2017**

(HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS)

---

**DR. CASIO AURELIO TORRES LÓPEZ**  
**PRESIDENTE**

---

**JURADO**

---

**JURADO**

---

**JURADO**

---

**MG. MIGUEL ANGEL, CARLOS CANALES**  
**SECRETARIO DOCENTE**

**ASESOR:**

PhD. MOHAMED MEDHI HADI MOHAMED

## **DEDICATORIA**

A mis, padres, hermanos, esposa e hijos por la comprensión y confianza que depositaron durante mis estudios de pregrado en la UPLA y durante la realización de esta tesis.



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar quisiera agradecer a Dios por ser mi fuerza cada día. Así mismo también a mi Asesor de tesis PhD. Mohamed Medhi Hadi Mohamed, por incentivar me en realizar la tesis cada día e impartir su conocimiento a través de sus clases durante las clases de pregrado - UPLA.

Así mismo agradecer a la empresa INGEOTECON EIRL por participar en el presente proyecto. Es una empresa con amplia experiencia en el área de geotecnia, geofísica brindando soluciones a diferentes problemas y retos que implican las obras de ingeniería. La empresa en mención tiene como gerente general al Mg. Víctor Portal Quicaña.

El desarrollo de esta tesis se realizó en la empresa INGEOTECON EIRL, así mismo a lo largo de mi experiencia profesional conocí a muchos amigos: Rolando Renee Badaracco Meza, Jorge López, Héctor Vásquez, Yesenia Cantoral, Igor Valdivia, Miguel Días, Kevin Veneros, Ramiro Piedra, Goyo Cisneros, Jainor Cabrera, Luis Ali, Alan Angulo, Marco Carrasco, Erick Príncipe, Jesús Mendoza, Víctor Portal y Janet Andia; que me apoyaron en el procesamiento, interpretación y generación de planos para la presentación final de la presente tesis.

Finalmente, agradecer a mis padres y hermanos por el apoyo incondicional que me han brindado durante mi formación profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
ÍNDICE DE CONTENIDOS	6
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE CUADROS	11
LISTA DE TABLAS	12
LISTA DE PLANOS	14
LISTA DE ANEXOS	14
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
INTRODUCCIÓN	17
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>19</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	19
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	20
1.2.1. Problema General.....	20
1.2.2. Problemas Específicos .....	20
1.3 OBJETIVOS.....	20
1.3.1. Objetivo General.....	20
1.3.2. Objetivos Específicos .....	20
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.4.1. Justificación Práctica o Social .....	21
1.4.3. Justificación Metodológica.....	21
1.5 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.5.1. Delimitación Social .....	21
1.5.2. Delimitación Temporal.....	21
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MARCO TEORICO.....</b>	<b>22</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
2.2 BASE LEGAL.....	26
2.3 TEORÍAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
2.4 BASES TEÓRICAS .....	26
2.4.1. Teoría de Ondas Sísmicas de Cuerpo .....	26
2.4.2. Ondas Sísmicas de Superficie .....	28
2.4.3. Aplicaciones de las Ondas Sísmicas.....	29
2.4.4. Metodos Exploración Geofísica.....	29
2.4.4.1. Refracción Sísmica .....	29
2.4.4.2. Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) .....	37
2.4.4.3. Microtrepidaciones en Arreglos Multicanal (MAM) .....	49
2.4.4.4. Parámetros Elásticos del Subsuelo .....	52
2.5 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	57
2.6 HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	58
2.6.1. Hipótesis .....	58
2.6.1.1. Hipótesis General.....	58

2.6.1.2. Hipótesis Específicas .....	58
2.6.2. Variables e Indicadores .....	59
2.6.2.1. Identificación de Variables .....	59
2.6.2.2. Matriz de Consistencia .....	59

### **CAPÍTULO III**

<b>3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>60</b>
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	60
3.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....	60
3.3 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN .....	60
3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	60
3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	60
3.5.1. Población .....	60
3.5.2. Muestra .....	61
3.5.2.1. Tipo de Muestreo .....	61
3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	61
3.6.1. Técnicas .....	61
3.6.2. Instrumentos .....	61
3.7 IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PUENTE VEHICULAR INTERREGIONAL PAMPAS .....	62
3.8 EQUIPO E INSTRUMENTOS UTILIZADOS .....	63

### **CAPÍTULO IV**

<b>4. DESARROLLO Y RESULTADO DE LA INVESTIGACION .....</b>	<b>72</b>
4.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD .....	72
4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	74
4.2.1 Estado Actual .....	74
4.2.2 Estudio Topográfico .....	75
4.3 GEOLOGÍA .....	75
4.3.1 Geología Regional .....	75
4.3.1.1. Geomorfología .....	75
4.3.1.2. Geología Estructural .....	76
4.3.1.3. Litoestratigrafía .....	76
4.3.1.4. Geodinámica Externa .....	77
4.3.2 Geología Local .....	78
4.3.2.1. Geomorfología .....	78
4.3.2.2. Geología Estructural .....	78
4.3.2.3. Litoestratigrafía .....	78
4.3.2.4. Geodinámica Externa .....	80
4.4 PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO DE CAMPO .....	80
4.5 PROCESAMIENTO DE DATOS SÍSMICOS .....	88
4.5.1. Seismager y Tomografía Sísmica .....	88
4.5.2. Módulo Pickwin .....	89
4.5.3. Módulo Plotrefa .....	89
4.5.4. Tomografía Sísmica .....	89
4.6 INTERPRETACIÓN DE DATOS SÍSMICOS .....	91
4.7 RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN .....	93
4.7.1. Procesamiento de la Refracción Sísmica .....	94

4.7.1. Interpretación de Resultados – Sondajes MASW y MAM.....	96
4.7.3. Parámetros Elásticos.....	100
4.7.4. Clasificación del Sitio (Fuente IBC, 2015).....	101

## **CAPÍTULO V**

<b>5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>103</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>106</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>108</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>109</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura1.1.** (a) Modelo de propagación de ondas P y (b) Modelo de propagación de ondas S. (Kramer, S. L., 1996).
- Figura1.2.** (a) Modelo de propagación de ondas Rayleigh y (b) Modelo de propagación de ondas Love. (Kramer, S. L., 1996).
- Figura1.3.** Esquema de Investigación de la Refracción Sísmica (U. S. Army Corps of Engineers, 1995).
- Figura1.4.** Esquemática el estudio de refracción Sísmica (Redpath, B., 1973).
- Figura1.5.** Leyes de reflexión y refracción (Figuerola, J., C., 1974).
- Figura1.6.** La ley de Snell y la refracción de los rayos transmitidos a través de la frontera entre dos medios con diferentes velocidades ( $V_2 = 2V_1$ ) (Redpath, B., 1973).
- Figura1.7.** Caso simple con dos capas planas, límites paralelos y los correspondientes tiempos vs curva de distancia (Redpath, B., 1973).
- Figura1.8.** Esquema del caso múltiple de capas y el tiempo vs curvas de distancia (Redpath, B., 1973).
- Figura1.9.** Ejemplo de la interfaz de inmersión y los conceptos de disparo inverso y "velocidad aparente" (Redpath, B., 1973).
- Figura1.10.** El método activo MASW (<http://www.masw.com-01/07/16>)
- Figura1.11.** Las pendientes planas o suaves son adecuadas para el método activo MASW. Sin embargo, la topografía puede interferir en la propagación de las ondas de superficie. (<http://www.masw.com-01/07/16>).
- Figura1.12.** Atenuación de las ondas sísmicas a diferentes distancias a partir de la fuente (Socco y Strobbia, 2004).
- Figura1.13.** Curva de Dispersión Sondaje MASW-06 - Represa Chaupicocha Dique 2:(Fuente Propia 22/09/14).
- Figura1.14.** (a) Registro Sísmico Multicanal de un modelo que consiste en un estrato sobre un semi-espacio. (b) Aplicación de la transformada, luego (c) una transformada de Fourier en una dimensión (Park et al. 1999).
- Figura1.15.** Esquema de los dos métodos de transformación (Hayashi, 2008).
- Figura1.16.** (a) Acumulación de Shots en el dominio del tiempo y (b) su respectiva imagen de velocidad de fase en el dominio de la frecuencia (Ingeotecon EIRL. - Fuente Propia 10/06/16).
- Figura1.17.** Modelo inicial basado en un 1/3 de la transformación de la longitud de onda (Hayashi, 2008).
- Figura1.18.** Comparación entre la curva de dispersión observada y teórica (Hayashi, 2008).
- Figura1.19.** Esquema mostrando que las ondas superficiales de longitud de onda más corta reflejan la velocidad de la onda de corte ( $V_s$ ) superficial y las más largas reflejan la velocidad de la onda de corte ( $V_s$ ) más profunda. SAGEEP 2003 Short Course.
- Figura1.20.** Arreglos de método pasivo MAM. SAGEEP 2003 Short Course.

- Figura 1.21.** (a) Registro sísmico de las ondas superficiales del ensayo MAM y su respectiva (b) curva de dispersión, así como el (c) perfil sísmico de Vs que se obtiene de la inversión de la curva de dispersión. (Ingeotecon EIRL. - Fuente Propia 10/06/16).
- Figura 2.1.** Esquema de geófono biaxial (izquierda) y modelo de geófono biaxial (derecha) – Equipos de la Empresa INGEOTECON E.I.R.L.
- Figura 2.2.** Cable de conexión de geófonos – Equipos de la Empresa Ingeotecon E.I.R.L.
- Figura 2.3.** Sismógrafo Modelo GEODE de 24 canales (Geometrics, 2001)
- Figura 2.4.** Unidad de control y almacenamiento – Equipos de la Empresa INGEOTECON E.I.R.L.
- Figura 2.5.** Martillo y plato de golpe – Equipos de la Empresa INGEOTECON E.I.R.L.
- Figura 2.6.** Ubica Sistema de disparo: interruptor de martillo (izquierda) y cable de extensión del trigger (derecha) – Equipos de la Empresa INGEOTECON E.I.R.L.
- Figura 2.7.** Equipos e instrumentos utilizados – Equipos de la Empresa INGEOTECON E.I.R.L.
- Figura 3.1.** Mapa Vial Ayacucho (Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - 2015).
- Figura 3.2.** Mapa Vial Apurímac (Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - 2015).
- Figura 3.3.** Trazo de la línea de inspección en la que se ponen marcas para ubicar c/u de los geófonos y la fuente de energía (Fuente Propia, 10/10/14).
- Figura 3.4.** Configuraciones utilizadas para la realización de ensayos de Refracción Sísmica, utilizando cuatro puntos de disparo (sismógrafo de 12 canales) – (Msc. Ing. Huamán Egoávil-Bach, Carlos, 1999).
- Figura 3.5.** Configuraciones utilizadas para la realización de ensayos de Refracción Sísmica, utilizando cinco puntos de disparo (sismógrafo de 24 canales) – (Msc. Ing. Huamán Egoávil-Bach, Carlos, 1999).
- Figura 3.6.** Receptores o Geófonos (Geometrics, 2001).
- Figura 3.7.** Ubicación de cable de conexión de geófonos (izquierda) y del dispositivo disparador o trigger (derecha) – (Fuente Propia).
- Figura 3.8.** Disposición del Equipo para el Ensayo de Refracción Sísmica – (Msc. Ing. Huamán Egoávil-Bach, Carlos, 1999).
- Figura 3.9.** Expediente de un registro obtenido de la fuente de energía para un punto de disparo determinado (Fuente Propia).
- Figura 3.10.** Esquema planteado para la inversión. (Modificado del Manual de Seislmager - Geometrics, 2001).

## LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1.1.** Técnica – Instrumento - Datos
- Cuadro 1.2.** Elementos Estadísticos a Emplearse en la Investigación
- Cuadro 1.3.** Descripción de las fuentes de impacto (ASTM Designation D5777, 1995).
- Cuadro 1.4.** Tipos de Explosivos Industriales más Comunes (Rosales Climent, Cristina. 2001).
- Cuadro 1.5.** Coordenadas Trazadas del Estudio
- Cuadro 1.6.** Acceso a la zona de estudio (Fuente: MTC)
- Cuadro 1.7.** Geología de los Cuadrángulos de Huancapi, Chincheros, Querobamba y Chaviña. (Fuente: Ingemmet).
- Cuadro 1.8.** Los principales procesos geodinámicas del área de estudio.
- Cuadro 1.9.** Longitud de la línea (metros), según cantidad de canales y separación de Geófonos (Fuente Propia).
- Cuadro1.10.** Parámetros Elásticos – Estribo Izquierdo – (LRS-01 / M-01)
- Cuadro1.11.** Parámetros Elásticos – Estribo Derecho – (LRS-05 / MASW-05)
- Cuadro1.12.** Velocidades promedio de ondas de corte a 30 m de profundidad (Vs30).
- Cuadro1.13.** Velocidades promedio de ondas de corte a 30 m de profundidad. Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” Del Reglamento Nacional De Edificaciones.

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.1.** Tabla Resumen sobre Valores Típicos o Representativos de Campo de Velocidades de Ondas “P” para Varios Materiales.
- Tabla 1.2.** Tabla Resumen sobre Valores Típicos o Representativos de Campo de Velocidades de Ondas “P” para Varios Materiales.
- Tabla 1.3.** Clasificación del Sitio (Fuente IBC, 2015).
- Tabla 1.4.** Resumen sobre Valores Típicos o Representativos de Campo de Velocidades de Ondas “S” para Varios Materiales.
- Tabla 1.5.** Valores Típicos o Representativos de Campo de  $\rho$  (densidad) para Varios Materiales.
- Tabla 1.6.** Valores representativos de la relación de Poisson ( $\nu$ ).
- Tabla 1.7.** Coordenadas WGS 84 – Ensayos Geofísicos – Refracción Sísmica.
- Tabla 1.8.** Coordenadas WGS 84 – Sondajes MASW y MAM
- Tabla 1.9.** Relación de Ensayos de Refracción Sísmica
- Tabla 1.10.** Relación de Sondajes MASW
- Tabla 1.11.** Relación de Sondajes MAM
- Tabla 1.12.** Resumen de los ensayos de Velocidades de Ondas P – Refracción Sísmica.
- Tabla 1.13.** Resumen de los Sondajes de Velocidades de Ondas S.
- Tabla 1.14.** Rango de Velocidades para Ondas Compresionales en Suelo y Roca. (Fuente: NORMA ASTM D 5777).
- Tabla 1.15.** Valores Típicos o Representativos de Campo de  $V_p$ ,  $P_b$  (densidad) y  $\nu$  (Modulo de Poisson) para Varios Materiales. (Fuente: U.S. Army Corps of Engineers, 1995).
- Tabla 1.16.** Velocidad de Propagación de Ondas Sísmicas en Materiales Sub-superficiales. (Fuente: Redpath B., 1973).
- Tabla 1.17.** (Continuación). Velocidad de Propagación de Ondas Sísmicas en Materiales Sub-superficiales. (Fuente: Redpath B., 1973).
- Tabla 1.18.** Clasificación de Acuerdo a Materiales. (Fuente: Redpath B., 1973).
- Tabla 1.19.** Velocidad de las Ondas P en las Litologías Más Comunes. (Fuente: Rodríguez, Manuel Arlandi. “Geofísica Aplicada a la Obra Civil. Método Geoléctrico y Sísmica de Refracción. Casos Prácticos” Geoconsult Ingenieros Consultores. Valencia, España. 2001).
- Tabla 1.20.** Velocidades Típicas de Ondas P. (Fuente: “Tesis sobre el Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área de Cañaveralejo, Cali, Colombia”. Universidad del Valle, Cali, Colombia. 2001).
- Tabla 1.21.** Rangos Usuales de Variación de la Velocidad de Compresión en Diversos Tipos de Materiales Geológicos. (Fuente: “Geofísica Aplicada en los Proyectos Básicos de Ingeniería Civil”. Instituto Mexicano de Transporte, 2003).



- Tabla 1.22.** Velocidades de Ondas P y S en Diferentes Medios. (Fuente: “Manual of Seismological Observatory Practice”, World Data Center for Solid Earth Geophysics, Report SE-20, Japón, 1979).
- Tabla 1.23.** Velocidades de Ondas P y S en Diferentes Medios. (Fuente: “Borehole Shear Wave Survey for Engineering Site Investigations”. Geostuff, 2002).
- Tabla 1.24.** Valores representativos de la relación de Poisson. (Fuente: Braja M. Das; “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”).
- Tabla 1.25.** Algunos Cocientes de Poisson según Salem. (Fuente: “Tesis sobre el Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área de Cañaveralejo, Cali, Colombia”. Universidad del Valle, Cali, Colombia. 2001).
- Tabla 1.26.** Relación de Poisson  $\nu$  asociado a diferentes tipos de materiales. (Fuente: “Tesis sobre el Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área de Cañaveralejo, Cali, Colombia”. Universidad del Valle, Cali, Colombia. 2001).

## LISTA DE PLANOS

- Plano 1.** Ubicación del proyecto.  
**Plano 2.** Ubicación de exploración Geofísica Puente Vehicular Interregional Pampas.  
**Plano 3.** Geológico Regional - Puente Vehicular Interregional Pampas  
**Plano 4.** Geológico Local - Puente Vehicular Interregional Pampas

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo A1** Matriz de Consistencia  
**Anexo A2** Cuadro de Operacionalización de Variable  
**Anexo A3** Formatos del levantamiento de datos geofísicos  
Hoja de Campo - Manual VS30. Chile 2015  
Formato de Empresa Geofísica  
**Anexo B1** Efectividad de Método - Manual Vs30, Chile 2015  
**Anexo C1** Costos: Métodos Sísmico y Perforación Diamantina  
**Anexo 1.1.** Registros de Ondas Sísmicas –Refracción Sísmica.  
**Anexo 1.2.** Domocrónicas.  
**Anexo 1.3.** Perfil Sísmico de las Líneas de Refracción Sísmicas.  
**Anexo 2.1.** Registro de Ondas Sísmicas- Sondaje MASW.  
**Anexo 2.2.** Curvas de dispersión – Sondajes MASW.  
**Anexo 2.3.** Registros de Ondas Sísmicas – Sondajes MAM  
**Anexo 2.4.** Curvas de Dispersión – Sondajes MAM  
**Anexo 2.5.** Modelo Unidimensional de Ondas de Corte MASW-MAM  
**Anexo 3.1.** Fotografías – Geofísica – Refracción Sísmica.  
**Anexo 3.2.** Fotografías – Sondajes MASW.  
**Anexo 3.3.** Fotografías – Sondajes MAM.

## RESUMEN

La investigación parte de la problemática: ¿Qué criterios técnicos se toman en cuenta para elegir el método de refracción sísmica MASW – MAM para el cálculo y evaluación de los parámetros elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac. 2016? El objetivo general consiste en: Determinar qué criterios técnicos se toman en cuenta para elegir el de los métodos de Refracción Sísmica MASW – MAM, para el cálculo y evaluación de los parámetros elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac. 2016; y la hipótesis principal: Los criterios técnicos que se toman en cuenta para elegir los métodos de refracción sísmica MASW – MAM, servirán para determinar el cálculo y evaluación de los parámetros elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac. 2016.

El tipo de investigación es aplicada o tecnológica, el nivel de investigación es exploratorio - correlacional y el diseño: no experimental con un enfoque cuantitativo y por la naturaleza de la investigación, la población está definida del tramo Km 0+000 al 0+250 y del Km 0+320 al 0+570 y el tipo de muestreo es no aleatorio o dirigido y en este caso será la proyección de los estribos del tramo Km 0+175 al 0+250 y del Km 0+320 al 0+395.

Los criterios técnicos que se toman en cuenta para elegir los métodos de refracción sísmica MASW – MAM, servirán para determinar el cálculo y evaluación de los parámetros elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac. 2016.

**PALABRAS CLAVES:** Métodos de Refracción Sísmica, MASW – MAM, Parámetros Elásticos del Puente Vehicular, Perfil Sísmico Unidimensional y Coeficiente de Poisson.

## ABSTRACT

The research starts from the problem: Which technical criteria are taken into account to choose the MASW - MAM seismic refraction method for the calculation and evaluation of the elastic parameters of the Pampas Interregional Vehicular Bridge. Ayacucho - Apurímac. 2016? The general objective is to: Determine which technical criteria are taken into account to choose the MASW - MAM Seismic Refraction methods for the calculation and evaluation of the elastic parameters of the Pampas Interregional Vehicular Bridge. Ayacucho - Apurímac. 2016; and the main hypothesis: The technical criteria used to choose the MASW - MAM seismic refraction methods will be used to determine the calculation and evaluation of the elastic parameters of the Pampas Interregional Vehicular Bridge. Ayacucho - Apurímac. 2016.

The type of research is applied or technological, the level of research is exploratory - correlational and the design: non - experimental with a quantitative approach and the nature of the research, the population is defined as the Km 0 + 000 to 0 + 250 and from km 0 + 320 to 0 + 570 and the sampling type is non-random or directed and in this case the projection of the stirrups of section Km 0 + 175 to 0 + 250 and of Km 0 + 320 to 0 + 395.

The technical criteria used to choose the MASW - MAM seismic refraction methods will be used to determine the calculation and evaluation of the elastic parameters of the Pampas Interregional Vehicular Bridge. Ayacucho - Apurímac. 2016.

**KEY WORDS:** Seismic Refraction Methods, MASW - MAM, Vehicle Bridge Elastic Parameters, One-dimensional Seismic Profile and Poisson Coefficient.

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis lleva por título “Métodos de Refracción Sísmica MASW - MAM y Parámetros Elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac. 2016”, mediante los métodos de Refracción Sísmica MASW – MAM, nos permite obtener las velocidades de las ondas P y las velocidades de las ondas S (A nivel superficial y a profundidades mayores a 30m) respectivamente.

Así mismo para el procesamiento y análisis de los resultados anteriores se debe considerar una amplia variedad de condiciones, una distribución adecuada de las líneas en campo (características geométricas lineales), la adquisición de las señales sísmicas deben ser las más nítidas posibles, revisión de cada geófono en campo, revisión de las conexiones geófono – cable sísmico, plantado de cada geófono al suelo (enterrarlo si fuese el caso), composición y las características geológicas del área de estudio.

La metodología de este trabajo se desarrolla según investigaciones nacionales como internacionales para la obtención de la caracterización del suelo y/o parámetros elásticos en cada área de estudio. Así mismo la metodología se realiza según normas internacionales.

La presente investigación tiene como objetivo analizar los Métodos de Refracción Sísmica MASW - MAM y Parámetros Elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas, basado en una amplia revisión bibliográfica, en esta primera fase y por ende en la presente investigación, se contextualiza el efecto que produce la aplicación de los métodos sísmicos en el Puente Vehicular Interregional Pampas. Presentaremos los alcances y las limitaciones de los mismos.

Se ha organizado la tesis en cinco capítulos, siendo:

**CAPÍTULO I.** Trata del planteamiento del problema, formulación del problema, problema general y específicos, objetivo general y específicos, justificación y delimitación de la investigación.

**CAPÍTULO II.** Se presentan antecedentes del estudio, el marco teórico y bases teóricas, bases legales (normas), definición de términos básicos, plantea la hipótesis general y específica, las variables e indicadores y su matriz de consistencia

CAPÍTULO III. Se expone la metodología de la investigación, Tipo de investigación, nivel de la investigación, Método de la investigación, Diseño de la investigación, Población y muestra, Técnicas e instrumentos de recolección de datos (Procesamiento de los datos, análisis de datos), (Identificación, Caracterización y Descripción del Puente) y Equipo e Instrumentos Utilizados.

CAPÍTULO IV. Se presenta el desarrollo y resultado de la investigación.

CAPÍTULO V. Se expone la discusión de resultados.

Luego se presentan las conclusiones, recomendaciones y referencia bibliográfica.

Finalmente se adjunta las fuentes de información y respectivos anexos con información imprescindible que sustentan la elaboración de la tesis.

## **CAPÍTULO I**

### **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Descripción de la Realidad Problemática**

Probablemente el método geofísico más utilizado para obtener datos para Geotecnia del subsuelo somero son los ensayos de Refracción Sísmica, MASW y MAM. En este método la fuente y los detectores se encuentran alineados en la superficie del terreno. Se obtienen registros de las ondas que viajan desde la fuente hasta los detectores a través del subsuelo siguiendo diversas trayectorias o caminos. En particular aquí interesan aquellas ondas que siguen la trayectoria de tiempo mínimo y que son las primeras que llegan a cada detector. Con ellas se dibuja un gráfico donde las abscisas son distancias desde la fuente hasta cada detector y el eje de las ordenadas son los respectivos tiempos de primera llegada. Este gráfico se denomina gráfico tiempo-distancia, y las curvas representadas son las dromocrónicas. En principio, a partir de este gráfico es posible calcular el perfil de espesores y la velocidad de propagación de las ondas sísmicas primarias de cada estrato en el subsuelo (José M. C., 2000). El método activo MASW se introdujo por primera vez en Geofísica (Park et al., 1999). Es el modo convencional de investigación, la recopilación de datos en un modo de despliegue a lo largo de una fuente activa sísmica (por ejemplo, un martillo) y un conjunto de receptores lineal. El análisis de múltiples canales de ondas superficiales método (MASW) es uno de los métodos de investigaciones sísmicas que evalúan la condición elástico (rigidez) de la tierra para fines de ingeniería geotécnica (Park et al., 1999). Este método consiste en la interpretación de las ondas superficiales (ondas Rayleigh) de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno, obteniéndose el perfil de velocidades de ondas de corte ( $V_s$ ) para el punto central de dicha línea (Park et al., 1999).

## **1.2 Formulación del Problema de Investigación**

### **1.2.1. Problema General**

¿Qué criterios técnicos se toman en cuenta para elegir el método de refracción sísmica MASW – MAM para el cálculo y evaluación de los parámetros elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac. 2016?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- A.** ¿De qué manera la aplicación de los métodos de refracción sísmica, análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal MASW y MAM, influye para el cálculo del coeficiente de Poisson del suelo en el Puente Vehicular Interregional Pampas?
- B.** ¿Cuál es el perfil sísmico unidimensional de ondas de corte evaluadas mediante el análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal MASW y MAM, en el Puente Vehicular Interregional Pampas?
- C.** ¿Tendrá un respaldo de control de calidad la aplicación de los métodos de Refracción Sísmica MASW – MAM para la construcción del Puente Vehicular Interregional Pampas?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar qué criterios técnicos se toman en cuenta para elegir el de los métodos de Refracción Sísmica MASW – MAM, para el cálculo y evaluación de los parámetros elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac. 2016.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- A.** Evaluar de qué manera la aplicación de los métodos de refracción sísmica, análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal MASW y MAM, influye para el cálculo del coeficiente de Poisson del suelo en el Puente Vehicular Interregional Pampas.
- B.** Determinar cuál es el perfil sísmico unidimensional de ondas de corte evaluadas mediante el análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal MASW y MAM, en el Puente Vehicular Interregional Pampas.



- C. Establecer si existe un respaldo de control de calidad la aplicación de los métodos de refracción sísmica MASW – MAM para la construcción del Puente Vehicular Interregional Pampas.

## **1.4 Justificación de la Investigación**

### **1.4.1. Justificación Práctica o Social**

La problemática encontrada en las localidades de Incachaca y Chacabamba, es que no cuentan con un puente vehicular que comuniquen vialmente ambos distritos, dado que cuentan con recursos agropecuario y potencial turísticos.

### **1.4.3. Justificación Metodológica**

La presente tesis de investigación tiene una justificación metodológica porque en ella se usara una metodología propia del investigador para ello usara lo siguiente:

- Levantamientos de datos sísmicos.
- Instrumentos de recolección de datos
- Análisis e interpretación de la información

Esta justificación metodológica podrá servir como base para otros niveles de investigación y/o servirán para preparar terreno para nuevos estudios.

## **1.5 Delimitación de la Investigación**

### **1.5.1. Delimitación Social**

La presente investigación se realizará en las siguientes unidades de análisis:

PERSONAS:

- Ingenieros Civiles y Residentes de Obra.

DOCUMENTOS:

- Manual: Norma Técnica para la Construcción de Puentes Vehiculares en el Perú, Norma Técnica E.030.2016 “Diseño Sismorresistente”.

### **1.5.2. Delimitación Temporal**

Se recopilarán datos para la investigación principalmente entre el periodo comprendido del 15 de Julio a Diciembre del 2016; aunque se tomarán en consideración algunos antecedentes referenciados del año 2015.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1 Antecedentes de la Investigación

- a) **Cecilia Guerrero Sánchez. (2010). Tesis: “Estudio de la dispersión de las ondas superficiales con fines geotécnicos” Año 2010. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Laboratorio de Geofísica de la Universidad de los Andes. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Mérida – Venezuela.**

El autor hace una investigación en un área de estudio ubicada en la ciudad de Mérida, ciudad que se encuentra asentada sobre la zona de fallas de Boconó, la cual ha sido causante de varios de los sismos más severos ocurridos en el territorio nacional, el objetivo fundamental de esta investigación fue el de aplicar el análisis de la dispersión de las ondas superficiales para generar modelos de velocidades de onda “S”, en varias zonas de la ciudad de Mérida, para complementar y comparar con los estudios de sísmica de refracción ya realizados y para que pueda ser aplicada en otras ciudades andinas. Para este estudio se utilizaron 5 perfiles, obtenidos de los levantamientos realizados por las tesistas de ingeniería geológica, utilizando una fuente activa. A partir del estudio de dispersión en estos perfiles, se obtuvo que las curvas de dispersión de la Onda Rayleigh realizadas por el método F-K y por el método MASW, generaron resultados equivalentes, hecho importante ya que el Geopsy es un software libre, el cual podrá ser utilizado en trabajos posteriores reduciendo los costos de los mismos. Los modelos de velocidad obtenidos por medio de la inversión de cada una de las curvas de dispersión generadas para cada perfil dieron buenos resultados, sirviendo de aporte para la caracterización de algunos de algunos de los suelos de la ciudad de Mérida, y de esta manera se contribuye con el proyecto desarrollado. Sus principales conclusiones son:

- Para reducir los efectos de campo cercano en cada uno de los registros estudiados fue suficiente con eliminar las diez primeras trazas de un total de 48.

- En las curvas de dispersión no se observaron los efectos de campo lejano mostrados en el artículo Park, esto se verificó dividiendo el registro de 38 trazas en dos partes. Las dos curvas de dispersión resultantes fueron muy similares entre si y similares a la curva de dispersión realizada con el registro compuesto.
- Se compararon las curvas de dispersión de la onda Rayleigh de cada perfil, realizadas por el método F-K y por el método MASW obteniéndose dos curvas muy bien acopladas, consistentes y complementarias.
- Debido que el uso de la dispersión de las ondas superficiales (método activo) aprovecha los mismos datos adquiridos y procesados en Sísmica de Refracción, se recomienda combinar el uso de ambos métodos.

**b) H. Naranjo., T. Dranichnikov. (2012) “Cálculo De Capacidad Portante Basado En Geofísica Y Método Convencional-El Caso Del Puente Sobre El Río Maicito. Ingeniería y Ciencia. Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador.**

El tema de esta tesis es muy actual en el ámbito científico de todas las naciones y a la vez, y también bastante discutido. La aplicación de las investigaciones geofísicas, en general, y de sísmica de refracción, en particular, se utiliza ampliamente en las obras de ingeniería civil, como en las construcciones hidroeléctricas, puentes, túneles y otras de gran envergadura. Dentro del ámbito de la geotecnia, este método ha tenido gran protagonismo por la diversidad y naturaleza de los problemas que pueden ser resueltos. Al mismo tiempo, se trata de metodología no invasiva que permite conocer las características físicas del terreno, determinar su carga portante y grado de compactación evitando perforaciones generalmente costosas.

La Metodología de este trabajo de investigación muestra la técnica y factores que llevan a determinar cuál de los métodos es el más aconsejable y favorable para ser empleado en los estudios de capacidad de carga para cimentaciones. El trabajo consistió en la recolección de todos los datos referidos a los estudios realizados para la cimentación de la ampliación del puente sobre el río Maicito ubicado en el kilómetro 13+780 de la carretera El Carmen-La Crespa. Sus principales conclusiones son:

- El método geofísico por refracción sísmica es un ensayo que permite, desde la superficie, medir la velocidad de propagación de ondas sísmicas en el terreno. Las ondas sísmicas se generan de forma artificial en un punto de la superficie del terreno y viajan en todas direcciones. El ensayo consiste en registrar los tiempos de viaje de las ondas hasta una serie de sensores o geófonos superficiales, instalados en una línea recta con origen en el punto de emisión.
- Los estudios geofísicos se correlacionaron con las investigaciones geológicas y geotécnicas, con sondeos, pruebas in situ e investigaciones geofísicas.
- La Sobre las muestras extraídas de los sondeos se efectuaron también pruebas de laboratorio, y los resultados de todas estas investigaciones fueron relacionados determinando las más aceptables características mecánicas del sitio para la ampliación del puente sobre el río Maicito.
- El ensayo de refracción sísmica es aceptable, confiable y recomendable para los cálculos de capacidades portantes para diferentes tipos de obras. Además, presentan resultados de los terrenos in situ sin provocar ningún tipo de cambios de las características y propiedades del mismo al ser golpeado como el ensayo de penetración estándar o extraída de su sitio natural para ensayos en el laboratorio (triaxial).

**c) J. Alberto Czelada. (2009) “Medición Del Módulo De Young Y Módulo De Corte Mediante Técnicas Geofísicas”. Facultad de Ingeniería-UBA. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires-Argentina.**

El objetivo de esta tesis es el desarrollo e implementación de técnicas de medición del módulo de Young y del módulo de corte de suelos naturales a través de la velocidad de propagación de ondas sísmicas.

El comportamiento mecánico del suelo depende del campo de tensiones aplicado y del nivel de deformación. En particular, existe una respuesta a baja deformación que es gobernada por los módulos de rigidez – Young y Corte – máximos, también denominados módulos dinámicos. Las técnicas que miden éstos módulos se denominan geofísicas ya que la magnitud física registrada es la velocidad de propagación de ondas – por lo general – en su superficie o en perforaciones.

Entre las ventajas de utilizar este tipo de técnicas se puede mencionar que los ensayos son de realización in-situ. Esto implica que no se alteran las propiedades del suelo que se estudian, como ocurre en los ensayos ex situ. Otras ventajas son la rapidez y economía de los ensayos, que permiten la investigación de áreas extensas o alineaciones de gran longitud.

Por lo tanto, son métodos adecuados para completar información directa de campo, por ejemplo para mejorar el conocimiento de un terreno que haya sido investigado con sondeos alejados entre sí y establecer, en su caso, la necesidad de realización de sondeos intermedios.

En esta tesis se investigaron la técnica de sísmica de refracción y la técnica SASW (Spectral Analysis of Surfaces Waves). Ambas técnicas se realizan en la superficie del terreno y su objetivo es el conocer su estructura, por medio de la medición de velocidades de propagación. En el ensayo de sísmica de refracción se mide la velocidad de las ondas de compresión refractadas en estratos más profundos. Por otra parte, en el ensayo SASW se miden las ondas de Rayleigh que atraviesan el terreno para obtener el perfil de velocidades de onda de corte ya que se encuentra directamente relacionado con la estructura del mismo. Sus principales conclusiones son:

- Se introdujo la teoría de propagación de ondas de manera conceptual, con el objetivo de conocer el comportamiento de las ondas de compresión y las ondas de Rayleigh cuando se propagan a través de terrenos con diferentes estratigrafías. Además, se pudieron obtener las propiedades mecánicas del suelo a través de las velocidades de propagación de las ondas P y R, cumpliendo con el objetivo de esta tesis el cual era calcular el módulo de Young y el módulo de Corte a baja deformación.
- Para poder calcular el módulo de Young por las mediciones que se obtienen de la técnica de sísmica de refracción se debió adoptar el módulo de Poisson, y es esta la razón que hace a esta técnica imprecisa al calcular el módulo de Young.
- Por otra parte para poder calcular el módulo de corte por las mediciones que se obtienen de la técnica SASW, se presenta como dificultad que dicha técnica se basa en la medición exclusiva de las ondas de Rayleigh

de todas las ondas existentes en el registro, ya que ellas son las únicas utilizadas en el proceso de inversión. Una de las desventajas más importantes de esta técnica es que el resultado no es unívoco y pueden encontrarse varios perfiles que verifiquen con el análisis inverso.

Estas técnicas por si solas dejan varias ambigüedades sin resolver, por lo que deben ser utilizadas con información adicional como también tratar de combinarse y hallar por ejemplo el módulo de Poisson experimental.

## **2.2 Base Legal**

Con los dispositivos y normas jurídicas enmarcadas en los D.S., Leyes, Artículos y Reglamentación del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para la construcción, rehabilitación y conservación de carreteras y puentes vehiculares en el Perú, a continuación se detallan las normas utilizadas:

- ASTM. Designation - D5777. (2008). “Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation”. American Society for Testing and Materials, Philadelphia. 35 pag.
- Norma Peruana NTE E.030, (2016). Diseño Sismorresistente. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- The International Building Code®, (2015) edition. Clasificación Del Sitio IBC.
- National Earthquake Hazards Reduction Program (2015). Clasificación Del Sitio NEHRP.

## **2.3 Teorías de la Investigación**

Con los dispositivos y normas jurídicas enmarcadas en los D.S., Leyes, Artículos y Reglamentación del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para la construcción, rehabilitación y conservación de carreteras y puentes vehiculares en el Perú.

## **2.4 Bases Teóricas**

### **2.4.1. Teoría de Ondas Sísmicas de Cuerpo**

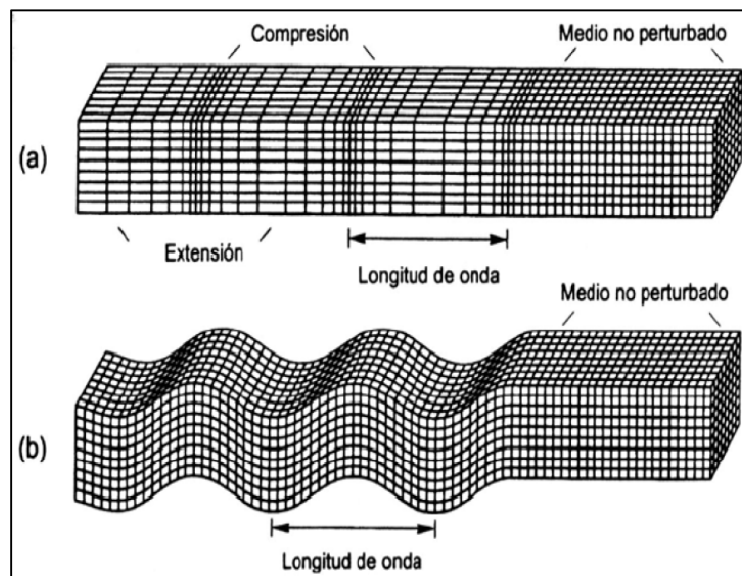
Dos tipos de ondas de cuerpo pueden viajar a través de medios elásticos, éstas son las ondas longitudinales, primarias o compresionales y las ondas transversales, secundarias o cortantes (Figura 1.1).

- **TEORÍA DE ONDAS PRIMARIAS O COMPRESIONALES**

Las ondas P, también conocidas como ondas primarias, de compresión o longitudinales, producen sucesivas compresiones y dilataciones a través de los materiales por los que se propagan. Son análogas a las ondas de sonido, ya que las partículas del medio se mueven en el mismo sentido en que se propaga la onda. Igual que las ondas de sonido, las ondas P pueden viajar a través de sólidos y fluidos (incluido el aire) (Kramer, S. L., 1996).

- **TEORÍA DE ONDAS SECUNDARIAS O CORTANTES**

Las ondas S, también conocidas como ondas secundarias, de corte o transversales, causan deformaciones de corte cuando viajan a través de un material. El movimiento de la perturbación es perpendicular a la dirección de propagación de la onda S. La dirección del movimiento de una partícula se puede utilizar para dividir las ondas S en dos componentes, SV (movimiento en un plano vertical) y SH (movimiento en un plano horizontal). La velocidad a la que viajan las ondas de corte varía en función de la rigidez de los materiales a través de los que viajan. Las ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte (Kramer, S. L., 1996).



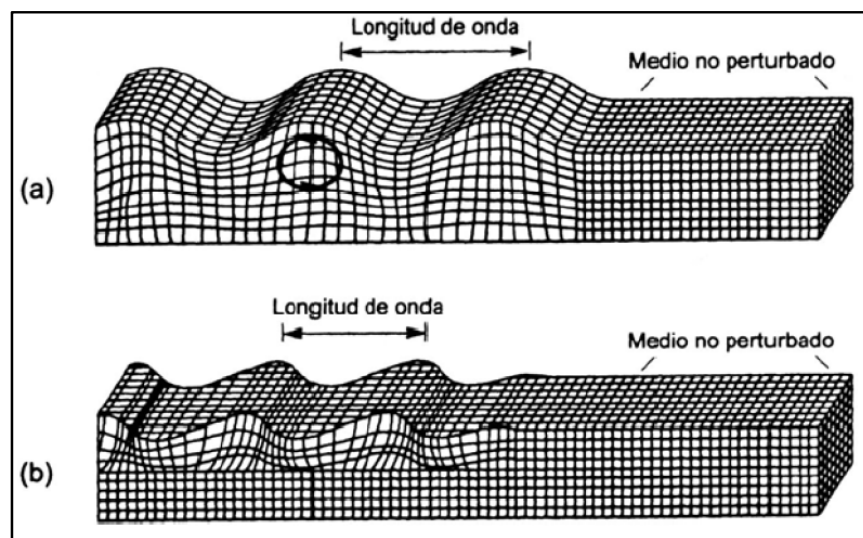
**Figura 1.1:** (a) Modelo de propagación de ondas P y (b) Modelo de propagación de ondas S. (Kramer, S. L., 1996).

## 2.4.2. Ondas Sísmicas de Superficie

Las ondas superficiales son las que viajan sobre la superficie de la Tierra y se desplazan a menor velocidad que las ondas de corte. De estas ondas hay dos tipos: ondas Rayleigh y ondas Love (Figura 1.2). Las ondas superficiales tienen la característica de cambiar de forma mientras viajan, debidos a que las diferentes componentes de las frecuencias que las constituyen se propagan a diferentes velocidades, lo cual se conoce como onda de dispersión (Kramer, S. L., 1996).

**ONDAS LOVE:** Son el resultado de la interacción de las ondas SH con una capa blanda superficial. No tienen componente vertical del movimiento (Figura 1.2b). Se propagan con un movimiento de las partículas perpendicular a la dirección de propagación, como las ondas S. Las ondas Love pueden considerarse como ondas S atrapadas en la corteza terrestre (Kramer, S. L., 1996).

**ONDAS RAYLEIGH:** Viajan a lo largo de la superficie libre de la Tierra con amplitudes que disminuyen exponencialmente con la profundidad (Figura 1.2a). El movimiento de partículas es en sentido elíptico retrógrado en un plano vertical con respecto a la superficie; como contienen componentes de corte sólo viajan a través de medios sólidos (Kramer, S. L., 1996).



**Figura 1.2:** (a) Modelo de propagación de ondas Rayleigh y (b) Modelo de propagación de ondas Love. (Kramer, S. L., 1996).



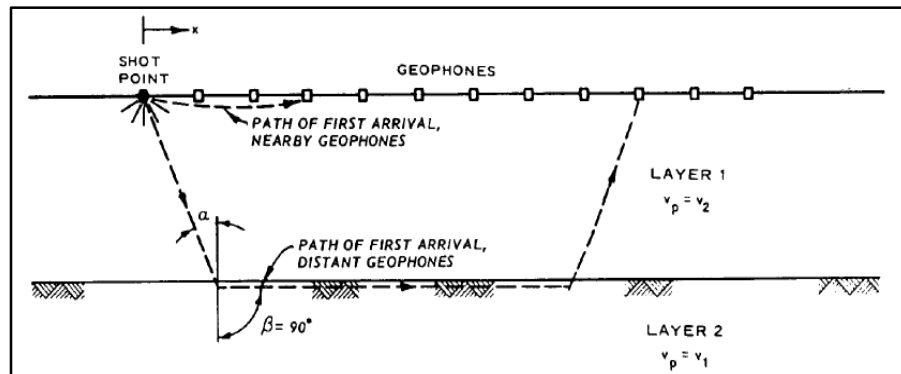
### 2.4.3. Aplicaciones de las Ondas Sísmicas

Las ondas sísmicas son empleadas en diferentes métodos, ya sea para propósitos de la industria petrolera, tales como los métodos de refracción y reflexión sísmica, como para la geofísica ambiental y geotécnica, en los cuales se usan los métodos de ondas superficiales.

### 2.4.4. Metodos Exploración Geofísica

#### 2.4.4.1. Refracción Sísmica

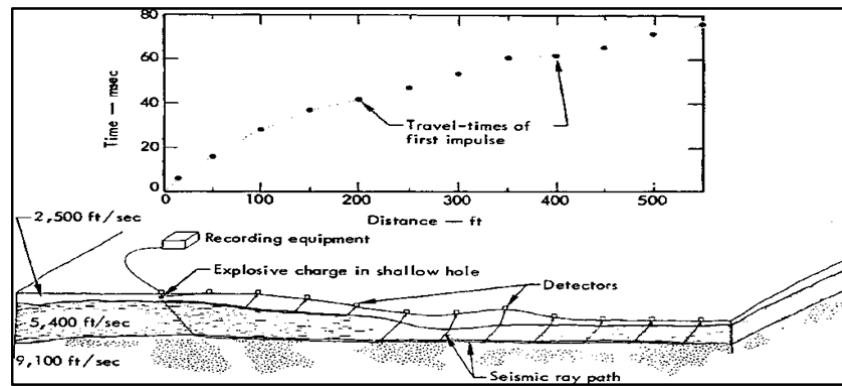
En un medio homogéneo un haz de energía sísmica viaja en línea recta. Al golpear un límite (entre dos medios de diferentes propiedades sísmicas) en un ángulo, la dirección de desplazamiento se cambia como lo es en la refracción de la luz en la superficie de un estanque. La Refracción sísmica utiliza este cambio de dirección para obtener información del subsuelo (U. S. Army Corps of Engineers, 1995).



**Figura 1.3:** Esquema de Investigación de la Refracción Sísmica (U. S. Army Corps of Engineers, 1995).

#### A. Fundamentos.

En esta sección se revisarán los principios de la teoría de refracción sísmica y desarrollar los métodos de interpretación que tiene el uso más amplio. Hay muchos libros de texto de geofísica que discuten los principios y aplicaciones de los estudios de refracción, sin embargo, la mayoría de ellos están orientados a la exploración de petróleo y de paso dar atención a los detalles investigaciones poco profundas. Numerosos artículos de revistas tratan la solución de los problemas de interpretación específica, pero sólo unos pocos de estos artículos tienen una amplia aplicación (Redpath, B., 1973).



**Figura 1.4:** Esquemática el estudio de refracción Sísmica (Redpath, B., 1973).

La propagación de la energía sísmica a través de las capas del subsuelo se describe esencialmente por las mismas reglas que rigen la propagación de los rayos de luz a través de los medios de comunicación transparente (Redpath, B., 1973).

#### **B. Leyes que rigen la propagación de las ondas sísmicas.**

Las leyes que rigen la propagación de las ondas sísmicas, muy similares a las que se utilizan en óptica, son las siguientes: principios de Huygens y Fermat, ley de reflexión y ley de refracción o ley de Snell. (Figuerola, J., C., 1974). A continuación estudiamos las leyes indicadas anteriormente.

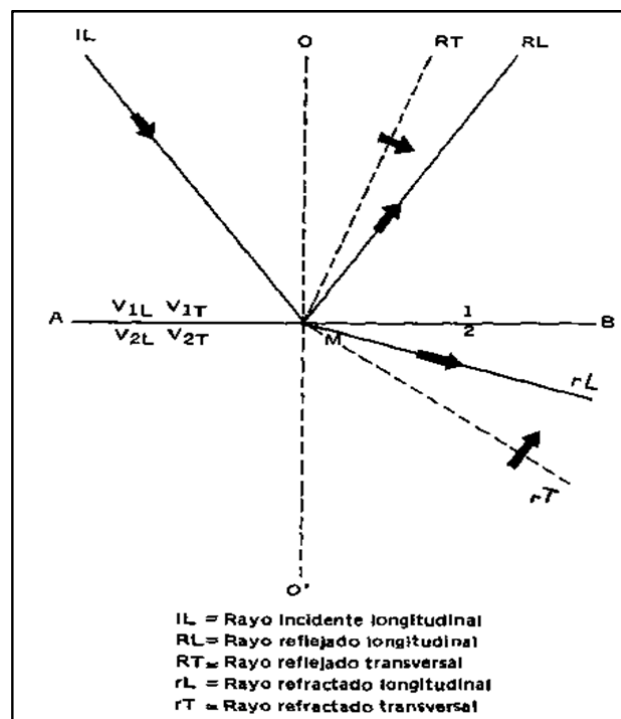
- **Principio de Huygens.-** El principio de Huygens establece que cada punto alcanzado por un frente de ondas actúa como una nueva fuente de ondas que se extiende en todas direcciones. Si el medio es homogéneo el frente de ondas es esférico en un momento cualquiera  $t$ ; un poco más tarde, en el tiempo  $t + \Delta t$ , cada uno de los puntos del frente de onda habrá dado lugar a pequeños frentes de ondas esféricas de radio  $V \Delta t$ , si  $V$  es la velocidad del medio (Figuerola, J., C., 1974).
- **Principio de Fermat.-** El principio de Fermat dice que un rayo dado real sigue de un punto a otro aquel camino que produce el tiempo mínimo en su recorrido. Si bien, como hemos indicado anteriormente, el rayo sísmico no tiene realidad física en sismología se puede utilizar su concepto y, por tanto, aplicar este principio (Figuerola, J., C., 1974).
- **Leyes de reflexión y refracción.-** Supongamos un rayo Incidente longitudinal  $IL$  que se propaga de un medio 1 a otro 2. Al llegar al

contacto AB de los dos medios da lugar a los cuatro rayos que se indican en la figura 1.5, dos reflejados y dos refractados. Por otra parte, para los rayos reflejados se verifica con las notaciones de la figura 1.5.

$$\overline{ILMO} = \overline{RLMO}$$

Es decir, que el ángulo incidente es igual al ángulo reflejado para el rayo longitudinal. Los rayos incidente y refractado longitudinal vienen ligados por la relación siguiente:

$$\frac{\text{sen} \overline{ILMO}}{\text{sen} \overline{rLMO}} = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} \quad \text{Ley de Snell}$$



**Figura 1.5:** Leyes de reflexión y refracción (Figuerola, J., C., 1974).

### C. Propagación de las Ondas Sísmicas

Las ondas sísmicas producidas por la detonación de una carga explosiva o por cualquier otro sistema, se transmiten a través de la tierra en forma de vibraciones.

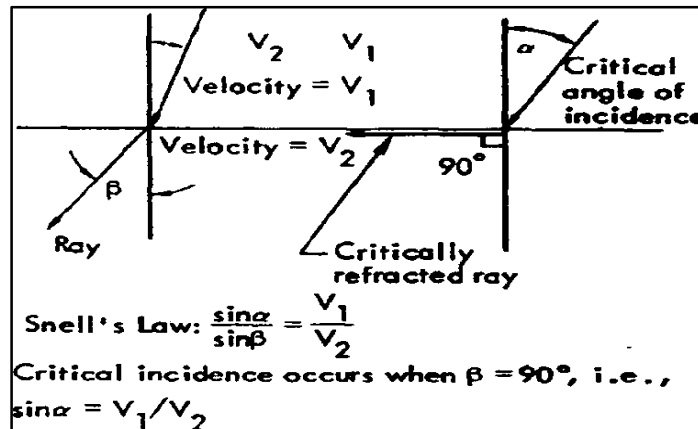
- **Difracción.-** En sismología el fenómeno de difracción es análogo al de óptica. La difracción es tanto mayor, cuanto mayor sea la longitud de la onda considerada; por ello en la propagación de ondas sísmicas la difracción es más frecuente que en óptica, debido a que las ondas

sísmicas tienen longitudes de onda mucho mayores que las de las ondas luminosas, y en consecuencia la posibilidad de encontrar obstáculos de dimensiones del orden de su longitud de onda (varias decenas de metros) es corriente. Las difracciones han dado lugar a interpretaciones erróneas (Figuerola, J., C., 1974).

- **Dispersión.**- Es la variación de velocidad de una onda con el cambio de la frecuencia. En un medio elástico homogéneo no hay dispersión; sin embargo, en un medio imperfectamente elástico, como la tierra, existe este fenómeno. En sismología se ha comprobado su existencia en el caso de las ondas longitudinales y transversales (Figuerola, J., C., 1974).
- **Scattering.**- Es la formación de pequeñas ondas que propagan la energía en todas direcciones; se produce cuando un frente de ondas choca con partículas libres u objetos pequeños, comparados con su longitud de onda (Figuerola, J., C., 1974).

#### D. La ley de Snell y la incidencia crítica

En la figura 1.6, muestra un medio con una velocidad  $V_1$ , sustentada por un medio con una mayor velocidad  $V_2$ .



**Figura 1.6:** La ley de Snell y la refracción de los rayos transmitidos a través de la frontera entre dos medios con diferentes velocidades ( $V_2 = 2V_1$ ) (Redpath, B., 1973).

El caso particular del ángulo crítico de incidencia es fundamental para la derivación de las fórmulas y para la exploración de la refracción. Aunque la descripción exacta matemática y física de lo que ocurre cuando un rayo incide en el ángulo crítico es compleja, es perfectamente adecuado para

asumir que el rayo refractado crítico viaja a lo largo de la frontera entre los dos medios de comunicación en la mayor de las dos velocidades (Redpath, B., 1973).

#### E. Casos de la Refracción Sísmica

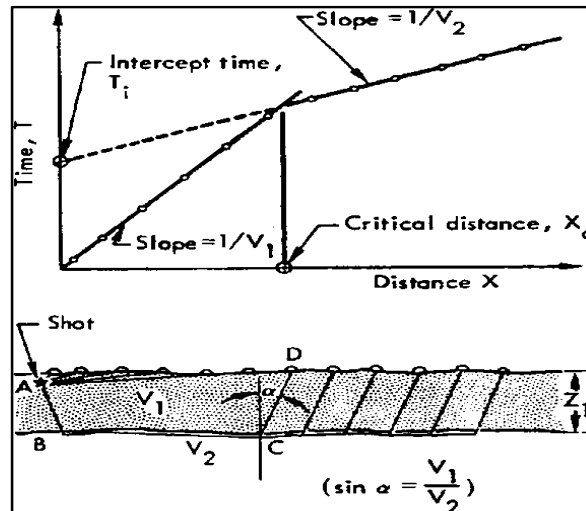
- **Dos capas con el plano y los límites en paralelo**

Comenzamos con el más simple de todos los casos como se ilustra en la figura 1.7. Una pequeña carga explosiva es detonada en un agujero poco profundo en A y la energía es detectada por un conjunto de detectores dispuestos en línea recta a lo largo de la superficie. Los tiempos de llegada de los impulsos se trazan en los disparos correspondientes a distancias del detector como se muestra en la Figura 1.7. Los tiempos de llegada son las llegadas directas a través de la primera capa, y la pendiente de la línea recta que pasa por esos puntos,  $\Delta T/\Delta X$ , es simplemente la inversa de la velocidad de esa capa, es decir,  $1/V_1$  (Redpath, B., 1973).

- **Intercepción de tiempos**

Haciendo referencia a la figura 1.7, vamos a calcular el tiempo de llegada del impulso refractado en un detector. Considere el ABCD ruta de viaje:

$$AB = CD = \frac{Z_1}{\cos \alpha} \qquad BC = X - 2Z_1 \tan \alpha$$



**Figura 1.7:** Caso simple con dos capas planas, límites paralelos y los correspondientes tiempos vs curva de distancia (Redpath, B., 1973).

Donde  $Z_1$  es el espesor de la capa superior, y  $\alpha$  es el ángulo crítico de incidencia. Por tanto, el tiempo de viaje está dado por:

$$T = \frac{AB + CD}{V_1} + \frac{BC}{V_2} = \frac{2Z_1}{V_1 \cos \alpha} + \frac{X - 2Z_1 \tan \alpha}{V_2}$$

$$= 2Z_1 \left( \frac{1}{V_1 \cos \alpha} - \frac{\sin \alpha}{V_2 \cos \alpha} \right) + \frac{X}{V_2} = 2Z_1 \left( \frac{V_2 - V_1 \sin \alpha}{V_1 V_2 \cos \alpha} \right) + \frac{X}{V_2}$$

La ley de Snell define el ángulo crítico de incidencia, por:

$$\sin \alpha = \frac{V_1}{V_2} \quad (1.1)$$

Y de forma selectiva la sustitución de la ecuación (1.1) en la ecuación anterior:

$$T = 2Z_1 V_1 \left( \frac{\frac{1}{V_1 V_2 \cos \alpha} - \frac{\sin \alpha}{V_1 V_2 \cos \alpha}}{\sin \alpha} \right) + \frac{X}{V_2} = 2Z_1 V_1 \left( \frac{1 - \sin^2 \alpha}{V_1 V_2 \sin \alpha \cos \alpha} \right) + \frac{X}{V_2}$$

$$= \frac{2Z_1 \cos^2 \alpha}{V_2 \sin \alpha \cos \alpha} + \frac{X}{V_2}$$

Y sustituyendo  $v_1$  para  $v_2 \cdot \sin \alpha$

$$T = \frac{2Z_1 \cos \alpha}{V_1} + \frac{X}{V_2}$$

Si ahora que  $X = 0$ , entonces  $T$  se convierte en el tiempo de interceptar,  $T_i$ , y podemos volver a escribir la última expresión como:

$$Z_1 = \frac{T_i V_1}{2 \cos \alpha}$$

Es decir

$$Z_1 = \frac{T_i V_1}{2 \cos(\sin^{-1} V_1 / V_2)} \quad (1.2)$$

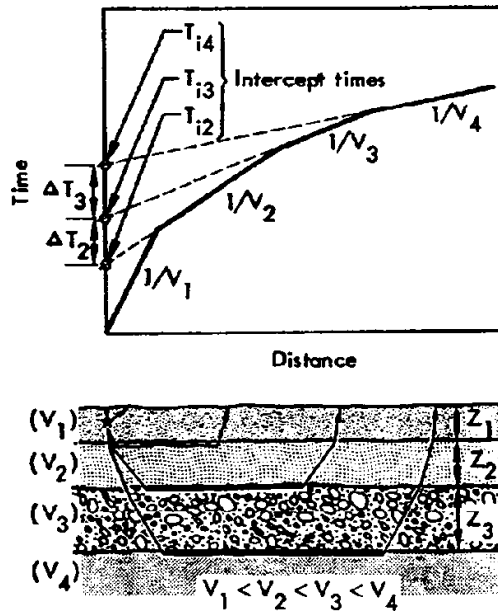
De la situación que han asumido en la figura 1.7, todo en el lado derecho de la ecuación (1.2) se puede determinar a partir de la gráfica tiempo-distancia, por lo tanto, la profundidad a la segunda capa se puede calcular. La profundidad del disparo ha sido ignorada en la deducción anterior, y la verdadera profundidad de la segunda capa se determina simplemente mediante la adición de la mitad de la profundidad del disparo para el valor de  $Z_1$  calculado por la ecuación (1.2). Una versión alternativa de esta ecuación es:

$$Z_1 = \frac{T_i V_1 V_2}{2(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}}$$

En el caso particular de la figura 1.7, la profundidad calculada por la ecuación (1.2) es la profundidad a lo largo de toda la línea sísmica debido a que se estipulaba que las capas fueron planas y paralelas (Redpath, B., 1973).

▪ **Caso de Múltiples Capas**

El análisis de la intersección con el tiempo puede extenderse al caso de múltiples capas, sin embargo, sólo las fórmulas resultantes se dan aquí, porque sus derivaciones son redundantes y se puede encontrar en una serie de referencias. La Figura 1.8 muestra esquemáticamente el caso de capas múltiples.



**Figura 1.8:** Esquema del caso múltiple de capas y el tiempo vs curvas de distancia (Redpath, B., 1973).

Y el grafico correspondiente tiempo vs distancia. Nota los tiempos intercepción y espesores de las capas han sido identificados por un subíndice correspondiente al número de la capa:

$$Z_1 = \frac{(T_{i2})V_1}{2 \cos(\sin^{-1}V_1/V_2)} + \frac{1}{2} \text{shot depth} \quad (1.3)$$

$$Z_2 = \frac{\left[ T_{i3} - T_{i2} \frac{\cos(\sin^{-1}V_1/V_3)}{\cos(\sin^{-1}V_1/V_2)} \right] V_2}{2 \cos(\sin^{-1}V_2/V_3)} \quad (1.4)$$

$$Z_3 = \frac{\left[ T_{i4} - T_{i2} \frac{\cos(\sin^{-1}V_1/V_4)}{\cos(\sin^{-1}V_1/V_2)} - \frac{2Z_2 \cos(\sin^{-1}V_2/V_4)}{V_2} \right] V_3}{2 \cos(\sin^{-1}V_3/V_4)} \quad (1.5)$$

Si la velocidad de los contrastes entre las capas son lo suficientemente altos, por ejemplo 2 a 1, y sólo profundidades aproximadas son necesarios, entonces las siguientes fórmulas se pueden utilizar:

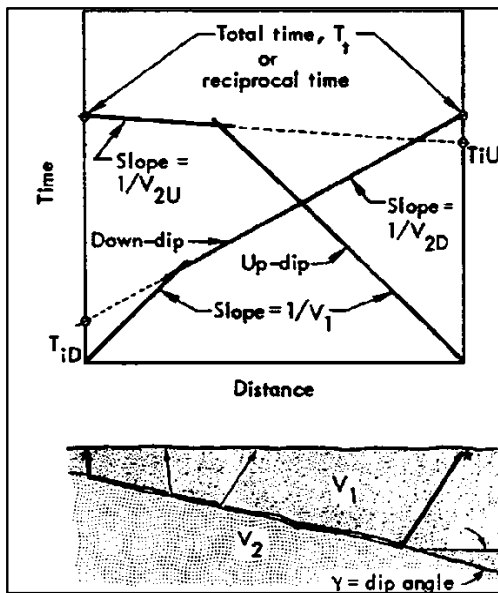
$$Z_2 = \frac{(\Delta T_2)V_2}{2 \cos(\sin^{-1}V_2/V_3)} \quad (1.6)$$

$$Z_3 = \frac{(\Delta T_3)V_3}{2 \cos(\sin^{-1}V_3/V_4)} \quad (1.7)$$

Donde  $\Delta T_2$  y  $\Delta T_3$ , son como se indica en la figura 1.8. Ecuaciones (1.6) y (1.7) dará espesores que son mayores que el real, y se sugiere que los espesores iniciales se calculan en ambos sentidos para saber si el error es significativo en una situación particular (Redpath, B., 1973).

▪ **Capas de Inmersión**

Ahora vamos a considerar brevemente la existencia de una interfaz de inmersión, el concepto de velocidades aparentes, y su efecto en los cálculos de profundidad. El caso de una inmersión límite y su efecto en las gráficas de tiempo de viaje se ilustra en la figura 1.9. La Figura 1.9 también introduce la idea de



**Figura 1.9:** Ejemplo de la interfaz de inmersión y los conceptos de disparo inverso y "velocidad aparente" (Redpath, B., 1973).



"Disparo inversa" de que siempre debe ser aplicado en estudios de refracción. Disparo Inversa significa simplemente disparar un solo disparo en ambos extremos de la línea sísmica a fin de que los tiempos de llegada a cada detector se midan en ambas direcciones. Si la velocidad aparente del refractor como se observa por la inmersión del disparo es  $V_{2D}$ , luego de la ley de Snell:

$$V_{2D} = V_1 / \sin(\alpha + \gamma)$$

Donde  $\gamma$  es el ángulo de buzamiento de la interfaz con respecto a la superficie y  $\alpha$  es el ángulo crítico de incidencia. Del mismo modo, la velocidad aparente,  $V_{2U}$ , observado por un disparo en la dirección hasta la inmersión está dada por:

$$V_{2U} = V_1 / \sin(\alpha - \gamma)$$

Podemos reorganizar las dos relaciones anteriores para obtener:

$$\alpha + \gamma = \sin^{-1} \left( \frac{V_1}{V_{2D}} \right)$$

$$\alpha - \gamma = \sin^{-1} \left( \frac{V_1}{V_{2U}} \right)$$

Con el ángulo de inclinación se puede determinar:

$$\gamma = \frac{1}{2} \left[ \sin^{-1} \left( \frac{V_1}{V_{2D}} \right) - \sin^{-1} \left( \frac{V_1}{V_{2U}} \right) \right] \quad (1.8)$$

El verdadero valor de  $V_2$  no es la media aritmética de  $V_{2U}$  y  $V_{2D}$ , sino que es la media armónica, multiplicado por el coseno del ángulo de buzamiento:

$$V_2 = \frac{2V_{2U}V_{2D}}{V_{2U} + V_{2D}} \cos \gamma \quad (1.9)$$

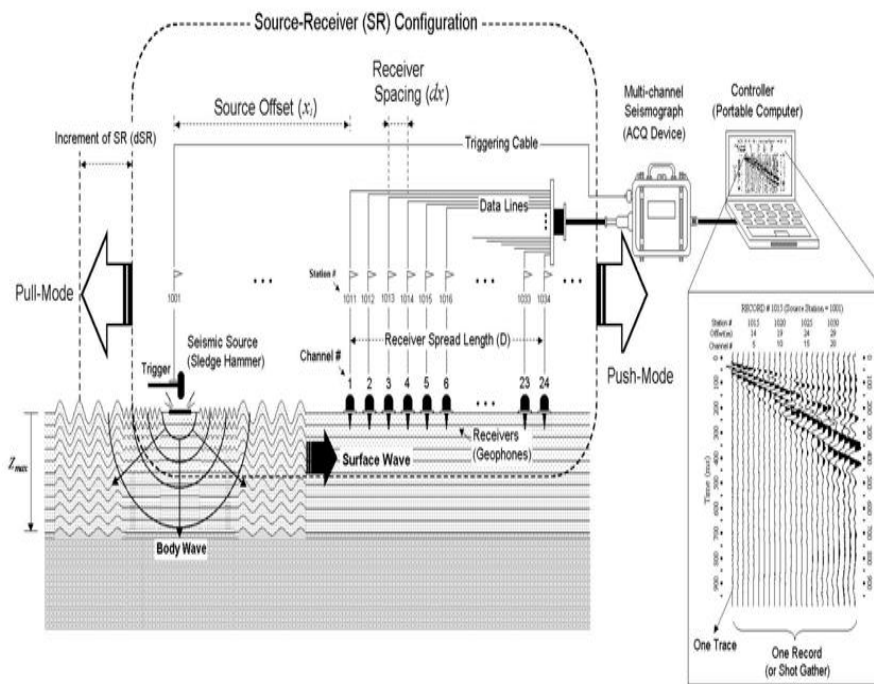
#### 2.4.4.2. Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

El método MASW o Análisis de Arreglo Multicanal de Ondas Superficiales es un método sísmico no destructivo que determina, cerca de la superficie, el perfil de velocidad de la onda S. La técnica ha sido desarrollada en respuesta a los defectos del SASW ante la presencia de ruidos. Este método analiza las propiedades de dispersión de los modos fundamentales de las ondas Rayleigh, las cuales se propagan a lo largo de la superficie desde el punto de impacto a los receptores (Park et al.,

1999). Los datos multicanal permiten la identificación y rechazo de los modos no fundamentales de ondas Rayleigh, permiten también un proceso más efectivo para la eliminación del ruido y un proceso de colección de datos más rápido (Louie, J. 2001).

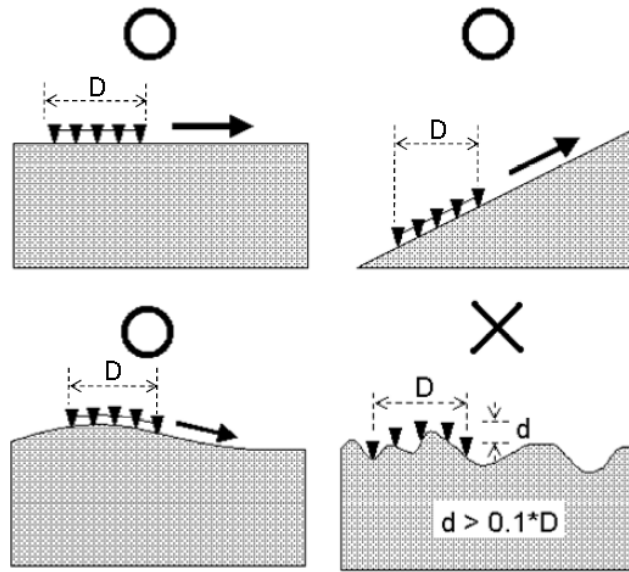
### A. ADQUISICIÓN DE DATOS

La configuración básica de campo y la rutina de adquisición para el MASW (Figura 1.10) generalmente es la misma que se usa en los estudios convencionales de refracción sísmica.



**Figura 1.10:** El método activo MASW (<http://www.masw.com>- 01/07/16)

La máxima profundidad de investigación que puede lograrse está usualmente en el rango de 10 a 30 m, pero éste puede variar en función de los sitios y los tipos de fuentes activas utilizadas (Park et al., 1999).



**Figura 1.11:** Las pendientes planas o suaves son adecuadas para el método activo MASW. Sin embargo, la topografía puede interferir en la propagación de las ondas de superficie. (<http://www.masw.com-01/07/16>).

- **Fuente**

Un mazo bastante pesado (por ejemplo, 10 libras) será una buena opción, aunque cualquier otro tipo de objeto que pueda entregar más energía de impacto en el suelo puede ser una ventaja sobre un mazo por su potencial de generar ondas superficiales de frecuencias más bajas (longitud de onda más grandes) (<http://www.masw.com-01/07/16>).

- **Longitud del arreglo**

Generalmente se prefieren los arreglos largos debido a que mejoran la separación modal y, cuando se aumenta el número de canales se reduce las incertidumbres en los datos (Socco y Strobbia, 2004).

El aliasing es un efecto causado por la naturaleza discreta de la señal acumulada en el ensayo experimental, debido al cual todas las componentes armónicas por encima del número de onda Nyquest se pierden:

$$k_{Nyquest} = \frac{2\pi}{2dx_{min}} \quad (1.10)$$

Donde  $dx_{min}$  es el mínimo intervalo de muestreo espacial entre dos receptores. Esto significa que una pequeña distancia entre dos receptores permite la obtención de información confiable en un amplio rango de números de onda. Desafortunadamente un pequeño  $dx$  (espaciamiento entre receptores) también influye en la resolución en el dominio del número de onda; como por definición la resolución del número de onda ( $\Delta k$ ) está dada por:

$$\Delta k = \frac{2\pi}{L} \quad (1.11)$$

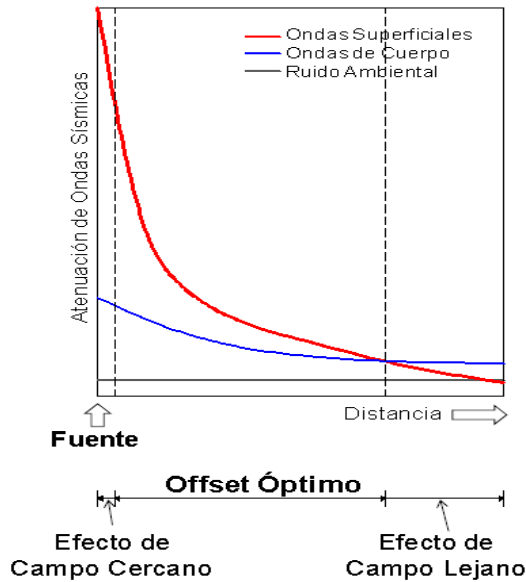
$$L = (N - 1). dx + x_1 \quad (1.12)$$

Donde  $L$  es la distancia total entre la fuente y el último receptor,  $N$  es el número de receptores. Si  $x_1 = dx$ , entonces la ecuación 1.11 se simplifica a:

$$\Delta k = \frac{2\pi}{N \cdot dx} \quad (1.13)$$

- **Offset de la fuente**

Es la distancia que existe entre el geófono más cercano a la fuente y esta. Para planear un offset óptimo de la fuente ( $x_1$ ), tienen que ser considerados dos aspectos principales: en distancias pequeñas, los efectos de campo cercano contaminan la señal en frecuencias bajas; mientras que en distancias grandes, los efectos de campo lejano reducen la relación señal/ruido de las trazas a distancias grandes, especialmente en la banda de la frecuencia alta, (Figura 1.12), (Socco y Strobba, 2004).



**Figura 1.12:** Atenuación de las ondas sísmicas a diferentes distancias a partir de la fuente (Socco y Strobbia, 2004).

- **Espaciamiento de receptores (dx)**

El espaciamiento de receptores conjuntamente con el offset cercano y offset lejano son los tres parámetros importantes de adquisición que necesitan ser apropiadamente seleccionados, a fin de evitar el aliasing y los efectos de campo cercano y lejano. Estos efectos determinan la mínima y máxima profundidad en cual la velocidad de onda de corte  $V_s$  puede ser medida con precisión por el método MASW (Lin et al, 2004).

**PROCESAMIENTO:** El procesamiento de las ondas superficiales que se encuentran registradas en el dominio del tiempo, fuertemente mejorado por la aplicación de las transformaciones. Teniendo en cuenta una determinada función continua de una sola variable  $x(t)$ , la definición matemática de su transformada de Fourier es la siguiente:

$$X(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot \exp^{-i\omega t} dt \quad (1.14)$$

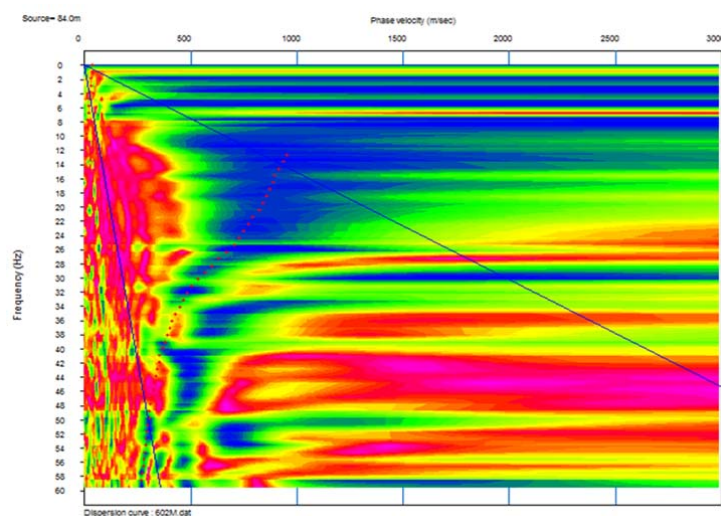
En general  $X(\omega)$  es una función de valor complejo, por lo que puede representarse ya sea en términos de su componente real e imaginaria o más significativa de su amplitud y fase:

$$X(\omega) = Re(X(\omega)) + i \cdot Im(X(\omega)) = A(\omega) \cdot e^{-i\phi(\omega)} \quad (1.15)$$

Donde  $A(\omega)$  y  $\phi(\omega)$  son respectivamente los espectros de amplitud y de fase.

Ahora, la característica interesante es que el ground roll está constituido principalmente por ondas Rayleigh, de ahí que la Transformada de Fourier es una de las herramientas más poderosas para aislar las ondas Rayleigh del campo de onda global y poder ser utilizado con éxito para estimar experimentalmente la curva de dispersión (Foti, 2000, Zywicki, 1999, Gabriels et al., 1987).

**CURVA DE DISPERSIÓN** : La generación de una curva de dispersión es uno de los pasos críticos para generar un perfil exacto de la velocidad de la onda de corte. Las curvas de dispersión son generalmente exhibidas como velocidad de fase versus frecuencia Figura 1.13. La variación de la velocidad de fase con la frecuencia (curva de dispersión) indica si un perfil de suelo es verticalmente homogéneo (un estrato) o verticalmente heterogéneo (medio estratificado) (Park et al., 1999).



**Figura 1.13:** Curva de Dispersión Sondaje MASW-03 – Estribo Izquierdo (Fuente Propia 20/09/16).

Una de las metodologías más simples para obtener la velocidad de fase (aplicado en el método MASW) es calculando la función de cross-correlation de dos señales registradas,  $f(t)$  y  $g(t)$ , en diferentes posiciones, con una separación  $\Delta x$  (i.e., Guo y Liu, 1999). Las dos señales son transformadas al dominio de la frecuencia por la transformada de Fourier

(ecuación 1.14) y escritas como  $F(\omega)$  y  $G(\omega)$  en función de la frecuencia angular  $\omega$  (Hayashi K., 2008).

$$F(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot \exp^{-i\omega t} dt \quad (1.16)$$

$$G(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \cdot \exp^{-i\omega t} dt \quad (1.17)$$

A la vez las dos señales pueden ser expresadas en términos de su amplitud y fase (ecuación 1.15),

$$F(\omega) = A_f(\omega) \cdot \exp^{-i\phi_f(\omega)} \quad (1.18)$$

$$G(\omega) = A_g(\omega) \cdot \exp^{-i\phi_g(\omega)} \quad (1.19)$$

Donde,  $A_f(\omega)$  y  $A_g(\omega)$  son amplitud de  $F(\omega)$  y  $G(\omega)$  respectivamente, entonces la diferencia de fase ( $\Delta\phi(\omega)$ ) queda expresada de la siguiente manera,

$$\Delta\phi(\omega) = \phi_f(\omega) - \phi_g(\omega) \quad (1.20)$$

La cross-correlation de las dos señales ( $CC_{fg}(\omega)$ ) puede definirse en el dominio de la frecuencia como.

$$CC_{fg}(\omega) = F(\omega) \cdot \overline{G(\omega)} = A_f(\omega) A_g(\omega) \cdot \exp^{-i\Delta\phi(\omega)} \quad (1.21)$$

Donde,  $\overline{G(\omega)}$  es el complejo conjugado de  $G(\omega)$ .  $\Delta\phi(\omega)$  es el espectro de fase de la cross-correlation  $CC_{fg}(\omega)$  y es igual a la diferencia de fase de las dos señales. El espectro de fase  $\Delta\phi(\omega)$  puede ser simplemente calculado a partir de la cross-correlation  $CC_{fg}(\omega)$  que viene dada por:

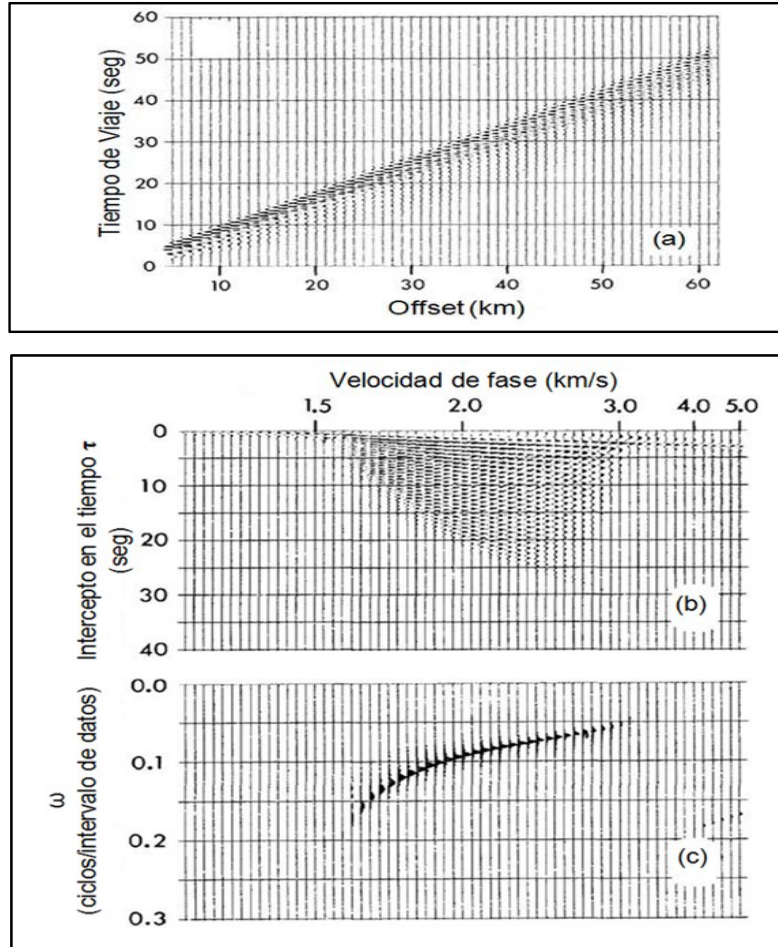
$$\Delta\phi(\omega) = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}(CC_{fg}(\omega))}{\text{Re}(CC_{fg}(\omega))} \right) \quad (1.22)$$

Donde  $\text{Re}[\ ]$  y  $\text{Im}[\ ]$  son las componentes real e imaginaria, respectivamente. La velocidad de fase de la onda Rayleigh  $c(\omega)$  a cualquier frecuencia  $\omega$  está relacionada a la distancia  $\Delta x$  y a la diferencia de fase  $\Delta\phi(\omega)$  entre los receptores por la siguiente relación:

$$c(\omega) = \frac{\omega \cdot \Delta x}{\Delta\phi(\omega)} \quad (1.23)$$

McMechan y Yedlin (1981), propusieron un método alternativo para el análisis de las ondas superficiales que calcula directamente la velocidad de fase de la acumulación de Shots comunes en multicanales, transformando los

datos del dominio del tiempo (tiempo vs. distancia) al dominio de la frecuencia (velocidad de fase vs. frecuencia), usando dos transformaciones lineales: una transformada  $\tau - p$  o Slant-Stack seguida por una transformada de Fourier en una dimensión (Hayashi K., 2008).

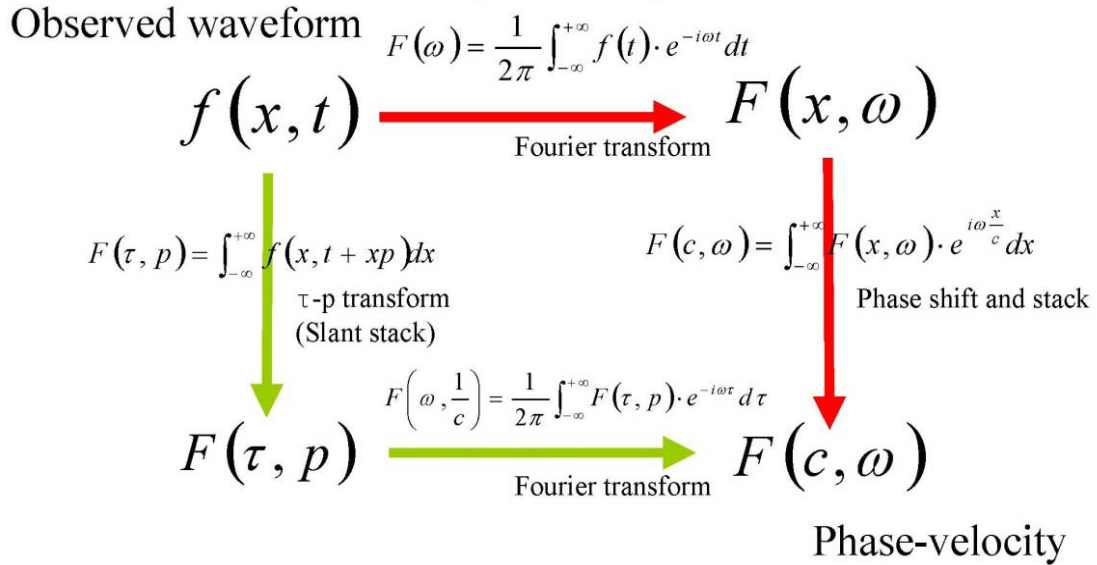


**Figura 1.14:** (a) Registro Sísmico Multicanal de un modelo que consiste en un estrato sobre un semi-espacio. (b) Aplicación de la transformada o “Slant-Stack” que permite el reconocimiento de la velocidad de fase, luego (c) una transformada de Fourier en una dimensión (Sobre) se aplica para producir una imagen en el dominio  $p$ - $\omega$ , que corresponde a la curva de dispersión (Park et al. 1999).

Park et al. (1999) también proponen una transformación de la forma de onda, llamado Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), que puede calcular la velocidad de fase directamente de la acumulación de shots comunes en arreglos multicanal similar al método de McMechan.



McMechan y Yedlin (1981) calcularon la velocidad aparente ( $\rho$ ) en primer lugar y luego la transformaron al dominio de la frecuencia.



**Figura 1.15:** Esquema de los dos métodos de transformación (Hayashi, 2008).

El procedimiento de cálculo del Análisis Multicanal de Ondas Superficiales propuesto por Park et al. (1999a) pueden resumirse como sigue:

- 1) Cada señal obtenida de la acumulación de Shots se transforma al dominio de la frecuencia por la Transformada Rápida de Fourier (FFT).

$$F(x, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, t) \cdot \exp^{-i\omega t} dt \quad (1.24)$$

Donde,  $x$  es la distancia,  $t$  es el tiempo,  $\omega$  es la frecuencia,  $f(x, t)$  es un Shot acumulado en el dominio del tiempo y  $F(x, \omega)$  es el Shot acumulado en el dominio de la frecuencia.

- 2) El Shot acumulado obtenido en el dominio de la frecuencia se integra sobre el espacio con respecto a las velocidades aparentes ( $c$ : velocidad de fase).

$$F(c, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{F(x, \omega)}{|F(x, \omega)|} e^{i\omega \frac{x}{c}} dx \quad (1.25)$$

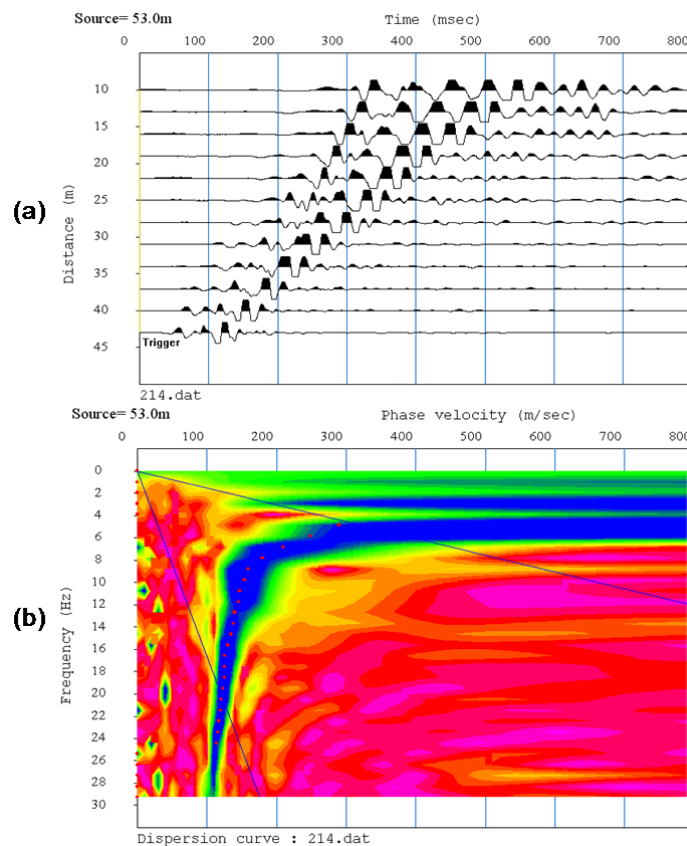
- 3) La integración se repite a través de todas las velocidades aparentes a ser calculadas.
- 4) El valor absoluto se calcula y se grafica sobre la velocidad de fase ( $c$ ) vs. el dominio de la frecuencia.

$$p(c, \omega) = |F(c, \omega)| \quad (1.26)$$

La Figura 1.16 muestra el ejemplo de la transformación de velocidad de fase; la figura 1.16(a) muestra la acumulación de Shots en el dominio del tiempo y la figura 1.16(b) muestra su imagen de velocidad de fase en el dominio de la frecuencia.

5) Por último, las velocidades de fase se determinan como la máxima amplitud en cada frecuencia.

Usando el procedimiento que se acaba de describir desde el paso 1 al 5 para cada arreglo fuente-receptores, es posible obtener un cierto número de puntos de la curva de dispersión (Park et al., 1999).



**Figura 1.16:** (a) Acumulación de Shots en el dominio del tiempo y (b) su respectiva imagen de velocidad de fase en el dominio de la frecuencia (Ingeotekon EIRL. - Fuente Propia 10/06/16).

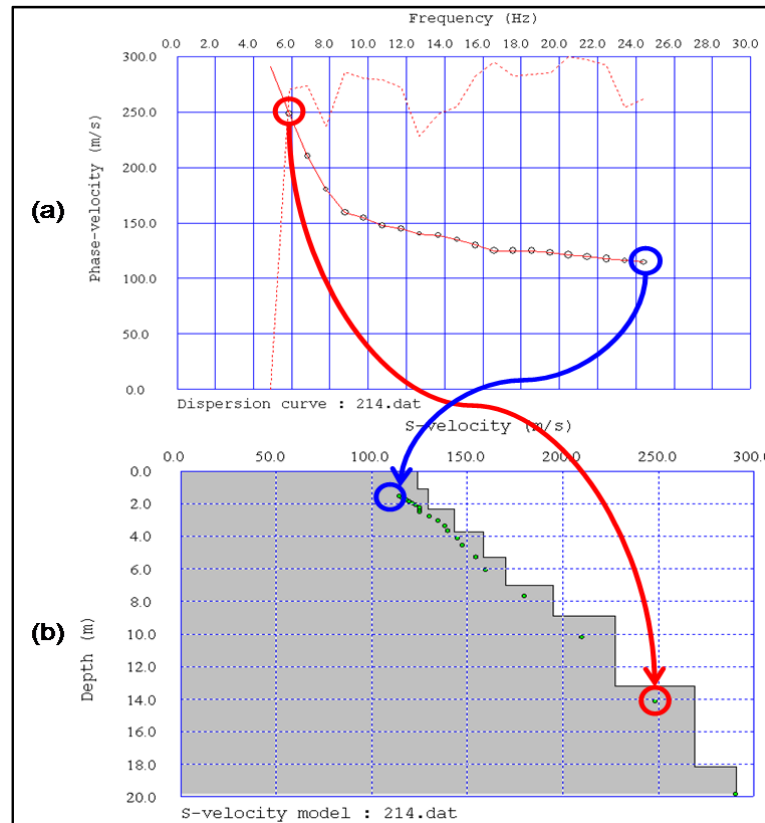
#### PROCESO DE INVERSIÓN

Los perfiles de velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) se calculan utilizando un proceso iterativo que requiere la inversión no lineal de los datos de la curva de dispersión. Existen varios métodos de inversión no lineal, tales como el método de mínimos cuadrados, el algoritmo genético, etc. En

primer lugar, la longitud de onda ( $\lambda$ ) se calcula a partir de la frecuencia ( $f$ ) y la velocidad de fase ( $c(\omega)$ ) (Figura 1.17a). Este procedimiento es llamado "transformación de la longitud de onda" en términos de la profundidad aparente ( $D_A$ ) y la velocidad de fase medida  $c(\omega)$ .

$$D_A = a * \lambda = a * \frac{c(\omega)}{f} \quad (\text{a es } 1/2 \text{ a } 1/4) \quad (1.27)$$

$$V_S = b * c(\omega) \quad (\text{b es } 1.05 \text{ a } 1.11) \quad (1.28)$$



**Figura 1.17:** Modelo inicial basado en un 1/3 de la transformación de la longitud de onda (Hayashi, 2008).

Una vez definido el modelo inicial, se tiene que definir los datos de la curva de velocidad de fase teórica  $f^{cal}(V_{S_1}, V_{S_2}, \dots, V_{S_N})$ , que es calculado por el método de la matriz compuesta (matriz Jacobiana) propuesto por (Saito y Kabasawa, 1993). Se utiliza la siguiente notación para la velocidad de fase  $f^{cal}$ .

$$f_i = f_i^{cal}(x)$$

( $i=1$  a  $N$ :  $N$  es el número de velocidades de fase observadas) (1.29)

Entonces, la matriz Jacobiana puede ser escrita como;

$$a = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial v_{s_1}} & \frac{\partial f_1}{\partial v_{s_2}} & \cdot & \frac{\partial f_1}{\partial v_{s_N}} \\ \frac{\partial f_2}{\partial v_{s_1}} & \frac{\partial f_2}{\partial v_{s_2}} & \cdot & \frac{\partial f_2}{\partial v_{s_N}} \\ \frac{\partial f_3}{\partial v_{s_1}} & \frac{\partial f_3}{\partial v_{s_2}} & \cdot & \frac{\partial f_3}{\partial v_{s_N}} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{\partial f_n}{\partial v_{s_1}} & \frac{\partial f_n}{\partial v_{s_2}} & - & \frac{\partial f_n}{\partial v_{s_N}} \end{pmatrix} \quad (1.30)$$

Para que el perfil de Vs obtenido de la curva de velocidad de fase teórica  $f^{cal}$ , se adapte mejor a la curva de velocidad de fase observada  $f^{obs}$  obtenida del modelo inicial, durante la ejecución del programa de cómputo MASW, el número de veces que el programa correrá se fijará (normalmente 10 iteraciones) y tanto la velocidad de onda S y el espesor de cada estrato se estimarán en la inversión de la curva de velocidad de fase (Xia et al., 1999b).

$$y^T = \begin{pmatrix} f_1^{obs} - f_1^{cal}(x) \\ f_2^{obs} - f_2^{cal}(x) \\ f_3^{obs} - f_3^{cal}(x) \\ \cdot \\ \cdot \\ f_N^{obs} - f_N^{cal}(x) \end{pmatrix} \quad (1.31)$$

Donde  $y^T$  es el vector transpuesta de  $y$ . Una vez definido dicho residual es posible definir el error. Si dicho error no converge, entonces antes de la próxima iteración un modelo mejorado se utilizará como el nuevo punto de partida a partir del vector de corrección  $\Delta x$  que se define como:

$$(a^T a + \varepsilon I)\Delta x = a^T y \quad (1.32)$$

Donde,  $\varepsilon$  es un parámetro de amortiguamiento que hace el cálculo estable y  $I$  es el vector unitario. En la  $I^{th}$  iteración, un nuevo modelo estimado  $X^{I+1}$  se calcula como;

$$x^{I+1} = x^I + \gamma \Delta x \quad (1.33)$$

Donde  $\gamma$  es el estabilizador y menor que 1. El proceso sigue un esquema iterativo y, finalmente converge a una solución aceptable. La Figura 1.18 muestra la comparación entre la curva de dispersión teórica y observada para el modelo inicial basado en 1/3 de la transformación de la longitud de onda.



**Figura 1.18:** Comparación entre la curva de dispersión observada y teórica (Hayashi, 2008).

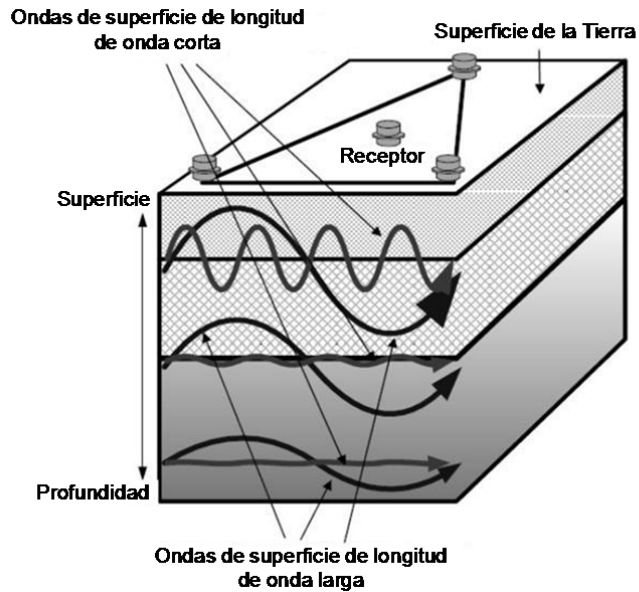
Mostramos en la Tabla 1.3, rangos de velocidades de corte hasta profundidades de 30 metros (Fuente IBC, 2015).

#### 2.4.4.3. Microtrepidaciones en Arreglos Multicanal (MAM)

El método MAM o Medición de Microtrepidaciones en Arreglos Multicanal es un método pasivo de exploración geofísica basado en el análisis de las vibraciones ambientales. No se requiere la utilización de una fuente externa de energía, como en los ensayos de Refracción Sísmica y MASW. La combinación de los métodos MASW y MAM, permiten obtener perfiles de velocidad de onda de corte hasta profundidades promedio de 100 m.

##### a) ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DEL MÉTODO DE MEDICIÓN DE MICROTREPIDACIONES EN ARREGLOS MULTICANAL (MAM)

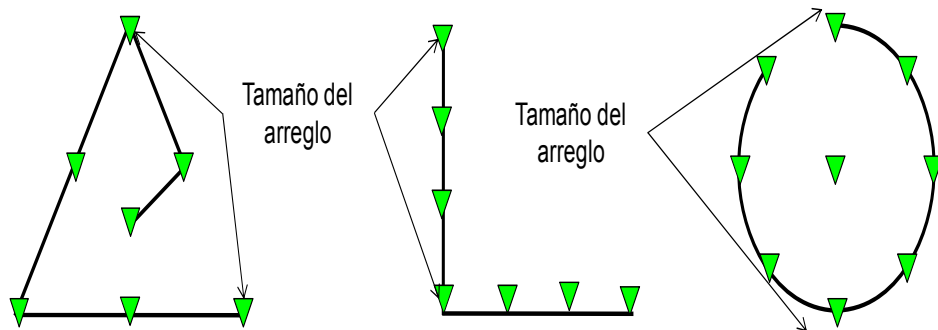
La principal desventaja del análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) activo es la máxima profundidad de investigación, que suele ser de 20 a 30 m. La cantidad de energía necesaria de la fuente activa para ganar un poco más de ondas de bajas frecuencias, para incrementar la profundidad de investigación, a menudo se incrementa en varios órdenes de magnitud, lo que hace que los esfuerzos con una fuente activa sean poco prácticos y antieconómicos.



**Figura 1.19:** Esquema mostrando que las ondas superficiales de longitud de onda más corta reflejan la velocidad de la onda de corte ( $V_s$ ) superficial y las más largas reflejan la velocidad de la onda de corte ( $V_s$ ) más profunda. El perfil de la onda de corte ( $V_s$ ) puede calcularse midiendo la velocidad de fase para diferente longitud de onda (frecuencia). SAGEEP 2003 Short Course.

- **Adquisición de Datos**

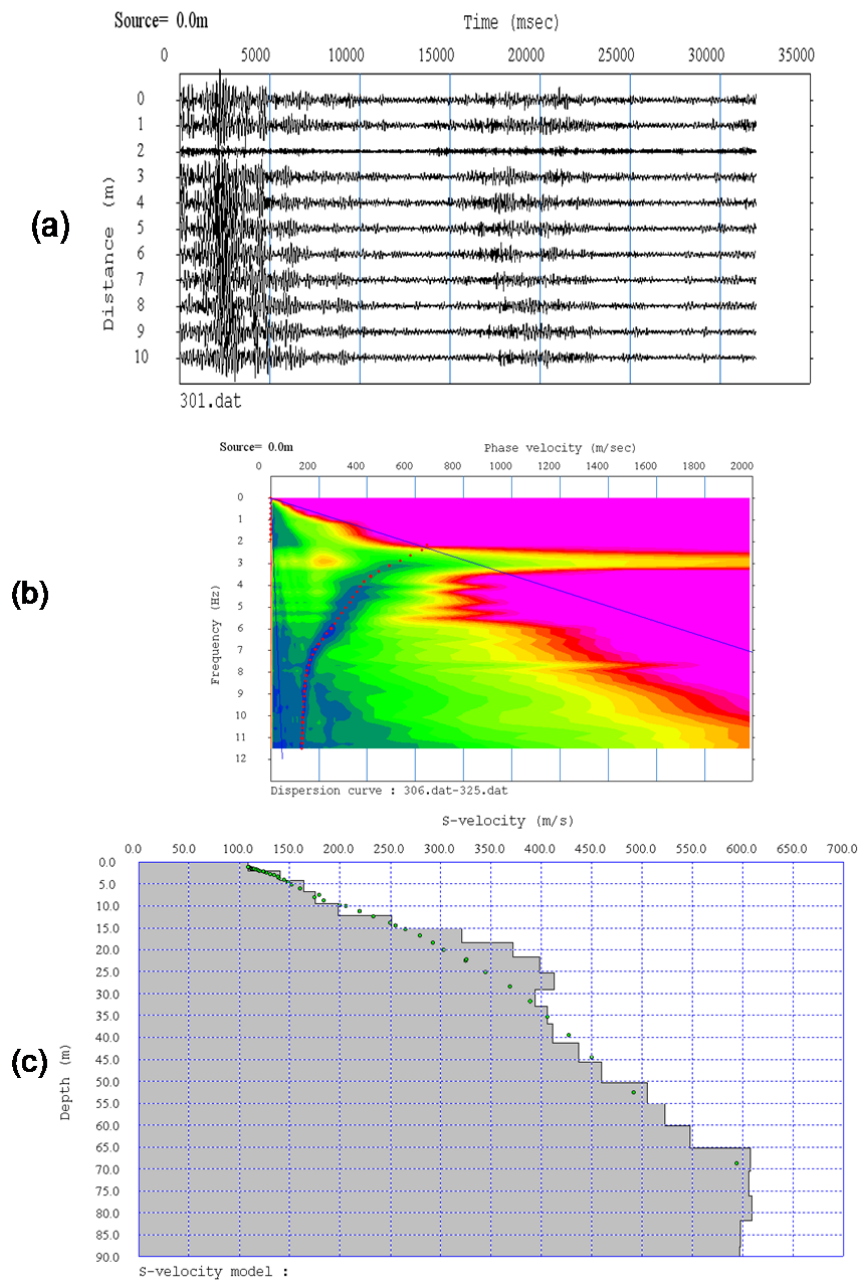
A diferencia de los métodos de onda de superficie activa, la Medición de Microtrepidaciones en Arreglos Multicanal (MAM) no requiere de ninguna fuente, sino que utiliza un arreglo instrumental bidimensional sobre la superficie, tales como arreglos en forma de triángulo, círculo o en cruz (ver Figura 1.20).



**Figura 1.20:** Arreglos de método pasivo MAM. SAGEEP 2003 Short Course.

- **Procesamiento**

El sistema para procesar las ondas de superficie pasiva es similar al análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) activo e incluye tres pasos: 1) generación de la imagen de la dispersión (velocidad de fase - frecuencia), 2) la extracción de la curva de dispersión de la imagen y 3) la inversión del perfil de la velocidad la onda de corte 1D ( $V_s$ ) de la curva de dispersión (Park et al., 2001) (Figura 1.21).



**Figura 1.21:** (a) Registro sísmico de las ondas superficiales del ensayo MAM y su respectiva (b) curva de dispersión, así como él (c) perfil sísmico

*de Vs que se obtiene de la inversión de la curva de dispersión.  
(Ingeotecon EIRL. - Fuente Propia 10/06/16).*

#### **2.4.4.4. Parámetros Elásticos del Subsuelo**

Las constantes elásticas, también conocidas como módulos elásticos, son un conjunto de parámetros que definen las propiedades y comportamiento de un material que se somete a esfuerzos, sufre deformaciones, y luego recupera su forma original después de que los esfuerzos cesan (i.e. material elástico). Estas constantes son importantes en la sismología debido a que la velocidad de las ondas sísmicas depende de las mismas y de la densidad de las rocas. Asimismo, son empleadas para la caracterización de sitios en la geotecnia aplicada a ingeniería civil, por lo cual su investigación y cuantificación a través de métodos geofísicos resulta un área de aplicación interesante y permite ampliar los alcances de la geofísica de ambientes urbanos (Cetraro, 2007).

Las 5 constantes elásticas más comunes son las siguientes:

- Módulo de Young (E).
- Módulo de cizalla (rigidez) (G).
- Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ).

##### **A. MÓDULO DE YOUNG ( $E_d$ )**

Proporciona una medida de la rigidez de un material elástico isótropo. Se define como el cociente entre el esfuerzo uniaxial sobre la deformación uniaxial (en un mismo eje) sufrida por el material, en el rango de esfuerzos en los que la Ley de Hooke es válida (Mendoza, 1998). El módulo de Young puede ser expresado como:

$$E_d = 2G(1 + \nu) \quad (1.34)$$

##### **B. MÓDULO DE CIZALLA (RIGIDEZ) (G)**

Se define como la tasa de esfuerzo cortante (de cizalla) a deformación cortante para un material dado, es decir, describe el comportamiento del mismo ante un esfuerzo de cizalla. En sólidos homogéneos e isótropos, la velocidad de las ondas de corte ( $V_s$ ) está controlada por el módulo de cizalla (Mendoza, 1998):

$$G = \rho V_s^2 \quad (1.35)$$

##### **C. COEFICIENTE DE POISSON ( $\nu$ )**



Es la tasa de deformación compresiva o transversal (normal a la carga aplicada) a la deformación extensiva o axial (paralela a la carga aplicada) para un material en particular. Cuando un material es estirado en una dirección, el mismo tiende a expandirse (o, en casos raros, a contraerse) en las otras dos direcciones, y viceversa (efecto de Poisson). El coeficiente de Poisson es una medida de esta tendencia (Mendoza, 1998). Suponiendo que el material es comprimido a lo largo de la dirección axial:

$$\nu = -\frac{\varepsilon_{trans}}{\varepsilon_{axial}} = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \quad (1.36)$$

En función de las velocidades sísmicas:

$$\nu = \frac{(\frac{V_p}{V_s})^2 - 2}{2(\frac{V_p}{V_s})^2 - 2} \quad (1.37)$$

La relación de Poisson ( $\nu$ ) es una medida de la contracción lateral del material. En el caso de materiales elásticos varía entre 0 y 0,5. Como los líquidos no oponen resistencia a esfuerzo cortante,  $\mu = 0$ , entonces  $\nu = 1/2$ .

Para suelos, Salem (2000) encontró que: (1) valores de  $\nu$  inferiores a 0.5 en suelos superficiales pueden indicar presencia de humus, sedimentos o suelos arcillosos; (2) valores alrededor de 0,1 en superficie pueden indicar saturación de aire o arenas de cuarzo puro; (3) el cociente de Poisson aumenta con la profundidad, lo que puede deberse a que los suelos y sedimentos cerca de la superficie son más jóvenes y más compresibles que los suelos a mayores profundidades, menos compresibles y más plásticos.

#### **D. Velocidades De Ondas “P” y “S” Para Algunos Tipos De Materiales.**

Las velocidades de ondas P y S (ver tablas 1.1, 1.2 y 1.4) son generalmente mayores para:

- Rocas densas que para rocas livianas o más ligeras.
- Rocas ígneas que para rocas sedimentarias.
- Rocas sólidas que en rocas con agrietamientos y fracturas.
- Rocas sanas (no erosionadas), rocas erosionadas (intemperizadas).
- Sedimentos consolidados, sedimentos poco consolidados.
- Suelos húmedos que en suelos secos.

**Tabla 1.1:** Tabla Resumen sobre Valores Típicos o Representativos de Campo de Velocidades de Ondas “P” para Varios Materiales. (Fuente: Documentos Varios. Ver Tablas Tesis).

<b>Materiales</b>	<b>Velocidad de Onda P (m/s)</b>
Acero	6000
Agua (dependiendo de la temperatura y contenido de sal)	1430-1680
Agua de mar	1460-1530
Agua fresca superficial	1430-1490
Aire	330
Arcilla arenosa semi consolidada (suelo arcilloso)	381-655
Arcilla saturada	910-2750
Arcilla, arenisca arcillosa	1798
Arcilla, densa y húmeda. Dependiendo de la profundidad	914-1798
Arena	1402-2560
Arena arcillosa	975-1158
Arena arcillosa cementada	1158-1280
arena cementada	853-975
Arena húmeda o saturada (incluyendo la movediza)	610-1830
Arena seca	450-900
Arenas compactas	1500-5400
Arenas y gravas sueltas	400-900
Arenas y gravas sueltas saturadas	1500-1800
Arenisca y lutitas	1830-4500
Basalto inalterado	2600-4300
Caliza	2134-6100
Carbón	1500
Cieno	1400-1800
Dolomita y caliza	4300-6700
Escombros (ripió) o grava	600-793
Esquisto, arcilla esquistosa (shale)	800-4270
Granito	4575-5800
Granito inalterado	4800-6700
Ígnea alterada y roca metamórfica	450-3700
Marga humedecida	300-750

**Tabla 1.2:** Tabla Resumen sobre Valores Típicos o Representativos de Campo de Velocidades de Ondas “P” para Varios Materiales. (Fuente: Documentos Varios. Ver Tablas Tesis).

<b>Materiales</b>	<b>Velocidad de onda P (m/s)</b>
Margas	2500-4500
Materiales superficial (capa de alteración de suelos y rocas)	305-610
Pizarras	2500-4500
Roca alterada (intemperizadas)	1500
Roca metamórfica	2400-7020
Roca sedimentaria alterada	600-3000

Roca ígneas	4500-7500
Roca sedimentarias	3500-5500
Sal	4000-5190
Sedimentos no consolidados	300-2500
Suelo superficial húmedo, lodoso o cienoso	305-396
Suelo superficial ligero y seco	183-274
Tierra suelta	250-400
Yeso o tiza	1830-3970

**Tabla 1.3: Clasificación del Sitio (Fuente IBC, 2015).**

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, $\bar{S}_u$ (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	$360 < \bar{V}_s \leq 760$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 2,000$
D	Suelo rígido	$180 \leq \bar{V}_s \leq 360$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$1,000 \leq \bar{S}_u \leq 2,000$
E	Suelo blando	$\bar{V}_s < 180$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 1,000$
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 $\bar{S}_u < 500$ 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 mde turbay/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 1.4: Resumen sobre Valores Típicos o Representativos de Campo de Velocidades de Ondas "S" para Varios Materiales. (Fuente: Documentos Varios. Ver Tablas Tesis).**

Materiales	Velocidad de Onda S (m/s)
Agua	0
Arena movediza	0
Arenas compactas	800-2000
Areniscas	2150
Basalto	3200
Calizas	1350
Carbón	900
Cieno	50-300
Depósitos de arcillas	900
Granitos	3000
Gravas saturadas (limpia)	300
Gravas saturadas (sucia)	600
Gravas y arenas densas	150-200
Limos	2000-3000
Roca alterada (intemperizadas)	600-900

Roca ígneas	3500-4000
Roca metamórfica	2500-3500
Roca sedimentarias	1500-3000
Sedimentos no consolidados	100-500

**Tabla 1.5:** Valores Típicos o Representativos de Campo de  $\rho$  (densidad) para Varios Materiales.

Material	$\rho$ (T/m <sup>3</sup> )
Arena seca	1.6-2.0
Agua fresca superficial	1
Arcilla	1.3-1.8
Arenisca	1.9-2.7
Basalto inalterado	2.2-3.0
Dolomita y caliza	2.5-3.0
Granito inalterado	2.6-3.1

El coeficiente de Poisson puede ser un indicativo de anisotropía en depósitos sedimentarios. Así, por ejemplo, Pickering (1970), demostró teóricamente que el rango  $-1,0 < \nu < 0,5$  corresponde a suelos anisotrópicos. Por su parte Salem (2000), encontró que los valores negativos de  $\nu$  en suelos pueden indicar anisotropía (Ver Tablas 1.6).

**Tabla 1.6:** Valores representativos de la relación de Poisson ( $\nu$ ). Nótese que los esfuerzos normales horizontales dependen de la relación de Poisson del medio. Sin embargo para el esfuerzo normal vertical es independiente de la relación de Poisson. (Fuente: Documentos Varios. Ver Tablas Tesis).

Tipo de material	Relación de Poisson, $\nu$
Arcilla	0.4-0.5
Arcilla blanda	0.15-0.25
Arcilla media	0.2-0.5
Arena	0.3-0.4
Arena densa	0.3-0.45
Arena limosa	0.2-0.4
Arena media	0.25-0.4
Arena seca	0.3-0.35
Arena suelta	0.2-0.4
Materiales en la superficie con saturación de aire o arenas de cuarzo puro	0.1
Roca	0.15-0.25

Rocas muy blandas	0.45
Rocas muy duras	0-0.05
Sedimentos no consolidados y no saturados	0.31
Suelos anisotrópicos	-1.0 - 0.5
Suelos superficiales con presencia de humus sedimentos o suelos arcillosos	< 0.5

## 2.5 Definición de Términos Básicos

- **AASHTO:** Siglas de la American Association State Highway and Transportation Officials.
- **REFRACCIÓN SÍSMICA:** Este método 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.
- **MASW:** Análisis Multicanal de Ondas Superficiales, es un método que analiza las propiedades de propagación de las ondas sísmicas superficiales (Vs), principalmente las Ondas de Rayleigh.
- **MAM:** Análisis multicanales de Microtremores, es un método que aprovecha el "ruido ambiente" (paso de vehículos, funcionamiento de maquinarias, cercanía a fuentes activas, etc.).
- **PARÁMETROS ELÁSTICOS:** son un conjunto de parámetros que definen las propiedades y comportamiento de un material que se somete a esfuerzos, sufre deformaciones.
- **ESTRIBOS:** Elementos que soportan los extremos de un tramo simple o de una superestructura de varios tramos, además, retiene el relleno del terraplén de acceso, su diseño puede ser de marco rígido, muro en voladizo, muro de gravedad, columna única, pilote ente otros.
- **PERFIL SÍSMICO UNIDIMENSIONAL DE ONDAS DE CORTE:** Variación de velocidad de onda de corte (VS) a profundidad.
- **COEFICIENTE DE POISSON:** Material elástico lineal e isótropo cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento.
- **VELOCIDAD DE ONDAS Vp:** Son ondas longitudinales o compresionales, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación y pueden viajar a través de cualquier tipo de material líquido o sólido.

- **VELOCIDAD DE ONDAS Vs:** Las ondas S (secundarias o secundae) son ondas en las cuales el desplazamiento es transversal a la dirección de propagación. Solo se trasladan a través de elementos sólidos.
- **LAS ONDAS RAYLEIGH:** Son ondas superficiales que producen un movimiento elíptico retrógrado del suelo. Su velocidad de propagación es casi un 90% de la velocidad de las ondas S.
- **DENSIDAD DE MATERIAL:** Para caracterizar el estado, se emplea la propiedad física intensiva denominada densidad, esta nos indica la cantidad de masa y de volumen que tiene el material.
- **DEFORMACIÓN:** Es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica.
- **AMORTIGUAMIENTO:** Se define como la capacidad de un sistema o cuerpo para disipar energía cinética en otro tipo de energía.
- **ACUMULACIÓN DE SHOTS:** Generación de golpes de forma continua.
- **MÓDULO DE CORTE:** Es una constante elástica que caracteriza el cambio de forma que experimenta un material elástico cuando se aplican esfuerzos cortantes.
- **MÓDULO DE YOUNG:** Es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza.

## 2.6 Hipótesis y Variables

### 2.6.1. Hipótesis

#### 2.6.1.1. Hipótesis General

Los criterios técnicos que se toman en cuenta para elegir los métodos de refracción sísmica MASW – MAM, servirán para determinar el cálculo y evaluación de los parámetros elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac. 2016.

#### 2.6.1.2. Hipótesis Específicas

##### a) HIPÓTESIS ESPECÍFICA “A”:

La aplicación de los métodos de refracción sísmica, análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal MASW y MAM, influye para evaluar el cálculo del coeficiente de Poisson del suelo en el Puente Vehicular Interregional Pampas.

**b) HIPÓTESIS ESPECÍFICA “B”:**

Si es factible determinar el perfil sísmico unidimensional de ondas de corte evaluadas mediante el análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal MASW y MAM, en el Puente Vehicular Interregional Pampas.

**c) HIPÓTESIS ESPECÍFICA “C”:**

Efectivamente existe un respaldo de control de calidad la aplicación de los métodos de refracción sísmica MASW – MAM para la construcción del Puente Vehicular Interregional Pampas.

**2.6.2. Variables e Indicadores**

**2.6.2.1. Identificación de Variables**

**VARIABLE INDEPENDIENTE (x):** MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA, MASW Y MAM.

**VARIABLE DEPENDIENTE (y):** PARÁMETROS ELÁSTICOS DE PUENTE VEHICULAR.

**2.6.2.2. Matriz de Consistencia**

(Ver Anexo N°A1)

## **CAPITULO III**

### **3. MÉTODOLÓGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

En este capítulo se establece una metodología para los Métodos de Refracción Sísmica MASW - MAM y Parámetros Elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac, para lo cual conlleva los siguientes pasos:

- Identificación y localización de la zona en estudio, levantamiento topográfico del Puente Vehicular Interregional Pampas.
- Levantamiento de datos sísmicos y análisis de la información.
- Reconocimiento de campo, para identificar el emplazamiento del eje del puente Vehicular.
- Identificación de las características de la geología regional y local.
- Correlación de datos sísmicos, cálculo de los parámetros elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas.

#### **3.1 Tipo de Investigación**

Por su finalidad de estudio, el tipo de investigación de acuerdo a las variables propuestas, el objetivo general y objetivos específicos de la investigación es de tipo: Aplicada o Tecnológica.

#### **3.2 Nivel de la Investigación**

El nivel de la investigación es: Exploratorio - Correlacional

#### **3.3 Método de la Investigación**

En el presente trabajo de investigación se utilizó el MÉTODO CIENTÍFICO como método general.

#### **3.4 Diseño de la Investigación**

En la presente tesis se usara el Diseño de investigación tipo NO EXPERIMENTAL con un enfoque cuantitativo.

#### **3.5 Población y Muestra**

##### **3.5.1. Población**

La población está definida del tramo Km 0+000 al 0+250 y del Km 0+320 al 0+570 del eje de la proyección del puente Vehicular Interregional Pampas.



### **3.5.2. Muestra**

Se tomara como muestra la proyección de los estribos del tramo Km 0+175 al 0+250 y del Km 0+320 al 0+395 del eje de la proyección del puente Vehicular Interregional Pampas.

#### **3.5.2.1. Tipo de Muestreo**

El tipo de muestreo es no aleatorio o dirigido (NO PROBABILÍSTICA), de acuerdo al interés del investigador.

### **3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **3.6.1. Técnicas**

En primer lugar se tuvo en cuenta el análisis documental, donde se consideraron las fuentes bibliográficas; que nos sirvieron para estructurar el Marco teórico, referencial y conceptual. Asimismo se tuvo presente los formatos del levantamiento de datos geofísicos (ver Anexo A3).

#### **3.6.2. Instrumentos**

El instrumento que se aplicó en la unidad de análisis fueron principalmente los formatos de levantamiento de datos geofísicos, que figura en el anexo A3. Se considerará las no documentadas como son:

##### **Técnicas De Campo:**

##### a) Recolección de datos

- Muestreo
- Observación
- Diario de campo

##### b) Recolección de la información

- **Fase de Pre-campo**

Elaboración de formatos de levantamiento de datos geofísicos y cronograma de trabajo.

- **Fase de campo**

Se realizara el levantamiento de datos geofísicos en sus respectivos formatos, así mismo levantamiento topográfico de la zona de estudio.

- **Fase de Gabinete**

Procesamiento de la información de campo.

Análisis de la información y presentación de resultados.

- Análisis cualitativo

- Análisis cuantitativo
- Elaboración de cuadros y gráficas

Las cuales se elaboraran teniendo en cuenta los criterios de confiabilidad y validez del mismo.

c) Procesamiento de los datos

Los datos obtenidos en campo serán procesados a través de:

- Microsoft Excel: Para exportar cuadros y datos estadísticos de los resultados y datos obtenidos de los ensayos no destructivos.
- Microsoft Word: Para la elaboración de la parte descriptiva de las fichas Ficha de organización, sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos.
- AutoCAD Civil 3D: Para establecer la localización, delimitación, puntos de investigación y área de influencia del proyecto.
- Software Geofísico Seismager/2D: este Software fue generado por Geometrics, y tiene los módulos “Pickwin”, “Plotrefa”, “WaveEq”, “Geoplot” (Geometrics, 2001).

d) Análisis de los datos

Para el análisis de los resultados se recurrirá a la estadística descriptiva, para la interpretación porcentual y clasificación de los datos.

### **3.7 Identificación, Caracterización y Descripción del Puente Vehicular Interregional Pampas**

La identificación y localización del nuevo Puente Vehicular Interregional Pampas en la zona de investigación, previa observación, para después identificar las zonas de accesos de las áreas de trabajos de ambos estribos y Aplicar los Métodos de Refracción Sísmica, Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal (MASW) y Análisis de Microtrepidaciones en Arreglo Multicanal (MAM), lo que nos permitirá determinar la caracterización dinámica de suelo en función de las ondas  $V_p$  y  $V_s$ . La ubicación del Puente Vehicular Interregional Pampas, están dentro de la Localidades de Incachaca y Chacabamba, Distritos de Saurama y Uranmarca, Vilcashuaman -Chincheros-Ayacucho-Apurímac. (**Ver Plano P-01**).

a) Trabajo de campo

Se realizó el levantamiento geofísico por 3 días, con una duración de 8:00 horas de trabajo al día, Se tomaron las medidas, obteniendo un registro sísmico de ambos estribos del puente proyectado. Así mismo se obtuvo el levantamiento topográfico de las líneas sísmicas.

b) Las Especificaciones Técnicas

Para el levantamiento geofísico se tomara en cuenta Los Términos de referencia que será proporcionado por La Mancomunidad Regional de los Andes, la cual inicia los estudios de pre inversión producto de su Plan de Inversiones Interregional 2015.

### **3.8 Equipo e Instrumentos Utilizados**

El equipo utilizado para los ensayos de refracción sísmica, MASW y MAM, está compuesto por diferentes elementos entre los cuales se encuentran: **sismógrafos, geófonos, cable de conexión para los geófonos, fuente de energía y un cable disparador.** A pesar que existe una amplia variedad de equipos para los ensayos de refracción sísmica, MASW y MAM, su elección está basada en el objetivo de la investigación, tipo de ondas sísmicas que serán registradas (Ondas P o S), alcances del ensayo y el nivel de detalle que se requiera.

#### **GEÓFONOS**

Se llaman geófonos a los sensores o receptores que transforman los movimientos sísmicos del suelo a señales eléctricas de características de frecuencia y amplitud análoga a la de las ondas sísmicas que son detectadas y registradas por el sismógrafo. Los geófonos, en su mayoría, están conformados por un sistema amortiguador base donde se intercalan un conjunto de espiras y un imán, un sistema mecánico de suspensión y adicionalmente una resistencia para el control de la señal que cumple también la función de amortiguamiento. Al producirse un movimiento relativo, este sistema emite la señal de voltaje (pulsos eléctricos). Debe tenerse en cuenta que los sensores tienen una frecuencia natural, y que para valores menores a esa frecuencia, la amplitud del movimiento disminuye linealmente hasta cero. Cada geófono tiene un cable para conexión de un metro de longitud aproximadamente, además de terminales tipo clip para enlazarse con otro cable que conecta a los geófonos con el sismógrafo.

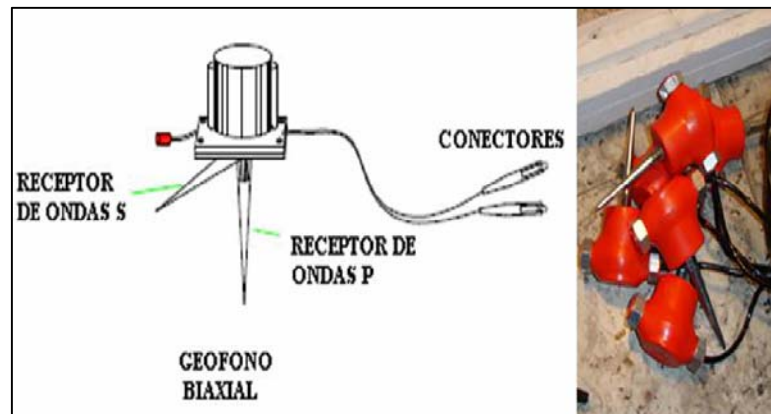
En su selección hay que considerar (Boletín técnico, 2003):

- Parámetro medido: desplazamiento, velocidad o aceleración.
- Dirección de la medición: Verticales (eje “y”), horizontales (eje “x”), biaxiales (ejes “x” y “y”), triaxiales (ejes “x”, “y” y “z”).
- Rango de frecuencias. “Filtro de frecuencias”.
- “Deformación de las ondas” (respuesta del geófono) en la captación.
- Sensibilidad. Calibración.

Para trabajos de refracción sísmica en los que interesa medir el tiempo de viaje de la velocidad de ondas  $V_p$ , se emplean geófonos verticales cuya frecuencia varía de 1 a 14 Hz.

### GEÓFONOS BIAXIALES

Utilizados para la medición de las componentes de movimiento vertical (V) y de una componente en el plano horizontal en la dirección perpendicular (H1) al eje de la línea de inspección. Este tipo de geófonos son utilizados para la medición de ondas P y ondas S, y forma parte del equipo utilizado en aplicación del método de medición de ondas superficiales MASW (Ver figura 2.1).



**Figura 2.1.** Esquema de geófono biaxial (izquierda) y modelo de geófono biaxial (derecha) – Equipos de la Empresa INGEOTECON E.I.R.L.

### CABLE DE CONEXIÓN DE GEÓFONOS

Los geófonos se conectan a un cable de conexión de geófonos que a su vez está conectado al sismógrafo (Ver Figura 2.2). Este cable es el que transporta las señales eléctricas transformadas por los geófonos. Además, tiene puntos de conexión eléctrica donde se conecta cada receptor a intervalos uniformes. El espaciamiento entre geófonos varía desde 1 m o mayores, todo en función

del nivel de detalle definido por los objetivos de la investigación por refracción. Las conexiones entre los geófonos y los cables no son a prueba de agua, por lo que debe asegurarse que no se produzca un corto circuito por causas externas como césped húmedo, lluvia, entre otros. Para zonas o áreas cubiertas con agua superficial se requieren geófonos, cables de conexión de geófonos y conectores especiales a prueba de agua.



*Figura 2.2. Cable de conexión de geófonos – Equipos de la Empresa Ingeotecon E.I.R.L.*

## **SISMÓGRAFOS**

El sismógrafo cumple la función de recibir los impulsos eléctricos (voltajes) de los geófonos, amplificarlos y convertirlos de señales analógicas a señales digitales, que es la forma en que se almacenan los datos sísmicos. Algunos modelos tienen capacidad para realizar el procesamiento y finalmente, permitir la salida de datos en forma de un expediente o archivo digital. Por otra parte, los sismógrafos poseen canales para la recepción de señales enviadas por los geófonos, cuyo número corresponde a la cantidad de geófonos que puede ser conectado al mismo. Las señales son filtradas y digitalizadas de acuerdo con las opciones definidas por el usuario.

Existe una gran diversidad de sismógrafos que varían desde unidades de canal único hasta unidades multi – canales sofisticados. Los sismógrafos de los cuales se obtiene una mayor utilidad en la ingeniería muestran el registro de señales obtenidas de ondas sísmicas en un monitor digital incorporado.

En su selección hay que considerar puntos como (Boletín técnico, 2003):

- Capacidad
- Procesado previo
- Salida de datos (analógica o digital).
- Trazas sísmicas - Domocrónicas

Sismógrafo Multi – Canal: Esta unidad puede utilizar 6, 12, 24, 48 o más geófonos. En un sismógrafo multi-canal, las señales de todos los geófonos son registradas simultáneamente. El monitor muestra las trazas de registro de cada geófono y permite al operador observar la tendencia de los datos para lograr un mayor grado de fiabilidad en los registros obtenidos y facilitar la selección de los picos que determinan los tiempos de los primeros arribos (ASTM Designation D5777, 1995) para cada geófono. (Ver Figura 2.3).



**Figura 2.3.** Sismógrafo Modelo GEODE de 24 canales (Geometrics, 2001)

### **UNIDAD DE CONTROL Y ALMACENAMIENTO**

En ciertos modelos de sismógrafos, la unidad de control y almacenamiento consiste en una computadora portátil en la cual se ha instalado el sistema operativo empleado para establecer los parámetros de adquisición y almacenamiento de datos (ver figura 2.4). En algunos modelos de sismógrafos, la interface entre la computadora y el sismógrafo es a través de un cable especial de conexión y el sismógrafo.





**Figura 2.4.** Unidad de control y almacenamiento – Equipos de la Empresa INGEOTECON E.I.R.L.

### **FUENTE DE ENERGÍA SÍSMICA**

Tomando en cuenta la gran variación de constantes elásticas que pueden presentar los diferentes tipos de suelos y estructuras geológicas del subsuelo, la energía sísmica necesaria para obtener información del subsuelo puede ser muy grande, cuanto más profunda sea la capa, y conforme aumente el número de cambios de medios elásticos, la energía susceptible de regresar a la superficie y ser detectada en los geófonos, disminuye rápidamente.

Las ondas que se utilizan en refracción son generadas por un evento sísmico artificial instantáneo. 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 eventos diferentes, 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.

Existen dos tipos de fuentes de energía: fuentes de impacto y cargas explosivas. Las características y el procedimiento para la implementación del equipo utilizado en fuentes de impacto se detallan en el Cuadro 1.3.

**Cuadro 1.3: Descripción de las fuentes de impacto (ASTM Designation D5777, 1995)**

Fuente de Energía	Profundidad	Equipo	Procedimiento
Fuentes de impacto	Investigación superficial 5-10m	Martillo de 4 a 7 kg. Placa móvil	Se deja caer el martillo de 3 a 5 veces para verificar las señales en el sismógrafo. Un golpe a la placa sobre el piso o suelo es usado para que mejore el acoplamiento de la energía del martillo al suelo, y para la iniciación del movimiento sísmico (tiempo cero).
	Investigación profunda en materiales secos y sueltos	Proyectiles mecanismos de caídas de 45 a 225kg.	Los primeros son descargados por debajo o encima de la tierra, los segundos se dejan caer de una altura de 3m mediante un trípode y polea.

Las cargas explosivas son sustancias químicas que al reaccionar liberan una gran cantidad de energía, mediante procesos térmicos o de presión; la cantidad de energía liberada es muy grande comparativamente con el volumen de explosivo. Este tipo de fuente es utilizada en los casos en que se requiere investigar grandes profundidades y en sitios donde no exista riesgo de daños en estructuras o que puedan ocasionar derrumbes. El explosivo industrial que proporciona la mayor relación de liberación de energía con respecto al volumen, es la nitroglicerina. En la práctica no se utiliza la nitroglicerina pura, sino mezclada con distintas sustancias que hacen menos peligroso su transporte y su manipulación. Los tipos de explosivos industriales más comunes se describen en el Cuadro 1.4.

**Cuadro 1.4: Tipos de Explosivos Industriales más Comunes (Rosales Climent, Cristina. 2001).**

Tipo	Potencia	Características
Pólvora	5-20%	Mezcla refinada de salitre, azufre y carbón. Las proporciones definen la potencia. Se utiliza en polvo granulada.
Dinamitas	30-60%	Mezcla de un explosivo y una sustancia neutra y polvorienta. El explosivo puede ser: nitroglicerina, nitrato de amonio, potasio y sodio. La sustancia puede ser: Aserrín, celulosa, polvo de aluminio, etc. Se utiliza en forma de goma, gelatina plástica y polvorienta.

En la exploración geofísica se utilizan exclusivamente dinamitas de la máxima potencia, en forma de cartuchos, los cuales requieren de un iniciador para hacerla detonar, siendo los estopones o cápsulas eléctricas (fulminante) los más comunes. Estos consisten de un pequeño tubo metálico relleno de



pólvora, que se hace detonar por medio de una chispa eléctrica que brinca entre los extremos desnudos de dos cables.

Los explosivos que se utilizan en la prospección geofísica no se detonan al aire libre, porque generan una onda de aire superficial que produce una onda que interfiere con los movimientos sísmicos que viajan en el subsuelo. Se acostumbra poner la carga de explosivo dentro del subsuelo, a través de una perforación. La profundidad a la que la carga es ubicada se determina mediante pruebas que indiquen la posición en que transmite energía con la máxima eficiencia.

Enterrar pequeñas cantidades de explosivos (menores que 0.5 Kg) a 1 o 2 m es efectivo para investigaciones de poca profundidad (menores que 100 m) si se rellena y taponea. Para investigaciones de grandes profundidades (debajo de los 100 m), mayores cargas explosivas (mayores que 0.5 Kg) son requeridos y usualmente son enterradas a 2 m de profundidad o más. El uso de explosivos requiere personal entrenado especialmente para el manejo y ejecución de procesos especiales.

Con objeto de mejorar la transmisión de la energía, siempre que sea posible, la carga se sitúa en una capa arcillosa o de bajo nivel hidrostático. La cantidad necesaria de explosivos varía en función de las condiciones locales. Sin embargo, se admite que debe ser proporcional al cuadrado de la distancia entre el punto de disparo y el geófono más alejado de la línea de inspección, cuando esta separación es menor que 1000 m. En la mayoría de casos es suficiente una carga de 100 a 200 g para separaciones de 100 m entre el punto de disparo y el geófono más extremo.

En el Perú el uso de explosivos (pólvoras y dinamita) como fuente de energía sísmica no son utilizados explosivos de alta potencia frecuentemente, debido a que el ensayo de refracción sísmica es utilizado para un alcance en profundidad muy superficial (0-20m aproximadamente). Adicionalmente, el uso de explosivos es de uso prohibitivo.

Para las investigaciones usuales desarrolladas en proyectos de ingeniería civil, las fuentes de energía sísmica comúnmente utilizadas son mazos de 10 a 25 lb de peso, mecanismos de caídas con pesos hasta de 100 lb utilizando trípode y polea, y pistolas sísmicas que emplean cartuchos de escopeta.

## **SISTEMA DE DISPARO (TRIGGER)**

El sistema de disparo o trigger consiste en el envío de una señal a la unidad de adquisición de datos, mediante el cierre o apertura del circuito entre la fuente de energía y la unidad de adquisición de datos, al momento del impacto o explosión, para que éste de inicio a la toma de datos (tiempo cero) y registro de las ondas sísmicas (Ver Figuras 2.5 y 2.6).

El trigger se configura en el programa de cómputo a implementar. Esta configuración consiste en indicar si la señal a enviar es un aumento brusco del voltaje (cierre del circuito mediante un golpe) o un decremento brusco del mismo (apertura del circuito mediante una explosión). Cuando las condiciones del trigger se cumplen, se inicia la adquisición de datos simultáneamente por los canales configurados (1, 6, 12, 24, 48 o más, según el número de geófonos utilizados).



*Figura 2.5. Martillo y plato de golpe – Equipos de la Empresa INGEOTECN E.I.R.L.*



*Figura 2.6. Sistema de disparo: interruptor de martillo (izquierda) y cable de extensión del trigger (derecha) – Equipos de la Empresa INGEOTECON E.I.R.L.*



**Figura 2.7. Equipos e instrumentos utilizados – Equipos de la Empresa INGEOTECON E.I.R.L.**

## CAPITULO IV

### 4. DESARROLLO Y RESULTADO DE LA INVESTIGACION

#### 4.1 Ubicación y Accesibilidad

##### a. Ubicación de la Zona de Estudio

El área de influencia donde se realizó el levantamiento geofísico se encuentra dentro de las coordenadas trazadas en la Cuadro 1.5 (Ver Plano P-01), cuya ubicación del Puente Vehicular Interregional Pampas, están dentro de la Localidades de Incachaca y Chacabamba, Distritos de Saurama y Uranmarca, Vilcashuaman -Chincheros-Ayacucho-Apurímac.

**Cuadro 1.5: Coordenadas Trazadas del Estudio**

<b>Coordenadas UTM</b>	
638908.81	8484519.84
639085.40	8484519.84
639085.40	8484338.57
638908.81	8484338.57

##### b. Accesibilidad

El acceso al Puente Vehicular Interregional Pampas se da por la ruta de Ayacucho – Apurímac de la forma siguiente:

**Cuadro 1.6: Acceso a la zona de estudio (Fuente: MTC)**

<b>DE</b>	<b>A</b>	<b>Distancia (Km)</b>	<b>Vía</b>
AYACUCHO	DV. TOCTO	43.0	Asfaltada
DV. TOCTO	VILCAS HUMAN	73.0	Afirmada
VILCAS HUMAN	SAURAMA	30.0	Afirmada
SAURAMA	INCACHACA	25.0	Afirmada
TOTAL		171.0	

El tiempo de viaje aproximado entre Ayacucho y la localidad de Incachaca es de 4.5 horas en camioneta.



**Figura 3.1. Mapa Vial Ayacucho (Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - 2015)**



**Figura 3.2. Mapa Vial Apurímac (Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - 2015)**

### c. Condición Climática

El clima de la provincia de Saurama es variado debido a su configuración geográfica y la presencia de diversos pisos ecológicos. La temperatura disminuye con la altura, siendo más fría a medida que se asciende en los

andes. El clima es seco y algo frígido, pero con un sol siempre radiante durante todo el año.

El clima es cálido y templado en Uranmarca. En invierno, hay mucha menos lluvia en Uranmarca que en verano. Esta ubicación está clasificada como Cwb por Köppen y Geiger. La temperatura media anual en Uranmarca se encuentra a 13.2 °C. La precipitación es de 900 mm al año.

## **4.2 Descripción del Proyecto**

### **4.2.1 Estado Actual**

Actualmente las localidades de Incachaca, ubicados en el distrito de Saurama (Región Ayacucho), Chacabamba en el distrito de Uranmarca (Región Apurímac); carecen de infraestructura vehicular que comunique vialmente a los distritos de la regiones de Ayacucho y Apurímac, hecho que no permite generar un corredor económico entre las provincias de Vilcashuaman y Chincheros. Las citadas localidades cuentan con recursos agropecuarios y turísticos potenciales. Por tal motivo se plantea intervenir mediante la instalación de un puente que permita la articulación vehicular en la zona de estudio.

***Fotografía N°01: Vista del lugar de estudio***



*(Ver Anexo 3, Panel Fotográfico)*

## **4.2.2 Estudio Topográfico**

Se realizó el levantamiento topográfico de la zona de estudio para la obtención de las curvas de nivel y cotas de terreno (Ver Plano P-02).

- Cota más alta: 2200.00 msnm.
- Cota más baja: 2135.00 msnm.

## **4.3 Geología**

### **4.3.1 Geología Regional**

#### **4.3.1.1. Geomorfología**

En la zona de estudio, está emplazado el Valle Interandino; Esta unidad geomorfológica se encuentra en la parte media de la hoja de Chincheros (28-o), el Valle Interandino del río Pampas y sus tributarios corresponden al área de las mesetas disectadas. Los valles muestran en sus partes altas perfiles transversales amplios y abiertos correspondientes a la etapa Valle en los 3,000 y 4,000 m., en este estadio se incluyen también las cabeceras de drenaje secundario que recoge la esorrentía de la mayor parte de la zona alta de la cuenca.

Hacia las partes inferiores, los valles son profundos y encañonados, características, que reflejan una etapa de incisión de fondo muy activo, correspondiente a la etapa Cañón desarrollada en el orden de 600 a 1,000 metros verticales en los valles principales, donde las pendientes de los flancos tienen un promedio de 70 a 80%, con pisos de fuerte gradiente y anchos variables entre 100 y 500m. A esta unidad pertenecen, casi en su totalidad, las cuencas de drenaje de los ríos Jatun Mayo, Caracha, Chicha, Cangallo, Pampas y sus tributarios.



**Fotografía N°02:** Vista de la Geomorfología de la zona de emplazamiento de la Zona de Estudio, sobre terrazas de un Valle Interandino.



#### **4.3.1.2. Geología Estructural**

En el proceso de las inspecciones de campo no fue posible visualizar fallas regionales de grandes extensiones, ni sus características, debido a que generalmente están cubiertas por material cuaternario. En ningún caso se observó señales de fallas activas.

#### **4.3.1.3. Litoestratigrafía**

En el desarrollo del presente Estudio de Geología Regional se ha utilizado información existente y especialmente del cuadrángulo 28-o Ayacucho, del Boletín N° 70 “Geología de los Cuadrángulos de Huancapi, Chincheros, Querobamba y Chaviña” (hojas 28-ñ, 28-o, 29-o, 30-o) del INGEMMET.

Las unidades estratigráficas que afloran en la región, están comprendidas entre el paleozoico y el cuaternario reciente. De la más antigua a la más reciente. (Ver Plano Geológico Regional P-03).



**Cuadro 1.7:** Geología de los Cuadrángulos de Huancapi, Chincheros, Querobamba y Chaviña. (Fuente: Ingemmet).

ERA	SISTEMA	FORMACION	SIMB.	DESCRIPCION
CENOZOICA	CUATERNARIO	DEPOSITO ALUVIAL	Qh-al	Arenas y cantos de 2 a 20 cm. De diámetro aprox. Los materiales sueltos con matriz de arena, limos o arcillas
		DEPOSITOS FLUVIOGLACIARES	Qpl-fg	Gravas, arenas gruesas a veces tobáceas con limos, con una mala selección.
MESOZOICA	CRETACEO	FORMACION AUSANGATE	KsP-au	Arcillitas rojas intercaladas con horizontes calcáreos
		FORMACION VILQUECHICO	Ks-vi	Intercalación de areniscas rojizas con areniscas cuarzosas, calizas finas intercaladas con calizas nodulares y con venillas de calcita.
		FORMACION ARCURQUINA	Kis-ar	Calizas grises en estratos gruesos intercalados con areniscas calcáreas.
		FORMACION MURCO	Ki-mu	Limo arcillitas y arenisca de grano fino de coloración rojiza a rojo purpura
		FORMACION HUALHUANI	Ki-hu	Areniscas cuarzosas blancas e intercaladas con niveles de limolitas gris verdoso
	JURASICO	FORMACION GRAMADAL	Js-gr	Gruesas secuencias de calizas gris azulinas, micritas con vetilla de calcitas.
		FORMACION LABRA	Js-la	Areniscas cuarzosas de coloración blanca, marrón amarillento y orto cuarcitas con intercalación de areniscas calcáreas.
		FORMACION CACHIOS	Jm-ca	Lutitas calcáreas muy deleznales, margas, areniscas calcáreas, areniscas cuarzosas y limolitas.
		FORMACION PUENTE	Jm-pu	Areniscas intercaladas con limo arcillitas y lutitas de color gris claro a gris verdoso de grano fino.
		FORMACION SOCOSANI	Jm-so	Intercalaciones de calizas macizas, con limolitas calcáreas, calco arenitas, calizas dolomíticas.
	TRIASICO	FORMACION PUCARA	TrJi-p	Calizas gris azulinas en bancos mediosa gruesos con nódulos de chert
PALEOZOICA	PERMICO	GRUPO MITU	PsT-mi/sed	Calcarenitas de coloración beige y rojiza, con areniscas feldespáticas verdes, intercaladas con calizas micriticas y limo arcillitas grises y verdosa.

#### 4.3.1.4. Geodinámica Externa

Los factores naturales causantes de los procesos Geodinámicos contemporáneos que se presentan en el área de estudio, son los siguientes:

- Alta precipitación pluvial, es el más importante por su potencial de afectación en cuanto a la estabilidad de las laderas.
- Terremotos fuertes, contribuyen a los procesos de desestabilización de taludes, iniciando nuevos deslizamientos o reactivando los existentes.
- Procesos de meteorización.
- Acumulación de grandes masas de suelo.

#### **4.3.2 Geología Local**

##### **4.3.2.1. Geomorfología**

###### **Laderas**

Se ubican en las partes adyacentes de Los Estribos del puente; en donde en estribo derecho predominan los taludes moderados de 15 a 30° y el estribo izquierdo presenta pendientes altos accidentados de 70 a 80°.

###### **Curso Fluvial (cauce fluvial)**

La más importante expresión morfológica de este tipo la constituye el cauce del río Pampas que es el eje principal de la red de drenaje fluvial, estos cursos de agua están conformados por materiales sueltos de gravas, bolos y bloques con aglomerante de arena y limos.

##### **4.3.2.2. Geología Estructural**

En la zona de estudio no se registran lineamientos estructurales y también no se pudo evidenciar los buzamientos de los estratos rocosos. Por lo que lo en la zona de esta conformado por depósitos fluviales-aluviales.

##### **4.3.2.3. Litoestratigrafía**

El puente en estudio, está constituido por formaciones de las Calizas Pucara y como suelos del cuaternario, se tiene a los depósitos Fluviales-Aluviales, (Ver Plano Geológico Local P-04). Los materiales se describen a continuación:

###### **Mesozoica - Triásico**

###### **Formación Pucara (TrJi-pu)**

Fue estudiado por primera vez por Mc Laughlin, D. H. (1924), describiendo como tal a una potente serie calcárea.

La litología de la serie inferior de esta unidad, está básicamente representada por calizas intercaladas con proporciones subordinadas de areniscas y lutitas.

En las laderas que dan hacia el estribo izquierdo se tiene los macizos rocosos de matriz de Calizas, las cuales se encuentran muy fracturadas.

### **Cuaternario**

#### **Depósitos Fluviales-Aluviales: Holoceno (Qh-fl)**

Son materiales transportados y depositados por el agua. Su tamaño varía desde el limo hasta las gravas gruesas, cantos y bloques. Las facies más gruesas presentan bordes redondeados. Se distribuyen en forma estratiforme, con cierta clasificación, variando mucho su densidad. Están muy desarrollados en los climas templados, ocupando cauces y valles fluviales, llanuras y abanicos aluviales, terrazas y paleocauces. Son suelos muy anisotrópicos en su distribución, sus propiedades están estrechamente relacionadas con la granulometría.

En la zona de estudio los depósitos se ubican en ambos márgenes del río Pampas, con mayores extensiones de terrenos fluviales a la margen derecha. Estos depósitos presentan un comportamiento de poca resistencia a la erosión y con permeabilidad de permeable.

**Fotografía N°03:** Vista Panorámica de las Calizas Pucará Estribo Izquierdo y Depósitos Fluviales-Aluviales Estribo Derecho.



#### 4.3.2.4. Geodinámica Externa

La ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa están relacionados con los periodos de precipitaciones pluviales, en especialmente con aquellos años excepcionales por las avenidas o lluvias.

Los principales procesos geodinámicas observados durante el reconocimiento de campo son: En épocas de lluvias se produce el transporte de grandes volúmenes de agua y sedimento, generando fenómenos de erosión de riberas, desbordes e inundaciones, que afectan las áreas adyacentes y circundantes a la superestructura proyectada.

**Cuadro 1.8:** Los principales procesos geodinámicas del área de estudio.

Tipos	Área / Longitud	Localización	Riesgos
Erosión Fluvial (Épocas de lluvia)	Ambos Márgenes del Río Pampas	Estribos del Puente	Alto

#### 4.4 Procedimientos de Trabajo de Campo

En los trabajos de campo que se realizan en cada ensayo de refracción sísmica primero se define el eje de la línea sísmica, 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.

- En primer lugar, se recomienda aislar el sitio donde se realizará la inspección por refracción.
- Realización de un recorrido previo por el sitio, para la verificar las condiciones del mismo, antes de proceder a la ubicación de la línea.
- Revisión de la información inicial requerida. Debe indicarse la cantidad, longitud y ubicación de las líneas de inspección. Si alguna de las líneas de inspección no es posible realizarla en el lugar o con la longitud prevista, se deberá justificar cualquier cambio.
- Trazo de la línea de inspección. Haciendo uso de la cinta métrica se marcarán sobre el suelo, en línea recta, la separación a la cual deben espaciarse los geófonos, dependiendo de la cantidad de canales a utilizar y

de la longitud de la línea (Ver Figura 3.3). El Cuadro 1.9, sirve de guía para este propósito, cuando se utiliza sismógrafos de 12 y 24 canales (geófonos) para la realización de una inspección típica. La longitud de la línea de inspección por refracción debe ser mayor que el triple de la profundidad a la que se encuentra la interface o cambio de estrato (Redpath, Bruce, 1973).

**Cuadro 1.9.** Longitud de la línea (metros), según cantidad de canales y separación de Geófonos (Fuente Propia).

Separación de Geófonos (m)	Cantidad de Canales	
	12	24
1.5	18.0	36.0
2.0	24.0	48.0
2.5	30.0	60.0
3.0	36.0	72.0
3.5	42.0	84.0
4.0	48.0	96.0
4.5	54.0	108.0
5.0	60.0	120.0
5.5	66.0	132.0
6.0	72.0	144.0

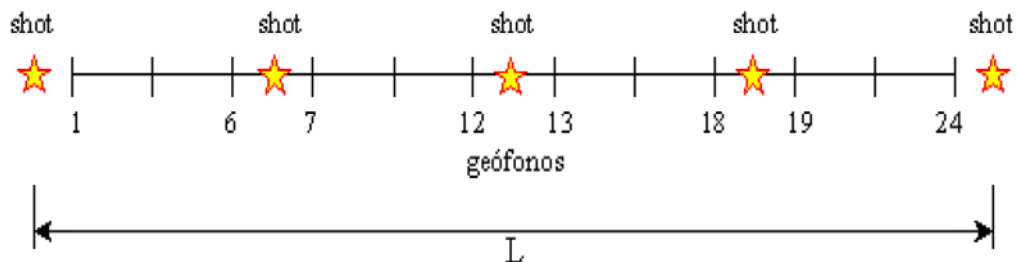


**Figura 3.3.** Trazo de la línea de inspección en la que se ponen marcas para ubicar c/u de los geófonos y la fuente de energía (Fuente Propia, 10/10/16)



**CONFIGURACION UTILIZADA EN LOS ENSAYOS DE REFRACCION SISMICA**

**Figura 3.4.** Configuraciones utilizadas para la realización de ensayos de Refracción Sísmica, utilizando cuatro puntos de disparo (sismógrafo de 12 canales) – (Msc. Ing. Huamán Egoávil-Bach, Carlos, 1999).



**Figura 3.5.** Configuraciones utilizadas para la realización de ensayos de Refracción Sísmica, utilizando cinco puntos de disparo (sismógrafo de 24 canales) – (Msc. Ing. Huamán Egoávil-Bach, Carlos, 1999).

- Los geófonos verticales de 14 Hz se colocan en los puntos marcados. El geófono debe ser introducido a presión y no debe golpearse para lograr la penetración de la espiga (Ver Figura 3.6). La espiga debe introducirse lo suficiente para asegurar la fijación del geófono. Si la espiga no puede introducirse a presión, se perforará primero un agujero con la punta de 5/8", procurando que la profundidad del mismo sea un poco menor a la longitud de la espiga. La colocación inapropiada de los geófonos es un problema común que resulta en una detección pobre de las señales de ondas P. A menudo, una sección de unos 10 cm en la parte superior de una capa suelo podría ser removida para que el geófono pueda ser colocado sobre suelo firme. Donde la roca está expuesta en la superficie, la base del geófono puede ser reemplazada por un trípode base.



**Figura 3.6.** Receptores o Geófonos (Geometrics, 2001)

- El cable de conexión de los geófonos se tiende y debe ser puesto fuera de la línea de geófonos a lo largo de una línea recta. Preferentemente se recomienda colocarlo al lado izquierdo del arreglo de geófonos (tomando como referencia la ubicación del sismógrafo) y se conectan los geófonos al cable (Ver Figura 3.7).
- La manera más simple para generar la energía sísmica en el (los) punto(s) de disparo(s), es producir un impacto en el suelo con un martillazo. Este procedimiento tiene el inconveniente de que la energía que se genera es de poca cuantía y aunque pueda utilizarse martillos más pesados, su manejo no siempre es fácil y la energía generada no penetra mucho en el subsuelo. Cuando se utilizan impactos con martillos, deberán hacerse sobre una placa o en terrenos en los cuales se pueda colocar un dispositivo que genere un impulso eléctrico en el instante preciso en que se produzca el impacto, con el objeto de tener una referencia en tiempo, de la iniciación del movimiento sísmico (tiempo cero). El dispositivo utilizado como fuente de energía es un mazo de 20 libras, adecuado con un interruptor especial para marcar el tiempo cero, y una placa de acero de 15x15cm y 16 mm de espesor, que se coloca sobre el suelo y recibe el golpe del mazo.
- La ubicación del punto de disparo al final de la línea de inspección debe estar desplazada en un ángulo recto. El propósito del desplazamiento en

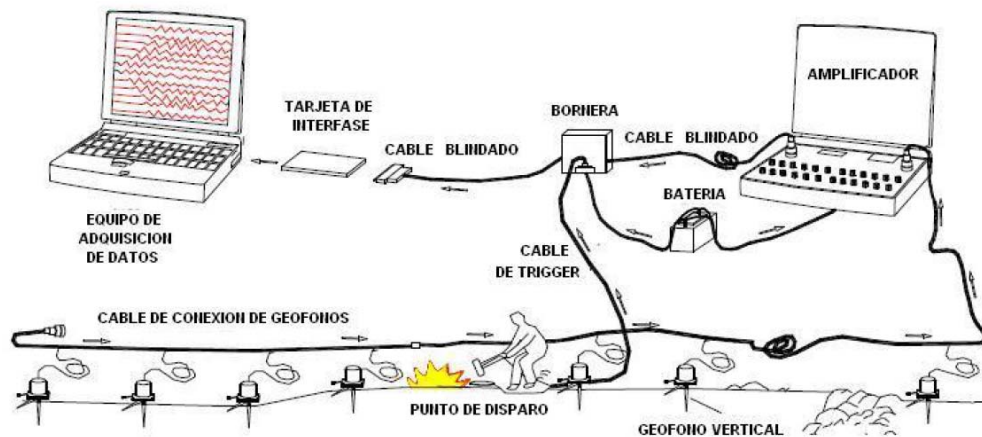
ángulo recto es permitir la determinación de tiempos totales o sea, el tiempo de viaje para recorrer la distancia existente entre cada punto de disparo y el geófono más lejano. (ASTM D 5777).

- La ubicación de los puntos de disparo más allá del extremo es para registrar los tiempos de los primeros arribos de ondas refractadas desde un estrato que se está tratando de trazar, y para registrar esas refracciones en la mayor cantidad de geófonos. Aunque no existe una regla para definir la separación entre el punto de disparo y el geófono más cercano, una separación más o menos entre la mitad de la longitud total del cable usualmente es adecuado.
- El cable de extensión del disparador o trigger se despliega paralelo al tendido de los geófonos, pero no debe cruzarse con el cable de conexión de geófonos. Preferentemente se recomienda colocarlo al lado derecho del arreglo de geófonos (tomando como referencia la ubicación del sismógrafo). Ver figura 3.7.
- Conexión de todo el equipo: batería de 12V, cable de geófonos, cable del disparador, cable de interface digital, computadora (Ver figura 3.8). Inicialización de Parámetros de Adquisición. En este punto se debe asignar un nombre a la exploración, se toma nota de la fecha y ubicación del sitio, número correlativo de la línea de inspección y del(os) punto(s) de disparo utilizado(s), unidades de medida a utilizar, ubicación (posición y elevación), espaciamiento y cantidad de geófonos a utilizar, localización de geófonos y puntos de disparo, intervalo de muestreo y longitud del registro (referido al valor mínimo de los intervalos mostrados del eje de la abscisa “tiempo” de la figura 3.9 y tiempo de duración total del registro, respectivamente), utilización de filtros de reducción de señales de ruido en el proceso de adquisición de datos, especificación del uso de apilamiento o suma de datos de la utilización de golpes sucesivos para mejorar la señal sísmica, utilización de pre-amplificadores de ganancia en cada canal (geófono) del sismógrafo.

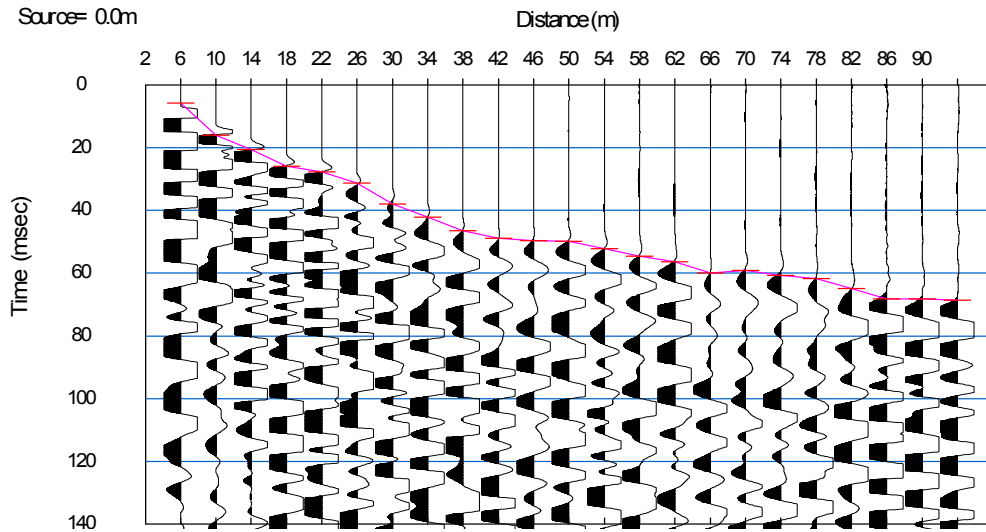




**Figura 3.7.** Ubicación de cable de conexión de geófonos (izquierda) y del dispositivo disparador o trigger (derecha) – (Fuente Propia – 11/10/16).



**Figura 3.8.** Disposición del Equipo para el Ensayo de Refracción Sísmica – (Msc. Ing. Huamán Egoávil-Bach, Carlos, 1999).



**Figura 3.9.** Expediente de un registro obtenido de la fuente de energía para un punto de disparo determinado (Registro INGEOTECN E.I.R.L. - Fuente Propia).

- Realizar una prueba para verificar el funcionamiento de los geófonos conectados al cable conductor de señales. Por lo general cuando todo el equipo está conectado y ubicado en su lugar, un integrante del grupo de técnicos de campo realiza una revisión pasando junto a cada geófono, por indicación del operador al verifica en el sismógrafo si existe un registro de señales obtenidas en cada geófono debido al golpe de prueba.
- Proceda a realizar la adquisición de datos en la línea de inspección, haciendo que exista una proporción adecuada de ruido en la señal para que las primeras llegadas puedan ser determinadas con claridad. No se debe de olvidar que la ubicación del punto de disparo se modifica conforme se va desarrollando la inspección por refracción. Se debe identificar la línea de inspección utilizada y la ubicación del punto de disparo para la obtención de señales sísmicas.
- Se ubica la placa de impacto en la marca respectiva, dándole unos pocos golpes para fijarla. Se da la señal para que el auxiliar golpee la placa con el mazo. Al golpear la placa, el interruptor del martillo emite una señal que indica al sismógrafo el momento en que comience a registrar las señales.
- Se procede a almacenar el registro obtenido de la fuente de energía utilizada en cada punto de disparo (Ver figura 3.9).

En el presente proyecto, en función a la topografía del terreno.

**Refracción Sísmica:**

Definida las líneas a realizarse en campo, se procede a armar e instalar el equipo sísmico definiendo intervalo entre geófonos (1.5 y 3 m), número de disparos (5 registros) y metraje de los disparos.

**Estribo Izquierdo**

LRS-01 intervalo de geófonos 3 m (24 Canales) distancia total 72 m.

LRS-02 intervalo de geófonos 1.5 m (24 Canales) distancia total 36 m.

LRS-03 intervalo de geófonos 3 m (24 Canales) distancia total 72 m.

**Estribo Derecho**

LRS-04 intervalo de geófonos 3 m (24 Canales) distancia total 72 m

LRS-05 intervalo de geófonos 3 m (24 Canales) distancia total 72 m

LRS-06 intervalo de geófonos 3 m (24 Canales) distancia total 72 m

**Sondaje MASW:**

Se Definen las líneas sísmicas a realizarse en campo, se procede a armar e instalar el equipo sísmico definiendo intervalo entre geófonos (1.5 y 3 m), número de disparos (4 registros) y metraje de los disparos.

**Estribo Izquierdo**

MASW-01 intervalo de geófonos 3 m (24 Canales) distancia total 89 m

MASW-02 intervalo de geófonos 1.5 m (24 Canales) distancia total 46.5 m

MASW-03 intervalo de geófonos 3 m (24 Canales) distancia total 89 m

**Estribo Derecho**

MASW-04 intervalo de geófonos 3 m (24 Canales) distancia total 89 m

MASW-05 intervalo de geófonos 3 m (24 Canales) distancia total 89 m

MASW-06 intervalo de geófonos 3 m (24 Canales) distancia total 89 m

**Sondaje MAM:**

Se Definen las líneas sísmicas a realizarse en campo, se procede a armar e instalar el equipo sísmico definiendo intervalo entre geófonos (10 m).

**Estribo Izquierdo**

MAM-01 intervalo de geófonos 10 m (11 Canales) distancia total 100 m

**Estribo Derecho**

MAM-02 intervalo de geófonos 8 m (11 Canales) distancia total 80 m



**Fotografía N° 04:** Disposición del tendido de la línea de refracción sísmica LRS-01, ejecutada en el Estribo Izquierdo del Puente Vehicular Interregional Pampas.

#### **4.5 Procesamiento de Datos Sísmicos**

##### **4.5.1. Seislmager y Tomografía Sísmica**

Seislmager es un software de computación que fue generado por Geometrics, casa que elaboro los equipos de adquisición usados para este proyecto. Está conformado por cuatro módulos que sirven para analizar datos de refracción y para el análisis de ondas de superficie, entre otros.

Estos módulos se llaman “Pickwin”, “Plotrefa”, “WaveEq”, “Geoplot”. (Y son los módulos que conforman el Software Seislmager/2D). Para el desarrollo de este trabajo resultaron de vital utilidad los dos primeros módulos (Geometrics, 2001).

A través del módulo Pickwin, se lleva a cabo el primer paso en el procesamiento de los datos permitiendo realizar la selección de primeras llegadas, para luego con el módulo Plotrefa, llevar a cabo la inversión sísmica de los datos y de esta manera generar el modelo de capas. El módulo Plotrefa ofrece tres diferentes técnicas para la inversión de los datos: “The Time-term Method”, “The Reciprocal Time Method” y “The Tomographic Method”. Los dos primeros están basados en tiempos de retraso; la principal

diferencia radica en el método con que calculan dichos tiempos (Geometrics, 2001).

#### **4.5.2. Módulo Pickwin**

En este módulo se identifican y seleccionan las primeras llegadas a partir del registro descargado directamente del sismógrafo. Posteriormente se guardan los resultados y se abren directamente en Plotrefa (formato SEG-2). Una vez leídos los datos, el usuario puede manipular el aspecto de éstos con el fin de mejorar y facilitar la selección de las primeras llegadas, de ser necesario. El programa ofrece múltiples opciones para el filtraje de los datos, de aumento o disminución de la ganancia, además de permitir visualizar y modificar la geometría del tendido, de la misma manera que es posible hacer en el sismógrafo (Geometrics, 2001).

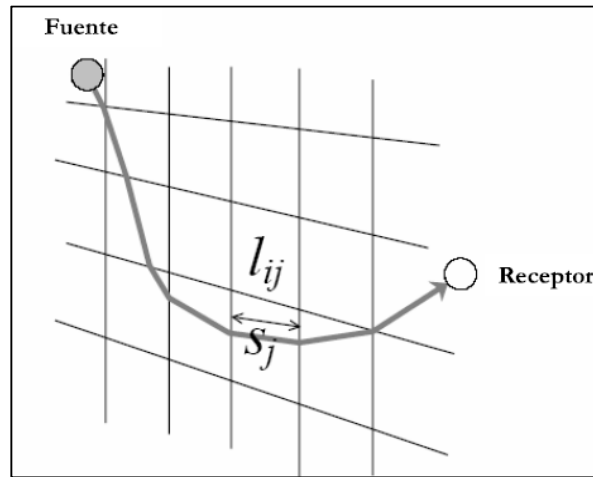
#### **4.5.3. Módulo Plotrefa**

Los datos de entrada son los provenientes del módulo Pickwin donde se seleccionan primeras llegadas. Una vez leídos los datos, es posible aplicar cualquiera de las tres técnicas de inversión que ofrece. En este módulo se realizan los pasos restantes para llegar al resultado deseado, el modelo de capas. Entre los distintos pasos necesarios se encuentran la identificación de las dromocronas, número de capas y sus velocidades correspondientes; finalmente el programa realiza la inversión a través de la tomografía, método relacionado en nuestro caso, generando el modelo de capas, como resultado final (Geometrics, 2001).

#### **4.5.4. Tomografía Sísmica**

El método de tomografía de refracción sísmica involucra la creación de un modelo de velocidad inicial, e iterativamente rastrea los rayos a través del modelo, comparando el tiempo de viaje calculado con el tiempo de viaje medido, modificando al modelo, y repitiendo el proceso hasta que la diferencia entre los tiempos calculados y medidos se minimiza (Mason I., 1981). El objetivo de realizar la tomografía en el programa Seislmager es conseguir el mínimo tiempo de viaje entre la fuente y el receptor para cada par fuente - receptor. La resolución se realiza a través de un planteamiento aproximado del problema y una ecuación para los tiempos de viaje. Para

esto es necesario usar  $l$  (parámetro de rayo) y  $s$  (lentitud o inverso de la velocidad) (Geometrics, 2001). (Ver Figura 3.10).



**Figura 3.10.** Esquema planteado para la inversión. (Modificado del Manual de Seismager - Geometrics, 2001)

A partir de la figura se define:

$$S = \frac{l}{v} \quad (4.1)$$

Dónde:

$s$  = Lentitud

$l$  = Parámetro de rayo

$v$  = Velocidad

Entonces podemos expresar el tiempo de la siguiente forma:

$$t_i = \int_x \frac{dX}{v(X)} = \int_x s(X) dX \quad (4.2)$$

Si se discretiza el tiempo (ecuación 4.4) queda de la forma:

$$t_i = S_1 l_{i1} + S_2 l_{i2} + S_3 l_{i3} + S_4 l_{i4} + \dots + S_N l_{iN} \quad (4.3)$$

O de otra manera:

$$t_i = \sum_{j=1}^N S_j l_{ij} \quad (4.4)$$

Si finalmente separamos en  $M$  ecuaciones simultáneas (una para cada tiempo de viaje) y  $N$  incógnitas, se obtiene:

$$\begin{aligned}
t_1 &= l_{11}S_1 + l_{12}S_2 + \dots + l_{1N}S_N \\
t_2 &= l_{21}S_1 + l_{22}S_2 + \dots + l_{2N}S_N \\
t_3 &= l_{31}S_1 + l_{32}S_2 + \dots + l_{3N}S_N \\
&\vdots \\
t_M &= l_{M1}S_1 + l_{M2}S_2 + \dots + l_{MN}S_N
\end{aligned} \tag{4.5}$$

Y por último de forma matricial queda:

$$LS = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \cdot & l_{1N} \\ l_{21} & l_{22} & \cdot & l_{2N} \\ l_{31} & l_{32} & \cdot & l_{3N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ l_{M1} & l_{M2} & \cdot & l_{MN} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ \cdot \\ S_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ \cdot \\ t_N \end{pmatrix} = T \tag{4.6}$$

Finalmente se obtiene la ecuación aproximada para el cálculo de los tiempos de viaje, en donde el primer término está representado por el parámetro de rayos que multiplica al modelo dando como resultado la matriz unidimensional de los tiempos (Geometrics, 2001).

#### 4.6 Interpretación de Datos Sísmicos

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 y/o sondajes MASW. De acuerdo con el software y los pasos siguientes.

Con el software SeisImager generado por Geometrics, casa que elaboro los equipos de adquisición usados para este proyecto. Está conformado por cuatro módulos que sirven para analizar datos de refracción y para el análisis de ondas de superficie, entre otros.

Estos módulos se llaman "Pickwin", "Plotrefa", "Surface Wave", "WaveEq", "Geoplot". (Y son los módulos que conforman el Software SeisImager/2D). Para el desarrollo de este trabajo resultaron de vital utilidad los cuatro primeros módulos (Geometrics, 2001).

A través del módulo Pickwin, se lleva a cabo el primer paso en el procesamiento de los datos permitiendo realizar la selección de primeras llegadas, para luego con el módulo Plotrefa, generar las curvas tiempo distancia o dromocrónicas y llevar a cabo la inversión sísmica de los datos,

para sí de esta manera generar el modelo de capas. El módulo Plotrefa ofrece tres diferentes técnicas para la inversión de los datos: "The Time-term Method", "The Reciprocal Time Method" y "The Tomographic Method". Los dos primeros están basados en tiempos de retraso; la principal diferencia radica en el método con que calculan dichos tiempos (Geometrics, 2001).

## **MÉTODO DE INTERPRETACIÓN**

La cantidad de esfuerzo para la realización de la inspección relacionado con las actividades de campo y de interpretación dependerá de los objetivos de la inspección y del nivel de detalle deseado, que a su vez determinará el método de interpretación a utilizar. Un problema inherente en todos los estudios geofísicos es la correlación no única entre los posibles modelos geológicos y un único conjunto de datos de campo. Lo anterior se refiere al hecho de que un único conjunto de datos de estudios geofísicos puede estar relacionado a gran variedad de modelos geológicos. Esta ambigüedad puede ser resuelta solo a través de datos geológicos y de la experiencia del interpretador.

El primer paso en el proceso de interpretación es la determinación del intervalo de tiempo a partir de un impacto en la fuente sísmica hasta el primer arribo de energía para cada geófono. Los dos tipos principales de correcciones son por elevaciones y otros factores geométricos. Con las correcciones realizadas las líneas entonces son ajustadas a estos puntos para completar una curva t-x. Cada línea recta define las diferentes velocidades como consecuencia de los distintos estratos presentes en el subsuelo investigado. Los quiebres que se obtengan al dibujar las líneas rectas, se usaran para determinar las profundidades de cada estrato. Estas curvas son el fundamento para la interpretación de la refracción sísmica y de los cuales se obtienen dos tipos de información:

1. Velocidades de propagación de las ondas longitudinales ( $V_p$ ) para cada estrato, con las que se pueden identificar composiciones del material que la forma y sus propiedades dinámicas.
2. El espesor de cada estrato.

Algunos tipos de curvas pueden dar lugar a diferentes interpretaciones. Si esto sucede, será necesario llevar a cabo investigaciones posteriores, o bien, realizar cualquiera de los siguientes pasos:



- Realizar la medición en sentido inverso (reverso) a la que se hiciera en la medición inicial (sentido directo o normal).
- Tomar lecturas a partir de puntos de disparo suplementarios, ya sea para extender la línea de inspección o para llenar puntos intermedios entre estaciones. Tomar lecturas adicionales en aquellos puntos donde las lecturas son dudosas.
- Realizar prospecciones sobre tendidos adicionales con el geófono hacia atrás o hacia delante a lo largo de la línea de inspección; pero, algunas veces, es útil moverlo de la línea de inspección hacia un lado o rotarla.

### **INTERPRETACIÓN PRELIMINAR**

Una interpretación de los datos de campo podría ser clasificada como preliminar y debe ser usada con precaución debido a que es fácil cometer errores en una interpretación inicial de campo y un análisis preliminar nunca es una interpretación completa y detallada. Un análisis en campo es hecho principalmente como una herramienta de control de calidad.

### **VERIFICACIÓN DE LA INTERPRETACIÓN**

La interpretación de los datos de refracción sísmica y sondajes MASW-MAM puede ser verificada con los datos de perforaciones realizadas en el mismo sitio o con información adicional de la sub-superficie. Si dicha información no está disponible, este factor podría ser mencionado dentro del informe de campo.

### **PRESENTACIÓN DE DATOS**

En algunos casos, puede haber necesidad de una presentación formal de los datos o de los resultados de la interpretación. La interpretación final de la refracción sísmica es usada para refinar o confirmar un modelo de la geología del sitio en estudio. Cada modelo es la caracterización simplificada de un sitio en estudio, e incorpora todos los rasgos esenciales de un sistema geofísico. Este modelo es usualmente presentado como una sección transversal, un mapa de contorno, u otros gráficos que ilustren las condiciones geológicas generales y alguna condición anómala del sitio.

#### **4.7 Resultado de la Investigación**

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 y/o sondajes MASW y MAM. De acuerdo con el software y los pasos siguientes.

#### **4.7.1. Procesamiento de la Refracción Sísmica**

Con los registros de las ondas sísmicas obtenidas en cada una de las líneas de exploración realizadas, que se presentan en el Anexo 1.1, se determinaron las curvas tiempo distancia o dromocrónicas, como se muestra en el Anexo 1.2, 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 en ambas márgenes de la quebrada.

##### **ESTRIBO IZQUIERDO**

##### **Perfil Sísmico Línea LRS-01**

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico A-B de 72.0 m de longitud. Los resultados del análisis muestran la presencia de tres estratos. El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P ( $V_p$ ) entre 400 m/s y 800 m/s, con un espesor variable de 3.0 m a 4.2 m. Estratigráficamente este estrato está conformado por un depósito aluvial medianamente compacto.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas P ( $V_p$ ) entre 800 m/s y 1600 m/s, con un espesor variable de 5.7 m a 13.4 m. Estratigráficamente este estrato podría estar conformado por un depósito aluvial medianamente denso.

El tercer estrato presenta velocidades de propagación de ondas P ( $V_p$ ) entre 1600 m/s y 1800 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada.

El perfil sísmico de esta línea se presenta en la Lámina L-01 del Anexo 1.3.

##### **Perfil Sísmico Línea LRS-02**

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico D-E de 36.0 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 400 m/s y 800 m/s, con un espesor variable de 2.6 m a 4.1 m.

Estratigráficamente este estrato está conformado por un depósito aluvial medianamente compacto.

El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P ( $V_p$ ) entre 800 m/s y 1400 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente denso.

El perfil sísmico de esta línea se presenta en la Lámina L-02 del Anexo 1.3.

### **Perfil Sísmico Línea LRS-03**

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico B-C de 72.0 m de longitud. Los resultados del análisis muestran la presencia de tres estratos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas P ( $V_p$ ) entre 400 m/s y 800 m/s, con un espesor variable de 2.7 m a 3.3 m. Estratigráficamente este estrato está conformado por un depósito aluvial medianamente compacto.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas P ( $V_p$ ) entre 800 m/s y 1600 m/s, con un espesor variable de 4.8 m a 7.6 m. Estratigráficamente este estrato podría estar conformado por un depósito aluvial medianamente denso

El tercer estrato presenta velocidades de propagación de ondas P ( $V_p$ ) entre 1600 m/s y 1800 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada.

El perfil sísmico de esta línea se presenta en la Lámina L-03 del Anexo 1.3.

### **ESTRIBO DERECHO**

#### **Perfil Sísmico Línea LRS-04**

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico F-G de 72.0 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 200 m/s y 800 m/s, con un espesor variable de 1.7 m a 3.8 m. Estratigráficamente este estrato está conformado por un depósito aluvial medianamente compacto.

El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P ( $V_p$ ) entre 800 m/s y 1400 m/s, valores que se incrementan con la profundidad.

Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente compacto a denso.

El perfil sísmico de esta línea se presenta en la Lámina L-04 del Anexo 1.3.

#### **Perfil Sísmico Línea LRS-05**

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico H-I de 72.0 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 200 m/s y 800 m/s, con un espesor variable de 2.3 m a 3.9 m. Estratigráficamente este estrato está conformado por un depósito aluvial medianamente compacto.

El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P ( $V_p$ ) entre 800 m/s y 1400 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente compacto a denso.

El perfil sísmico de esta línea se presenta en la Lámina L-05 del Anexo 1.3.

#### **Perfil Sísmico Línea LRS-06**

La interpretación de estos ensayos generó el perfil sísmico J-K de 72.0 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 200 m/s y 800 m/s, con un espesor variable de 1.8 m a 3.9 m. Estratigráficamente este estrato está conformado por un depósito aluvial medianamente compacto.

El segundo estrato presenta velocidades de propagación de ondas P ( $V_p$ ) entre 800 m/s y 1400 m/s, valores que se incrementan con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente compacto a denso.

El perfil sísmico de esta línea se presenta en la Lámina L-06 del Anexo 1.3.

#### **4.7.1. Interpretación de Resultados – Sondajes MASW y MAM**

Los registros de las ondas sísmicas de los ensayos de ondas MASW y MAM se presentan respectivamente en los Anexos 2.1 y 2.3, asimismo, sus respectivas curvas de dispersión son mostradas en los Anexos 2.2 y 2.4. Como se ha mencionado anteriormente, la complementación de sondajes MASW y MAM permite estimar un único perfil sísmico del suelo que

profundiza los análisis superficiales del terreno. Sobre la base de la información obtenida de los sondajes MASW y MAM se realizó la interpretación de los modelos unidimensionales de velocidades de ondas de corte que se presentan en el Anexo 2.5, y cuya descripción se presenta a continuación.

## **ESTRIBO IZQUIERDO**

### **Sondaje M-01**

Este perfil está conformado por la complementación de los sondajes MASW-01 y MAM-01, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 60.0 m. De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de cuatro estratos, el primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 190 m/s y 300 m/s y cuyo espesor es de 4.2 m. Estratigráficamente se encuentra conformado por un depósito aluvial medianamente compacto.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 380 m/s y 740 m/s y cuyo espesor es de 8.9 m. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente denso.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 800 m/s y 1060 m/s y cuyo espesor es de 21.9 m. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada.

El cuarto estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 1115 m/s y 1265 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a una roca caliza fracturada a ligeramente fracturada.

Este sondaje se muestra en la Fig. 01 del Anexo 2.5.

### **Sondaje MASW-02**

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-02, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 25.0 m. De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de cuatro estratos, El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 130 m/s y

170 m/s y cuyo espesor es de 1.7 m. Estratigráficamente se encuentra conformado por un Depósito aluvial suelto a medianamente compacto.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 240 m/s y 330 m/s y cuyo espesor es de 2.2 m. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente compacto.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 410 m/s y 760 m/s y cuyo espesor es de 18.4 m. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente denso.

El cuarto estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 790 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada.

Este sondaje se muestra en la Fig. 02 del Anexo 2.4.

### **Sondaje MASW-03**

Este perfil está conformado por el sondaje MASW-03, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 25.0 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 250 m/s y 335 m/s y cuyo espesor es de 3.2 m. Estratigráficamente se encuentra conformado por un depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 395 m/s y 700 m/s y cuyo espesor es de 6.3 m. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un Depósito aluvial medianamente denso.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 780 m/s y 980 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada.

Este sondaje se muestra en la Fig. 03 del Anexo 2.4.

## **ESTRIBO DERECHO**

### **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 dos estratos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 230 m/s y 280 m/s y cuyo espesor es de 3.2 m. Estratigráficamente se encuentra conformado por un depósito aluvial medianamente compacto.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 370 m/s y 690 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente compacto a denso. Este sondaje se muestra en la Fig. 04 del Anexo 2.4.

### **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 dos estratos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 225 m/s y 270 m/s y cuyo espesor es de 3.5 m. Estratigráficamente se encuentra conformado por un depósito aluvial medianamente compacto.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 400 m/s y 680 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente compacto a denso. Este sondaje se muestra en la Fig. 05 del Anexo 2.4.

### **Sondaje M-02**

Este perfil está conformado por la complementación de los sondajes MASW-06 y MAM-02, con los cuales se logró alcanzar una profundidad de investigación de 80.0 m. De acuerdo a los resultados, el perfil muestra la presencia de dos estratos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 185 m/s y 320 m/s y cuyo espesor es de 3.8 m. Estratigráficamente se encuentra conformado por un depósito aluvial medianamente compacto.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de ondas S ( $V_s$ ) que varían entre 400 m/s y 635 m/s, el rango de velocidades oscila con la profundidad. Dichas velocidades podrían corresponder estratigráficamente a un depósito aluvial medianamente compacto a denso. Este sondaje se muestra en la Fig. 06 del Anexo 2.5.

#### 4.7.3. Parámetros Elásticos

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 dinámicos, Módulo de Young ( $E_d$ ), Módulo de Corte ( $G_{max}$ ) y el Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ), según las ecuaciones 1.41, 1.43 y 1.45 del ítem (2.4.3.4. Parámetros Elásticos del Subsuelo).

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 posibilitó, mediante el empleo de las formulaciones antes indicadas, obtener los parámetros elásticos de las zonas de estudio. Para obtener los parámetros elásticos del proyecto Construcción del Puente Vehicular Interregional Pampas, en las Localidades de Incachaca y Chacabamba, Distritos de Saurama y Uranmarca, Vilcashuaman – Chincheros – Ayacucho - Apurímac, se tomaron los resultados de las líneas geofísicas (LRS-01 / M-01) y (LRS - 05 / MASW - 05), para el cálculo de estos parámetros. Los resultados obtenidos se pueden observar en los siguientes cuadros:

**Cuadro 1.10: Parámetros Elásticos – Estribo Izquierdo – (LRS-01 / M - 01)**

Suelo	Prof. (m)	Espesor de estrato	$V_s$ (m/s)	$V_p$ (m/s)	$\rho$ (Tn/m <sup>3</sup> )	$V_p/V_s$	$\mu$ (Poisson)	$G_{m\acute{a}x}$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$E_{m\acute{a}x}$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$E=0.1 \cdot E_{m\acute{a}x}$ (Tn/m <sup>2</sup> )
Depósito aluvial medianamente compacto	4.1	4.1	300	800	1.8	2.67	0.42	16513.76	46839.03	4683.90
Depósito aluvial medianamente denso	5.3	1.2	380	1000	1.9	2.63	0.42	27967.38	79182.07	7918.21
Depósito aluvial medianamente denso	7.1	1.8	490	1100	1.9	2.24	0.38	46502.55	127995.88	12799.59
Depósito aluvial medianamente denso	9.0	1.9	615	1300	1.9	2.11	0.36	73254.59	198642.22	19864.22
Depósito aluvial medianamente denso	13.3	4.3	740	1500	1.9	2.03	0.34	106059.12	284062.02	28406.20
Depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada	21.9	8.6	890		2.0			161488.28		
Depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada	26.9	5.0	940		2.0			180142.71		
Depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada	32.2	5.3	1000		2.0			203873.60		



**Cuadro 1.11: Parámetros Elásticos – Estribo Derecho – (LRS-05 / MASW-05)**

Suelo	Prof. (m)	Espesor de estrato	Vs (m/s)	Vp (m/s)	$\rho$ (Tn/m <sup>3</sup> )	Vp/Vs	$\mu$ (Poisson)	Gmáx (Tn/m <sup>2</sup> )	Emáx (Tn/m <sup>2</sup> )	E=0.1*Emáx (Tn/m <sup>2</sup> )
Depósito aluvial medianamente compacto	3.5	3.5	280	800	1.8	2.86	0.43	14385.32	41147.76	4114.78
Depósito aluvial medianamente compacto a denso	5.3	1.8	400	1000	1.9	2.50	0.40	30988.79	87063.73	8706.37
Depósito aluvial medianamente compacto a denso	7.2	1.9	510	1200	1.9	2.35	0.39	50376.15	140023.40	14002.34
Depósito aluvial medianamente compacto a denso	9.2	2.0	580	1400	1.9	2.41	0.40	65153.92	181962.28	18196.23
Depósito aluvial medianamente compacto a denso	16.4	23.8	630		2.0			80917.43		
Depósito aluvial medianamente compacto a denso	23.4	7.0	655		2.0			87466.87		
Depósito aluvial medianamente compacto a denso	30.0	6.6	680		2.0			94271.15		

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 dinámicos:

Tanto Gmax como Ed son valores máximos, evaluados para deformaciones angulares ( $\gamma$ ) 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.

#### 4.7.4. Clasificación del Sitio (Fuente IBC, 2015)

Los sondajes MASW-04, MASW-05, M-01 y M-02 ejecutados en ambos estribos de la proyección del Puente Vehicular Interregional Pampas, 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, 2015), 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 y MAM. De acuerdo a esta normativa, se clasifica los suelos en 6 clases, tal como se presenta en la Tabla 1.3, 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:

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}}$$

$d_i$  : Espesor de cada capa entre 0.0 m y 30.0 m

$V_{si}$  : Velocidad de ondas de corte de cada capa (m/s)

Observar la Tabla 1.3: Clasificación del Sitio (Fuente IBC, 2015). Los resultados muestran que el comportamiento dinámico del suelo en el área de estudio de los sondajes M-01, MASW-04, MASW-05 y M-02, corresponde a un suelo Tipo C (Suelo muy denso o roca blanda), cuyas velocidades promedio de ondas de corte  $V_{s30}$  se encuentran en el rango de 360 m/s y 760 m/s. Los valores exactos de este cálculo se aprecian en el siguiente Cuadro.

**Cuadro 1.12:** Velocidades promedio de ondas de corte a 30 m de profundidad  
( $\bar{v}_{s30}$ )

Sondaje	$V_{s30}$ (m/s)	Tipo de suelo	Nombre del Tipo de suelo
			(IBC, 2015)
M-01	580	C	Suelo muy denso o roca blanda
MASW-04	505	C	Suelo muy denso o roca blanda
MASW-05	510	C	Suelo muy denso o roca blanda
M-02	475	C	Suelo muy denso o roca blanda

**Cuadro 1.13:** Velocidades promedio de ondas de corte a 30 m de profundidad.  
Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" Del Reglamento Nacional De Edificaciones

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	$V_s$	N60	$S_u$
$S_0$	> 1500 m/s	-	-
$S_1$	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
$S_2$	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
$S_3$	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
$S_4$	Clasificación basada en el EMS		

## CAPITULO V

### 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 1.- Realizar un estudio geofísico cuando se realiza una propuesta de infraestructura vial es muy importante pues se debe tener en cuenta al momento de diseño según Cecilia Guerrero Sánchez en su tesis: “Estudio de la dispersión de las ondas superficiales con fines geotécnicos”, nos dice que se debe conocer y analizar el área de estudio. La ciudad de Mérida, ciudad que se encuentra asentada sobre la zona de fallas de Boconó, la cual ha sido causante de varios de los sismos más severos ocurridos en el territorio nacional, el objetivo fundamental de esta investigación fue el de aplicar el análisis de la dispersión de las ondas superficiales para generar modelos de velocidades de onda “S”, en varias zonas de la ciudad de Mérida, para complementar y comparar con los estudios de sismica de refracción ya realizados y para que pueda ser aplicada en otras ciudades andinas. Como resultado de su investigación concluye que debido al uso de la dispersión de las ondas superficiales (método activo) aprovecha los mismos datos adquiridos y procesados en Sismica de Refracción, recomienda combinar el uso de ambos métodos. Los métodos de Refracción Sísmica MASW – MAM, se aplicó en el Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac, para el análisis de su cimentación.
- 2.- Con el crecimiento del conocimiento de las velocidades de las ondas P y ondas S, se puede obtener la capacidad portante del suelo con formulaciones físicas que nos permiten obtener de forma indirecta estos parámetros y a su vez aplicarse en infraestructura viales según Héctor Naranjo Aguay y Tatiana Dranichnikov en su tesis: “Cálculo de Capacidad Portante Basado en Geofísica y Método Convencional - El caso del puente Sobre el Río Maicito”, han demostrado la gran utilidad de esta metodología para estudios geotécnicos. La aplicación de las investigaciones geofísicas, en general, y de sismica de refracción, en particular, se utiliza ampliamente en las obras de ingeniería civil, como en las construcciones hidroeléctricas, puentes, túneles y otras de gran envergadura.

Al mismo tiempo, se trata de metodología no invasiva que permite conocer las características físicas del terreno, determinar su carga portante y grado de compactación evitando perforaciones generalmente costosas.

El análisis de la información recogida permite conocer la variación de las velocidades de las ondas compresionales y de corte a una profundidad específica, así como también, la variación de los módulos de corte, Poisson y elasticidad de un estrato en particular, parámetros de fundamental importancia para el estudio de la respuesta de los suelos bajo excitación sísmica, dato que se puede correlacionar con el tipo de terreno. El método permitió obtener una caracterización aproximada del perfil del suelo existente en el sitio. Los estudios se basaron sobre investigaciones geológicas y geotécnicas, con sondeos, pruebas in situ e investigaciones geofísicas. Sobre las muestras extraídas de los sondeos se efectuaron también pruebas de laboratorio, y los resultados de todas estas investigaciones fueron relacionados determinando las más aceptables características mecánicas del sitio para la ampliación del puente sobre el río Maicito.

- 3.- La propuesta de un modelo de Estudio Geofísico por los métodos de Refracción Sísmica, MASW y MAM permitiría caracterizar mejor el área de estudio donde se proyecta las cimentaciones de los estribos y pilares del puente, tal como lo muestra Salvador Lazcano Díaz del Castillo en su tesis: “Caracterización de Suelos Arenosos Mediante Análisis de Ondas de Superficie”, las arenas son suelos que poseen estructuras naturales con características tales que, para fines prácticos, impiden ser muestreadas en forma inalterada para su posterior estudio en laboratorio. Por esta razón, se optó por evaluar las propiedades de los depósitos arenosos recurriendo a pruebas in situ o de campo. La prueba de penetración estándar fue una de las primeras empleadas para dichos fines. A dicha prueba mecánica le siguieron otras, el cono dinámico y estático, presiómetro y dilatómetro, entre otros. Desde principios de la década de 1970, se comenzaron a utilizar pruebas geofísicas. Los primeros métodos geofísicos usados fueron refracción sísmica, crosshole y downhole. En la década de 1980 se incorporó el uso de análisis de ondas de superficie al campo de la

caracterización de suelos. Algunos de estos métodos son SASW (Spectral Analysis of Surface Wave), MASW (Multi-channel Analysis of Surface Wave) y ReMi (Refraction Microtremor). La caracterización sísmica determinada en los doce sitios presentados, es congruente con la información obtenida en sondeos de penetración estándar y cono dinámico, así como con el contexto geológico. La profundidad de la roca basal inferida mediante ReMi está a alrededor del 10% de diferencia de la profundidad real constatada en sondeos directos. Esta profundidad, junto con las velocidades de onda de corte (VS) determinadas, ayudan a evaluar períodos de vibración de suelos.

## CONCLUSIONES

1.- Con los métodos de refracción sísmica MASW – MAM, obtenemos las velocidades de ondas de corte, ondas de compresión y la densidad de los materiales por donde se propagan las ondas. Con esta información se calcula y evalúa los parámetros elásticos: El módulo de Poisson, módulo de corte (G) y modulo elástico (E).

Parámetros Elásticos – Estribo Izquierdo – (LRS-01 / M – 01)

Prof. (m)	Espesor de estrato	Vs (m/s)	Vp (m/s)	$\rho$ (Tn/m <sup>3</sup> )	Vp/Vs	$\mu$ (Poisson)	Gmáx (Tn/m <sup>2</sup> )	Emáx (Tn/m <sup>2</sup> )
4.1	4.1	300	800	1.80	2.67	0.42	16513.76	46839.03
5.3	1.2	380	1000	1.90	2.63	0.42	27967.38	79182.07
7.1	1.8	490	1100	1.90	2.24	0.38	46502.55	127995.88
9.0	1.9	615	1300	1.90	2.11	0.36	73254.59	198642.22
13.3	4.3	740	1500	1.90	2.03	0.34	106059.12	284062.02
21.9	8.6	890		2.00			161488.28	
26.9	5.0	940		2.00			180142.71	
32.2	5.3	1000		2.00			203873.60	

Parámetros Elásticos – Estribo Derecho – (LRS-05 / MASW-05)

Prof. (m)	Espesor de estrato	Vs (m/s)	Vp (m/s)	$\rho$ (Tn/m <sup>3</sup> )	Vp/Vs	$\mu$ (Poisson)	Gmáx (Tn/m <sup>2</sup> )	Emáx (Tn/m <sup>2</sup> )
3.5	2.9	280	800	1.80	2.86	0.43	14385.32	41147.76
5.3	1.8	400	1000	1.90	2.50	0.40	30988.79	87063.73
7.2	1.9	510	1200	1.90	2.35	0.39	50376.15	140023.40
9.2	2.0	580	1400	1.90	2.41	0.40	65153.92	181962.28
16.4	7.2	630		2.00			80917.43	
23.4	7.0	655		2.00			87466.87	
30.0	6.6	680		2.00			94271.15	

2.- Al realizar los cálculos con los métodos de refracción sísmica, MASW y MAM, mediante las velocidades de ondas de corte y velocidades de ondas de compresión se obtiene el coeficiente de Poisson. Los rangos de valores del coeficiente de Poisson son:

Puente Interregional Pampas	$\mu$ (Poisson)	
	Máx.	Min.
Estribo Izquierdo	0.42	0.34
Estribo Derecho	0.43	0.39

- 3.- Con la propagación de las ondas de corte se analiza la rigidez del suelo, obteniéndose el perfil sísmico unidimensional de ondas de corte ( $v_s$ ) versus la profundidad del subsuelo, estos estratos estarían conformados de forma indirecta por los siguientes materiales:

#### Estribo Izquierdo

Capa	Velocidad (m/s)	Material	Espesor (m)
1	190 $<V_s < 335$	Depósito aluvial medianamente compacto	2.6 - 4.2
2	380 $<V_s < 740$	Depósito aluvial medianamente denso	4.8 – 13.4
3	780 $<V_s < 1060$	Depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada	21.9
4	1115 $<V_s < 1265$	Roca caliza fracturada a ligeramente fracturada	-

#### Estribo Derecho

Capa	Velocidad (m/s)	Material	Espesor (m)
1	185 $<V_s < 320$	Depósito aluvial medianamente compacto	1.7 – 3.9
2	370 $<V_s < 690$	Depósito aluvial medianamente denso	-

- 4.- El respaldo de control de calidad de los métodos de refracción sísmica, MASW y MAM se encuentra enmarcado dentro de las siguientes normas:

Métodos	Normas	
	Nacionales	Internacionales
<b>REFRACCIÓN SÍSMICA</b> (Velocidades Ondas De Compresión $V_p$ )	---	Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation-ASTM D-5777
		How Shallow Earth Structure Is Determined- IRIS, 2013
<b>MASW – MAM</b> (velocidades de Ondas de Corte $V_s$ )	E.030	<b>Park et al, 1999</b>
		The International Building Code - IBC, 2015
		National Earthquake Hazards Reduction-NEHP 2015
		Manual Vs30 Chile, 2015

## RECOMENDACIONES

- 1.- El módulo de corte  $G_{max}$  y el módulo Young  $E_d$  son valores máximos, evaluados en condiciones dinámicas, sin embargo, se ha encontrado que la deformación angular promedio en cimentaciones (condiciones estáticas) es de alrededor de  $10^{-1}\%$ . En consecuencia, para el análisis de asentamiento de zapatas y losas de cimentación es conveniente emplear el Módulo de Corte y el Módulo de Young que corresponden a un valor del 10% de los valores máximos.
- 2.- El coeficiente de Poisson es uno de los parámetros más difíciles de evaluar en el contexto de la mecánica de suelos, sin embargo la mayor parte de los materiales en la ingeniería rondan entre 0 y 0.5, por ello el uso de los métodos sísmicos, dado que son rápidos y económicos.
- 3.- Se recomienda que para determinar la efectividad del método de ondas superficiales al analizar la rigidez del suelo frente al paso de las ondas de corte versus la profundidad se trabaje, según el anexo B1.
- 4.- Se recomienda realizar la aplicación de los métodos activos (MASW) y pasivos (MAM-SPAC) en diferentes tipos de suelos para la generación de un Manual de Aplicación de Técnicas Geofísicas basadas en Ondas de Superficiales.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cecilia Guerrero S., (2010). Estudio de la Dispersión de las Ondas Superficiales con Fines Geotécnicos. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Laboratorio de Geofísica de la Universidad de los Andes. Mérida – Venezuela.
2. Hector, N., and T. Dranichnikov (2012). Cálculo de Capacidad Portante Basado en Geofísica y Método Convencional. El Caso del Puente Sobre el Río Maicito. Universidad Politécnica Salesiana: Abya-Yala, 201, 15 – 89.
3. Salvador L., Díaz. C. (2007). Caracterización de Suelos Arenosos Mediante Análisis de Ondas de Superficie. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México.
4. Alberto Czelada J. (2009) “Medición Del Módulo De Young Y Módulo De Corte Mediante Técnicas Geofísicas”. Facultad de Ingeniería-UBA. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires-Argentina.
5. ASTM Designation D5777. (1995). Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pa.
6. Norma Peruana NTE E.030, (2016). Diseño Sismorresistente. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
7. The International Building Code®, (2015) edition. Clasificación del Sitio IBC.
8. Kramer, S. L., (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, New Jersey, USA.
9. U. S. Army Corps of Engineers. (1995). Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigations, Engineer Manual 1110-1-1802, Washington, U. S. A.
10. Redpath, Bruce. (1973). Seismic Refraction Exploration for Engineering Site Investigations”. Technical Report E-73-4. Explosive Excavation Research Laboratory, Livermore, California, U.S.A.
11. Figuerola, J., C. (1974). Tratado de Geofísica Aplicada, Litoprint, Madrid.
12. Park, C., Miller, R. y Xía, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. Geophysics. Vol. 64. Nº 3. p: 800-808.
13. Louie, J. N. (2001). Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, Bull. Seism. Soc. Am., 91, 347–364.
14. Hayashi K. (2008). Development of the Surface-wave Methods and Its Application to Site Investigations, Kyoto University, Japan.
15. SAGEEP Short Course (2003). “Data Acquisition and Analysis of Active and Passive Surface Wave Methods”.
16. Salem, H. S. (2000). Poisson’s ratio and the porosity of surface soils and shallow sediments, determined from seismic compressional and shear wave velocities. En: Geotechnique, Vol. 50, No. 4; p. 461-463.
17. Pickering, D. J. (1970). Anisotropic Elastic Parameters for Soil. En: Geotechnique. Vol. 20; p. 271-276.

**Tablas**

---

## Tablas

Tabla 1.7: Coordenadas WGS 84 – Ensayos Geofísicos – Refracción Sísmica

Zona	Ensayo	Ubicación	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Estribo Izquierdo	Línea LRS – 01	A	638920.24	8484401.99	2138.74
		B	638990.18	8484384.91	2136.69
	Línea LRS – 02	D	638931.63	8484392.73	2139.89
		E	638966.40	8484402.04	2136.12
	Línea LRS – 03	B	638990.18	8484384.91	2136.69
		C	639047.99	8484342.00	2135.99
Estribo Derecho	Línea LRS – 04	F	639017.11	8484477.61	2136.84
		G	639084.35	8484503.35	2147.27
	Línea LRS – 05	H	639049.63	8484444.82	2137.98
		I	639051.74	8484516.78	2149.08
	Línea LRS – 06	J	639008.00	8484493.32	2141.77
		K	639053.95	8484437.88	2137.98

Tabla 1.8: Coordenadas WGS 84 – Sondajes MASW y MAM

Zona	Sondaje	Ensayos (Punto Central)	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Estribo Izquierdo	M-01	MASW-01	638955.22	8484393.47	2137.84
		MAM-01	638958.88	8484398.69	2137.84
	---	MASW-02	638949.02	8484397.41	2137.51
	---	MASW-03	639019.10	8484363.48	2136.83
Estribo Derecho	---	MASW-04	639084.35	8484503.35	2142.86
	---	MASW-05	639050.69	8484480.82	2139.91
	M-02	MASW-06	639030.98	8484465.62	2136.97
		MAM-02	639031.38	8484463.25	2136.97

## Tablas

Tabla 1.9: Relación de Ensayos de Refracción Sísmica

Zona	Línea	Longitud (m)	Tipo de Onda
Estribo Izquierdo	LRS – 01	72.0	Onda P
	LRS – 02	36.0	Onda P
	LRS – 03	72.0	Onda P
Estribo Derecho	LRS – 04	72.0	Onda P
	LRS – 05	72.0	Onda P
	LRS – 06	72.0	Onda P
	<b>TOTAL</b>	<b>396.0</b>	

Tabla 1.10: Relación de Sondajes MASW

Zona	Sondaje	Longitud (m)	Tipo de Onda
Estribo Izquierdo	MASW-01	89.0	Onda S
	MASW-02	46.5	Onda S
	MASW-03	89.0	Onda S
Estribo Derecho	MASW-04	89.0	Onda S
	MASW-05	89.0	Onda S
	MASW-06	89.0	Onda S
	<b>TOTAL</b>	<b>491.5</b>	

Tabla 1.11: Relación de Sondajes MAM

Zona	Sondaje	Longitud (m)	Tipo de Onda
Estribo Izquierdo	MAM-01	100.0	Onda S
Estribo Derecho	MAM-02	80.0	Onda S
	<b>TOTAL</b>	<b>180.0</b>	

## Tablas

Tabla 1.12: Resumen de los Ensayos de Velocidades de Ondas P – Refracción Sísmica

Línea	Estrato	Vp	Esesor	Descripción
		(m/s)	(m)	
LRS – 01	1	400 – 800	3.0 – 4.2	Depósito aluvial medianamente compacto
	2	800 – 1600	5.7 – 13.4	Depósito aluvial medianamente denso
	3	1600 – 1800	–	Depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada
LRS – 02	1	400 – 800	2.6 – 4.1	Depósito aluvial medianamente compacto
	2	800 – 1400	–	Depósito aluvial medianamente denso
LRS – 03	1	400 – 800	2.7 – 3.3	Depósito aluvial medianamente compacto
	2	800 – 1600	4.8 – 7.6	Depósito aluvial medianamente denso
	3	1600 – 1800	–	Depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada
LRS – 04	1	200 – 800	1.7 – 3.8	Depósito aluvial medianamente compacto
	2	800 – 1400	–	Depósito aluvial medianamente compacto a denso
LRS – 05	1	200 – 800	2.3 – 3.9	Depósito aluvial medianamente compacto
	2	800 – 1400	–	Depósito aluvial medianamente compacto a denso
LRS – 06	1	200 – 800	1.8 – 3.9	Depósito aluvial medianamente compacto
	2	800 – 1400	–	Depósito aluvial medianamente compacto a denso

## Tablas

Tabla 1.13: Resumen de los Sondajes de Velocidades de Ondas S

Sondaje	Estrato	Vs	Espesor	Descripción
		(m/s)	(m)	
M-01	1	190 – 300	4.2	Depósito aluvial medianamente compacto
	2	380 – 740	8.9	Depósito aluvial medianamente denso
	3	800 – 1060	21.9	Depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada
	4	1115 – 1265	-	Roca caliza fracturada a ligeramente fracturada
MASW-02	1	130 – 170	1.7	Depósito aluvial suelto a medianamente compacto
	2	240 – 330	2.2	Depósito aluvial medianamente compacto
	3	410 – 760	18.4	Depósito aluvial medianamente denso
	4	790	-	Depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada
MASW-03	1	255 – 335	3.2	Depósito aluvial medianamente compacto
	2	395 – 700	6.3	Depósito aluvial medianamente denso
	3	780 – 980	-	Depósito aluvial medianamente denso a roca caliza muy fracturada
MASW-04	1	230 – 280	3.2	Depósito aluvial medianamente compacto
	2	370 – 690	-	Depósito aluvial medianamente compacto a denso
MASW-05	1	225 – 270	3.5	Depósito aluvial medianamente compacto
	2	400 – 680	-	Depósito aluvial medianamente compacto a denso
M-02	1	185 – 320	3.8	Depósito aluvial medianamente compacto
	2	400 – 635	-	Depósito aluvial medianamente compacto a denso

## Tablas

Tabla 1.14: Rango de Velocidades para Ondas Compresionales en Suelo y Roca. (Fuente: NORMA ASTM D 5777).

MATERIALES	VELOCIDAD	
	ft/s	m/s
<b>Suelo Natural y roca</b>		
Suelo intemperizado	800 a 2000	240 a 610
Grava o arena seca	1500 a 3000	460 a 915
Arena saturada	4000 a 6000	1220 a 1830
Arcilla saturada	3000 a 9000	910 a 2750
Agua	4700 a 5500	1430 a 1665
Agua de mar	4800 a 5000	1460 a 1525
Arenisca	6000 a 13000	1830 a 3960
Esquisto, arcilla esquistosa	9000 a 14000	2750 a 4270
Tiza o Yeso	6000 a 13000	1830 a 3960
Caliza	7000 a 20000	2134 a 6100
Granito	15000 a 19000	4575 a 5800
Roca metamórfica	10000 a 23000	3050 a 7000

Tabla 1.15: Valores Típicos o Representativos de Campo de Vp, Pb (densidad) y v (Modulo de Poisson) para Varios Materiales. (Fuente: U.S. Army Corps of Engineers, 1995).

MATERIAL	Vp (m/s)	Pb (T/m <sup>3</sup> )	N
Aire	330	-	-
Marga Humedecida	300-750	-	-
Arena Seca	450-900	1.6-2.0	0.3-0.35
Arcilla	900-1800	1.3-1.8	~0.5
Agua Fresca Superficial	1430-1490	1.0	--
Arena Suelta Saturada	1500	-	-
Roca	-	-	0.15-0.25
Ígnea Alterada y Roca Metamórfica	450-3700	-	-
Roca Sedimentaria Alterada	600-3000	-	-
Esquisto	800-3700	-	-
Arenisca	2200-4000	1.9-2.7	-
Roca Metamórfica	2400-6000	-	-
Basalto Inalterado	2600-4300	2.2-3.0	-
Dolomita y Caliza	4300-6700	2.5-3.0	-
Granito Inalterado	4800-6700	2.6-3.1	-
Acero	6000	-	-

## Tablas

Tabla 1.16: Velocidad de Propagación de Ondas Sísmicas en Materiales Sub-superficiales.  
(Fuente: Bruce Redpath, 1973).

Material	ft/s (m/s)	Material	ft/s (m/s)
<i>Suelo Superficial:</i>		Roca Suelta-Talus	1250-2500 (381-762)
Ligero y Seco	600-900 (183-274)	Roca Alterada y Fracturada	1500-10000 (457-3048)
Húmedo, Lodoso o Cienoso	1000-1300 (305-396)	<i>Esquisto:</i>	
Arcilloso	1300-2000 (396-610)	Río Olentangy, Ohio	9000-11000 (2743-3353)
Arcilla Roja en Colorado	1630 (497)	Upper Susquemanna	10200-12800 (3109-3901)
Arcilla Arenosa Semi-Consolidada	1250-2150 (381-655)	Zona del Canal de Panamá	7000-8000 (2134-2438)
Marga Húmeda	2500 (762)	Mancos, Colorado	2600-2900 (793-884)
Arcilla, Densa y Húmeda. Dependiendo de la Profundidad	3000-5900 (914-1798)	Esquisto Romney, Río Shennandoah. Alterado	4000-6500 (1219-1981)
Escombros (Ripio) o Grava (Arena Gruesa)	1970-2600 (600-793)	Esquisto Romney, Río Shennandoah. Sano	12000 (3658)
Arena Cementada	2800-3200 (853-975)	Sitio Represa John Marshall	2900-4250 (884-1295)
Arena Arcillosa	3200-3800 (975-1158)	Phylite York. PA	10000-11000 (3048-3353)
Arena Arcillosa Cementada	3800-4200 (1158-1280)	<i>Arenisca:</i>	7200-7900 (2195-2408)
Arena Saturada	4600 (1402)	Devonian-Upper Susquemanna	14000 (4267)
Arena	4600-8400 (1402-2560)	Zona del Canal, Fin Pacifico	7000-9000 (2134-2743)
Arcilla, Arenisca Arcillosa	5900 (1798)	Colorado, Denso, Pesado y Continuo, con Pocas Fallas	7250 (2210)
Glacial Hill, Upper Susquemanna	5600-7400 (1707)	Colorado, Conteniendo Fallas Alteradas y Áreas Suaves	4725 (1440)



## Tablas

Tabla 1.17: (Continuación). Velocidad de Propagación de Ondas Sísmicas en Materiales Sub-superficiales. (Fuente: Redpath B., 1973).

Material	ft/s (m/s)	Material	ft/s (m/s)
Glacial Moraine Deposit, Dry-California	2500-5000 (762-1524)	Río Colina Humeante, Kansas	6000-7500 (1829-2286)
Glacial Moraine Deposit, Saturated-California	5000-7000 (1524-2134)	Arenisca Conglomerada	8000 (2438)
Lava Cementada Aglomerada, California	5000-6000 (1524-1829)		
<i>Yeso:</i>		<i>New Hampshire (comparación de las velocidades con registros de perforaciones)</i>	
Sitio de Represa Fuerte Randall-Encima del Nivel Freático	6300-7000 (1920-2134)	Muestra Planos de Unión pero Pequeños Signos de Alteración. Aunque Algunos de ellos están abiertos.	10000-13000 (3048-3962)
Sitio de Represa Fuerte Randall-Debajo del Nivel Freático	8000 (2438)	Enteramente Inalterado y sin Fallas.	16000-20000 (4877-6096)
<i>Granito:</i>		Granodiorita	15000 (4572)
<i>Cordillera Sierra Nevada, California (en los cortes del camino)</i>		Basalto-Zona del Canal- Alterada y Fracturada	9000-14000 (2743-4267)
Desmenuable y Altamente Descompuesto	1540 (469)	Caliza, Dolomita, Rocas Metamórficas, Rocas Masivas.	16400-20200 (4999-6157)
Seramente Fracturado y en Parte Descompuesto	2200 (671)	Diabase, en el Fondo de Río Ancho, Carolina del Sur	19700 (6005)
Suavizada y en Parte Descompuesto	10500 (3200)	Greenstone, Juntas Bien Ajustadas.	16100 (4907)

## Tablas

Tabla 1.18: Clasificación de Acuerdo a Materiales. (Fuente: Redpath B., 1973).

MATERIAL	VELOCIDAD	
	ft/s	m/s
Material Superficial Alterado	1000-2000	305-610
Grava, Escombros (Ripio) o Arena (Seca)	1500-3000	468-915
Arena (Húmeda)	2000-6000	610-1830
Arcilla	3000-9000	915-2750
Agua (Dependiendo de la Temperatura y Contenido de Sal)	4700-5500	1430-1680
Agua de Mar	4800-5000	1460-1530
Arenisca	6000-13000	1830-3970
Esquisto	9000-1400	2750-4270
Yeso o Tiza	6000-13000	1830-3970
Caliza	7000-20000	2140-6100
Sal	14000-17000	4270-5190
Granito	15000-19000	4580-5800
Rocas Metamórficas	10000-23000	3050-7020
Hielo	12050	-

Tabla 1.19: Velocidad de las Ondas P en las Litologías Más Comunes. (Fuente: Rodríguez, Manuel Arlandi. "Geofísica Aplicada a la Obra Civil. Método Geoléctrico y Sísmica de Refracción. Casos Prácticos" Geoconsult Ingenieros Consultores. Valencia, España. 2001).

MATERIAL	m/s	MATERIAL	m/s
Tierra Suelta	250-400	Pizarras	2500-4500
Limos y Arenas Flojas	350-500	Margas	2500-4500
Arenas y Gravas Sueltas	400-900	Calizas	3000-5500
Arenas y Gravas Sueltas Saturadas	1500-1800	Areniscas	2000-4500
Agua	1450-1600	Granitos	3500-5500
Arcillas	900-2500	Sal	4000-5000

## Tablas

Tabla 1.20: Velocidades Típicas de Ondas P. (Fuente: "Tesis sobre el Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área de Cañaveralejo, Cali, Colombia". Universidad del Valle, Cali, Colombia. 2001).

MEDIO	V <sub>p</sub> (m/s)
Material Superficial Meteorizado	305-610
Gravas, Guijo, Arenas (Seca)	468-915
Arena (Húmeda)	610-1830
Arcilla	915-2750
Agua (Dependiendo de la T° y del Contenido de Sales)	1430-1630
Agua de Mar	1460-1530
Arenisca	1830-3970
Shale (Roca Arcillosa que se parte en Laminas)	2750-4270
Tiza (Chalk-Arcillas)	1830-2970
Calizas (Limestone)	2140-6100
Sal	4270-5190
Granito	4580-5800
Rocas Metamórficas.	3050-7020

Tabla 1.21: Rangos Usuales de Variación de la Velocidad de Compresión en Diversos Tipos de Materiales Geológicos. (Fuente: "Geofísica Aplicada en los Proyectos Básicos de Ingeniería Civil". Instituto Mexicano de Transporte, 2003).

Material	Velocidad de Compresión (m/s)
Material Superficial (capa de alteración de suelos y rocas)	305 - 610
Gravas, Arenas y arcillas (secas y húmedas)	468 - 915
Arena húmeda	610 - 1830
Areniscas y lutitas	1830 - 4270
Caliza	2140 - 6100
Granito	4580 - 5800
Roca metamórfica	3050 - 7020

## Tablas

Tabla 1.22: Velocidades de Ondas P y S en Diferentes Medios. (Fuente: "Manual of Seismological Observatory Practice", World Data Center for Solid Earth Geophysics, Report SE-20, Japón, 1979)

Material	Onda P (m/s)	Onda S (m/s)
Sedimentos no consolidados	300 - 2500	100 - 500
Arenas Compactas	1500 - 5400	800 - 2000
Rocas Sedimentarias	3500 - 5500	1500 - 3000
Roca Metamórficas	4500 - 6000	2500 - 3500
Limos	3000 - 6000	2000 - 3000
Rocas Ígneas	4500 - 7500	3500 - 4000
Agua	1500	0
Cieno	1400 - 1800	50 - 300
Gravas y Arenas Densas	250 - 300	150 - 200
Granito	5200	3000
Basalto	6400	3200
Calizas	2400	1350
Areniscas	3500	2150

Tabla 1.23: Velocidades de Ondas P y S en Diferentes Medios. (Fuente: "Borehole Shear Wave Survey for Engineering Site Investigations". Geostuff, 2002)

Tipo de Suelo	Vp ft/s (m/s)	Vs ft/s (m/s)
Gravas saturadas (Limpia)	5000 (1500)	1000 (300)
Gravas saturadas (Sucia)	5000 (1500)	2000 (600)
Depósitos de Arcilla	5000 (1500)	3000 (900)
Roca alterada (Intemperizada)	5000 (1500)	2000 - 3000 (600-900)
Carbón	5000 (1500)	3000 (900)
Arena movediza	5000 (1500)	0 (0)

Tabla 1.24: Valores representativos de la relación de Poisson. (Fuente: Braja M. Das; "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica")

Tipo de Suelo	Relación de Poisson, $\nu$
Arena suelta	0.2-0.4
Arena media	0.25-0.4
Arena densa	0.3-0.45
Arena limosa	0.2-0.4
Arcilla blanda	0.15-0.25
Arcilla media	0.2-0.5

## Tablas

Tabla 1.25: Algunos Cocientes de Poisson según Salem. (Fuente: "Tesis sobre el Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área de Cañaveralejo, Cali, Colombia". Universidad del Valle, Cali, Colombia. 2001)

estudio	Resultados
Stokoe & Woods (1972)	$V=0.31$ para sedimentos no consolidados y no saturados
Davis & Schulteiss (1980)	$0.4982 < v < 0.4997$ para arcillas
Stuempel et al. (1984) Meissner et al. (1995)	$V=0.49$ para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados
Tiab & Donaldson (1996)	$0.14 < v < 0.41$ para diferentes litologías y grados de saturación.

Tabla 1.26: Relación de Poisson  $v$  asociado a diferentes tipos de materiales. (Fuente: "Tesis sobre el Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área de Cañaveralejo, Cali, Colombia". Universidad del Valle, Cali, Colombia. 2001)

Tipo de Material	Relación de Poisson $v$
Arcilla	0.4-0.45
Arena	0.3-0.4
Roca	0.15-0.25

**Anexos**

---

**Anexo A1**  
**Matriz de Consistencia**

---

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**  
(PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA)

Anexo Nº A1

**TÍTULO: “MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA MASW - MAM Y PARÁMETROS ELÁSTICOS DEL PUENTE VEHICULAR INTERREGIONAL PAMPAS. AYACUCHO – APURÍMAC. 2016”**

I. PROBLEMA	II. OBJETIVO	III. HIPÓTESIS	IV: VARIABLES Y DIMENSIONES	V. METODOLOGÍA
<p align="center"><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Qué criterios técnicos se toman en cuenta para elegir el método de refracción sísmica MASW – MAM para el cálculo y evaluación de los parámetros elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac. 2016?</p> <p align="center"><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <p><b>A.</b> ¿De qué manera la aplicación de los métodos de refracción sísmica, análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal MASW y MAM, influye para el cálculo del coeficiente de Poisson del suelo en el Puente Vehicular Interregional Pampas?</p> <p><b>B.</b> ¿Cuál es el perfil sísmico unidimensional de ondas de corte evaluadas mediante el análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal MASW y MAM, en el Puente Vehicular Interregional Pampas?</p> <p><b>C.</b> ¿Tendrá un respaldo de control de calidad la aplicación de los métodos de refracción sísmica MASW – MAM para la construcción del Puente Vehicular Interregional Pampas?</p>	<p align="center"><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Determinar qué criterios técnicos se toman en cuenta para elegir el de los métodos de Refracción Sísmica MASW – MAM, para el cálculo y evaluación de los parámetros elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac. 2016.</p> <p align="center"><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p><b>A.</b> Evaluar de qué manera la aplicación de los métodos de refracción sísmica, análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal MASW y MAM, influye para el cálculo del coeficiente de Poisson del suelo en el Puente Vehicular Interregional Pampas.</p> <p><b>B.</b> Determinar Cuál es el perfil sísmico unidimensional de ondas de corte evaluadas mediante el análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal MASW y MAM, en el Puente Vehicular Interregional Pampas.</p> <p><b>C.</b> Establecer si existe un respaldo de control de calidad la aplicación de los métodos de refracción sísmica MASW – MAM para la construcción del Puente Vehicular Interregional Pampas.</p>	<p align="center"><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>Los criterios técnicos que se toman en cuenta para elegir los métodos de refracción sísmica MASW – MAM, servirán para determinar el cálculo y evaluación de los parámetros elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac. 2016.</p> <p align="center"><b>HIPÓTESIS ESPECIFICAS</b></p> <p>La aplicación de los métodos de refracción sísmica, análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal MASW y MAM, influye para evaluar el cálculo del coeficiente de Poisson del suelo en el Puente Vehicular Interregional Pampas.</p> <p>Si es factible determinar el perfil sísmico unidimensional de ondas de corte evaluadas mediante el análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal MASW y MAM, en el Puente Vehicular Interregional Pampas.</p> <p>Efectivamente existe un respaldo de control de calidad la aplicación de los métodos de refracción sísmica MASW – MAM para la construcción del Puente Vehicular Interregional Pampas.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE (x):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA, MASW Y MAM.</li> </ul> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE (y):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Parámetros Elásticos de Puente Vehicular.</li> </ul> <p><b>DIMENSIONES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Métodos de Refracción Sísmica MASW – MAM: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Atenuación</li> <li>▪ Vel. de Ondas “P”</li> <li>▪ Vel. de Ondas “S”</li> <li>▪ Densidad de material</li> <li>▪ Deformación</li> <li>▪ Amortiguamiento</li> <li>▪ Proceso de inversión</li> <li>▪ Acumulación de Shots</li> </ul> </li> <li>- Parámetros Elásticos de Puente Vehicular: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Módulo de Corte</li> <li>▪ Coeficiente de Poisson</li> <li>▪ Módulo de Young</li> <li>▪ Esfuerzo tensión o tracción - compresión</li> <li>▪ Esfuerzo cortante</li> <li>▪ Deformación volumétrica</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> Aplicada o Tecnológica</p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</b> Exploratoria – Correlacional</p> <p align="center"><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</b> No Experimental con un enfoque cuantitativo</p> <p><b>POBLACIÓN:</b> La población está definida del tramo Km 0+000 al 0+250 y del Km 0+320 al 0+570 del eje de la proyección del puente Vehicular Interregional Pampas.</p> <p><b>MUESTRA:</b> Se tomara como muestra la proyección de los estribos del tramo Km 0+175 al 0+250 y del Km 0+320 al 0+395 del eje de la proyección del puente Vehicular Interregional Pampas.</p> <p><b>TIPO DE MUESTREO:</b> El tipo de muestreo es no aleatorio o dirigido (NO PROBABILÍSTICA), de acuerdo al interés del investigador.</p> <p><b>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:</b> En el presente trabajo de investigación se utilizó el MÉTODO CIENTÍFICO como método general</p>



**Anexo A2**  
**Cuadro de Operacionalización de**  
**Variable**

---

**VARIABLE INDEPENDIENTE (x): MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA MASW – MAM. (CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE) Anexo Nº A2.**

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	VALOR QUE ADOPTA LA VARIABLE - ÍTEMS																		
Se define conceptualmente como un método sísmico donde se mide el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y la llegada de estas a diferentes puntos de observación, para este fin se disponen de 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.	Se define operacionalmente como un método para medir el tiempo de la propagación de las ondas elásticas, a una distancia conocida del extremo del tendido, en el punto de disparo, donde se generan las 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.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ruido sísmico</li> <li>▪ Suficiente extensión</li> <li>▪ Ley de refracción</li> <li>▪ Fenómeno en la propagación</li> <li>▪ Difracción</li> <li>▪ Dispersión</li> <li>▪ Scattering</li> <li>▪ Amortiguamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Para determinar el módulo dinámico "G" en masas de arcilla.</li> <li>▪ La longitud de tendido está relacionada con la exploración en profundidad.</li> <li>▪ 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.</li> <li>▪ Cuando el medio en que se propagan las ondas sísmicas no es homogéneo, produciéndose los fenómenos de difracción y scattering.</li> <li>▪ Desvío de los rayos en cierta extensión ocurrido cuando se limita parte del frente de ondas.</li> <li>▪ Variedad de la velocidad de una onda con el cambio de frecuencia.</li> <li>▪ Formación de pequeñas ondas que propagan la energía en todas las direcciones.</li> <li>▪ Cuando el impulso sísmico viaja a través de las diferentes capas del terreno.</li> </ul>	<p>Las categorías diagnósticas consideradas para el instrumento están basadas en las puntuaciones directas del instrumento y tomando como criterio que la máxima puntuación, revela analizar y comparar los criterios técnicos tomados en cuenta para cada método de refracción sísmica MASW – MAM, para el cálculo y evaluación de los parámetros elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac. 2016</p> <p><b>Categorías Diagnósticas:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Cat. Dx.</th> <th>Rango</th> <th>Puntaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▪ Muy Alta</td> <td>17-20</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>▪ Alta</td> <td>14-17</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>▪ Media</td> <td>11-14</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>▪ Baja</td> <td>8-11</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>▪ Muy baja</td> <td>5-8</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Ítems:</b> a= 5, b = 4, c = 3, d = 2, e = 1. <b>Total</b> = 15 puntos. Escala de Licker.</p>	Cat. Dx.	Rango	Puntaje	▪ Muy Alta	17-20	100	▪ Alta	14-17	80	▪ Media	11-14	60	▪ Baja	8-11	40	▪ Muy baja	5-8	20
Cat. Dx.	Rango	Puntaje																				
▪ Muy Alta	17-20	100																				
▪ Alta	14-17	80																				
▪ Media	11-14	60																				
▪ Baja	8-11	40																				
▪ Muy baja	5-8	20																				

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	PROCEDIMIENTOS	NATURALEZA	ESCALA DE MEDICIÓN	FORMA DE MEDIR
<p><b>TÉCNICAS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Muestreo</li> <li>▪ Observación</li> <li>▪ Diario de campo</li> </ul> <p><b>INSTRUMENTOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ficha de Observación</li> <li>▪ Formatos de levantamiento de datos geofísicos, Anexo A3.</li> </ul>	Las técnicas e instrumentos de la investigación aplicados en la unidad de análisis, se han estructurado de acuerdo a determinar el perfil sísmico unidimensional de ondas de corte ( $v_s$ ) del subsuelo de cimentación del Puente Vehicular Interregional Pampas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Variable: Cualitativa - Cuantitativa</li> </ul>	Nominal	Directa: Polítoma

**VARIABLE DEPENDIENTE (y): PARÁMETROS ELÁSTICOS DE PUENTE VEHICULAR.**

**(CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE)**

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	VALOR QUE ADOPTA LA VARIABLE – ÍTEMS																		
Conceptualmente se define como las constantes o módulos elásticos, que actúan como un conjunto de parámetros que definen las propiedades y comportamientos de un material que se somete a esfuerzos, sufre deformaciones, y luego recupera su forma original después de que los esfuerzos cesan (i.e. material elástico).	Operacionalmente se define como las constantes físicas donde la velocidad de las ondas sísmicas depende de las mismas y de la densidad de las rocas, asimismo empleadas para la caracterización de los sitios en la geotécnica aplicada a la ingeniería civil, por lo cual su investigación y cuantificación a través de métodos geofísicos permite alcanzar buenos resultados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Velocidad de ondas “p” y “s”</li> <li>▪ Velocidad de propagación</li> <li>▪ Relación entre parámetros elásticos y ondas “p”</li> <li>▪ Coeficiente de Poisson</li> <li>▪ Anisotropía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Son generalmente mayores para: rocas densas que para rocas livianas o más ligeras, y rocas antiguas que para rocas jóvenes.</li> <li>▪ Varía de acuerdo con: grado de acidez de la roca y grado de saturación de cualquier fluido.</li> <li>▪ Esta relación depende del tipo de suelo siendo mayor la velocidad de las ondas “p”, entre mayor es la rigidez del medio, los valores de velocidad para ondas “p” y “s” tienden a ser cercanos.</li> <li>▪ Medida de la contracción lateral del material, para el caso de materiales elásticos varía entre 0 y 0.5, como los líquidos no oponen resistencia a esfuerzo cortante <math>u=0</math>, entonces <math>v= \frac{1}{2}</math>.</li> <li>▪ El coeficiente de Poisson puede ser un indicativo en depósitos sedimentarios.</li> </ul>	<p>Las categorías diagnósticas consideradas para el instrumento están basadas en las puntuaciones directas del instrumento y tomando como criterio que la máxima puntuación, revela analizar y comparar los criterios técnicos tomados en cuenta para cada método de refracción sísmica MASW – MAM, para el cálculo y evaluación de los parámetros elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac. 2016</p> <p><b>Categorías Diagnósticas:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Cat. Dx.</th> <th>Rango</th> <th>Puntaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▪ Muy Alta</td> <td>17-20</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>▪ Alta</td> <td>14-17</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>▪ Media</td> <td>11-14</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>▪ Baja</td> <td>8-11</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>▪ Muy baja</td> <td>5-8</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Ítems:</b> a = 5, b = 4, c = 3, d = 2, e = 1. <b>Total = 15 puntos. Escala de Licker</b></p>	Cat. Dx.	Rango	Puntaje	▪ Muy Alta	17-20	100	▪ Alta	14-17	80	▪ Media	11-14	60	▪ Baja	8-11	40	▪ Muy baja	5-8	20
Cat. Dx.	Rango	Puntaje																				
▪ Muy Alta	17-20	100																				
▪ Alta	14-17	80																				
▪ Media	11-14	60																				
▪ Baja	8-11	40																				
▪ Muy baja	5-8	20																				

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	PROCEDIMIENTOS	NATURALEZA	ESC. DE MEDICIÓN	FORMA DE MEDIR
<p><b>TÉCNICAS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Muestreo</li> <li>▪ Observación</li> <li>▪ Diario de campo</li> </ul> <p><b>INSTRUMENTOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ficha de Observación</li> <li>▪ Formatos de levantamiento de datos geofísicos, Anexo A3.</li> </ul>	Las técnicas e instrumentos de la investigación se han estructurado de acuerdo a establecer si existe un respaldo de control de calidad para la aplicación de los métodos de refracción sísmica MASW – MAM, para la construcción del Puente Vehicular Interregional Pampas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Variable:</li> </ul> <p>Cualitativa – Cuantitativa</p>	Nominal	Directa: Polítoma

**Anexo A3**  
**Formatos del levantamiento de datos**  
**geofísicos**  
**Hoja de Campo - Manual VS30. Chile**  
**2015**  
**Formato de Empresa Geofísica**

---

**Ejemplo Hoja de Campo:**

<b>GENERAL</b>			
Fecha	31/03/2015	Hora	12:05
Ubicación	Av. 18 de septiembre 2416, Arica		
Coordenadas	N 7955249	Referencia: Coordenadas medidas en el centro del arreglo circular. Zona 19H.	
	E 363627		

**ARREGLO LINEAL 1 - ENSAYO ACTIVO**

Sampleo	0.125 ms	Tiempo (c/archivo)	2 s
N° Geófonos	24	Espaciamiento	5
Distancia	Archivos		
a 5m	141 142 143 144 145		
a 10m	146 147 148 149 150		
a 15m	151 152 153 154 155		
a 20m	156 157 158 159 160		

**ARREGLO LINEAL 1 - ENSAYO PASIVO 1D**

Sampleo	16ms	Tiempo (c/archivo)	240s
N° Geófonos	12	Espaciamiento	8
Archivos	161 162 163 164 165 166		

**ARREGLO LINEAL 2 - ENSAYO ACTIVO**

Sampleo	0.125 ms	Tiempo (c/archivo)	2 s
N° Geófonos	24	Espaciamiento	5
Distancia	Archivos		
a 5m	167 168 169 170 171		
a 10m	172 173 174 175 176		
a 15m	177 178 179 180 181		
a 20m	182 183 184 185 186		

**ARREGLO LINEAL 2 - ENSAYO PASIVO 1D**

Sampleo	16ms	Tiempo (c/archivo)	240s
N° Geófonos	12	Espaciamiento	8
Archivos	187 188 189 190 191 192		

**ENSAYO PASIVO 2D**

Sampleo	16ms	Tiempo (c/archivo)	240s
Configuración	Círculo de 15.3m de diámetro		
N° Geófonos	12	Espaciamiento	8
Archivos	193 194 195 196 197 198		

**OBSERVACIONES:**

El ensayo fue ejecutado al costado de una avenida de alto tráfico vehicular. El primer arreglo lineal fue perpendicular, mientras el segundo fue paralelo a esta calle.

**FORMATO DE LEVANTAMIENTO DE DATOS GEOFÍSICOS**

**Introducción:**

La presente encuesta tiene por objetivo establecer Los Métodos De Refracción Sísmica MASW - MAM y Parámetros Elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas. Ayacucho – Apurímac. 2016.

**Datos Generales:**

**Especialidad:** ..... **Área:** ..... **Fecha:** .....

<b>Tabla de Especificación:</b>	<b>b. Categorías Diagnósticas:</b>
<b>a. Variables:</b>	Las categorías varían de acuerdo al objetivo de ítems propuesto
<b>Variable Independiente:</b>	<b>c. Ítems:</b>
Métodos De Refracción Sísmica, Análisis De Ondas Superficiales En Arreglo Multicanal MASW y Microtrepidaciones en Arreglos Multicanal MAM.	a = 5, b = 4; e = 3; d = 2 y e = 1
<b>Variable Dependiente:</b>	<b>d. Puntaje:</b>
Parámetros Elásticos del Puente Vehicular Interregional Pampas	15 ptos. Escala de Licker.

**INSTRUCCIONES:**

A continuación presentamos 6 preguntas sencillas, las cuales marcará con un aspa (x), la alternativa correcta (sólo una).

N°	Preguntas					
1	¿Las proyecciones de las líneas sísmicas se elaboran en coordinación entre el Consultor, el jefe del proyecto y los futuros beneficiarios del Represamiento de Laguna Huancarcocha, convenientemente asesorados por Ingenieros, y técnicos en obras civiles?					
	<b>Alternativa</b>	a. Si	b. No	c. A veces	d. Casi siempre	e. Desconoce
2	¿Frecuentemente se establecen las condiciones de seguridad para todo el personal que participara en la obra, de acuerdo con el reglamento de seguridad y salud en el trabajo?					
	<b>Alternativa</b>	a. Si	b. No	c. A veces	d. Casi siempre	e. Desconoce
3	¿Frecuentemente se cuenta con mecanismos preventivos que se incorporen y así garantizar la protección del ambiente, durante el desarrollo de nuestras operaciones, de acuerdo con el reglamento de control de actividades clasificadas para la protección del medio ambiente?					
	<b>Alternativa</b>	a. Si	b. No	c. A veces	d. Casi siempre	e. Desconoce
4	¿Las ejecuciones de los ensayos, tanto en la geometría, parámetros de adquisición, así como los resultados, son los adecuados de acuerdo con lo dispuesto en las Normas ASTM. Designation - D5777, Norma Peruana NTE E.030 y The International Building - IBC, NEHRP- National Earthquake Hazards Reduction Program - WWW.MASW.COM?					
	<b>Alternativa</b>	a. Si	b. No	c. A veces	d. Casi siempre	e. Desconoce
5	¿Se adoptan las medidas de seguridad para la utilización de equipamientos (camioneta, trípodes, herramientas manuales) en el área de trabajo?					
	<b>Alternativa</b>	a. Si	b. No	c. A veces	d. Casi siempre	e. Desconoce
6	¿Se cumple con que la Geología y la Geofísica son ciencias que abarcan un amplio espectro de problemas y aplicaciones, y como ingenierías su propósito se enfoca en la resolución de problemas que afectan la actividad cotidiana de la sociedad?					
	<b>Alternativa</b>	a. Si	b. No	c. A veces	d. Casi siempre	e. Desconoce







**Anexo B1**  
**Efectividad de Método - Manual**  
**Vs30, Chile 2015**

---

# 8. ESTIMACIÓN DE LA CURVA DE DISPERSIÓN GLOBAL E INVERSIÓN

## 8.1. Curva de dispersión global

### 8.1.1. Combinación de métodos

En general, se suele combinar las curvas de dispersión obtenidas con distintas técnicas (activas y pasivas), y con distintas herramientas de análisis (f-k, SPAC, etc.) para así aumentar el ancho de banda de las frecuencias exploradas, y con ello la profundidad de exploración. A modo de ejemplo, en la figura 8.1 se indican las curvas de dispersión obtenidas con ensayos activos y pasivos para un mismo sitio. En este caso, los ensayos pasivos se utilizaron arreglos lineales (ESPAC) y circulares (f-k y SPAC).

En el informe se debe reportar el rango de frecuencias explorado con buena resolución por cada una de las curvas de dispersión obtenidas con los diferentes métodos, así como el rango de frecuencias explorado por la combinación de ellas. Además, se debe informar si existen discrepancias entre las curvas de dispersión obtenidas con los diferentes métodos, es decir, si el empalme entre las curvas de dispersión obtenidas con distintas técnicas no fuera satisfactorio. Algunas situaciones que explican eventuales discrepancias entre las curvas de dispersión se resumen en la tabla 8.1; en la misma tabla, se indican acciones correctivas para las situaciones indicadas.

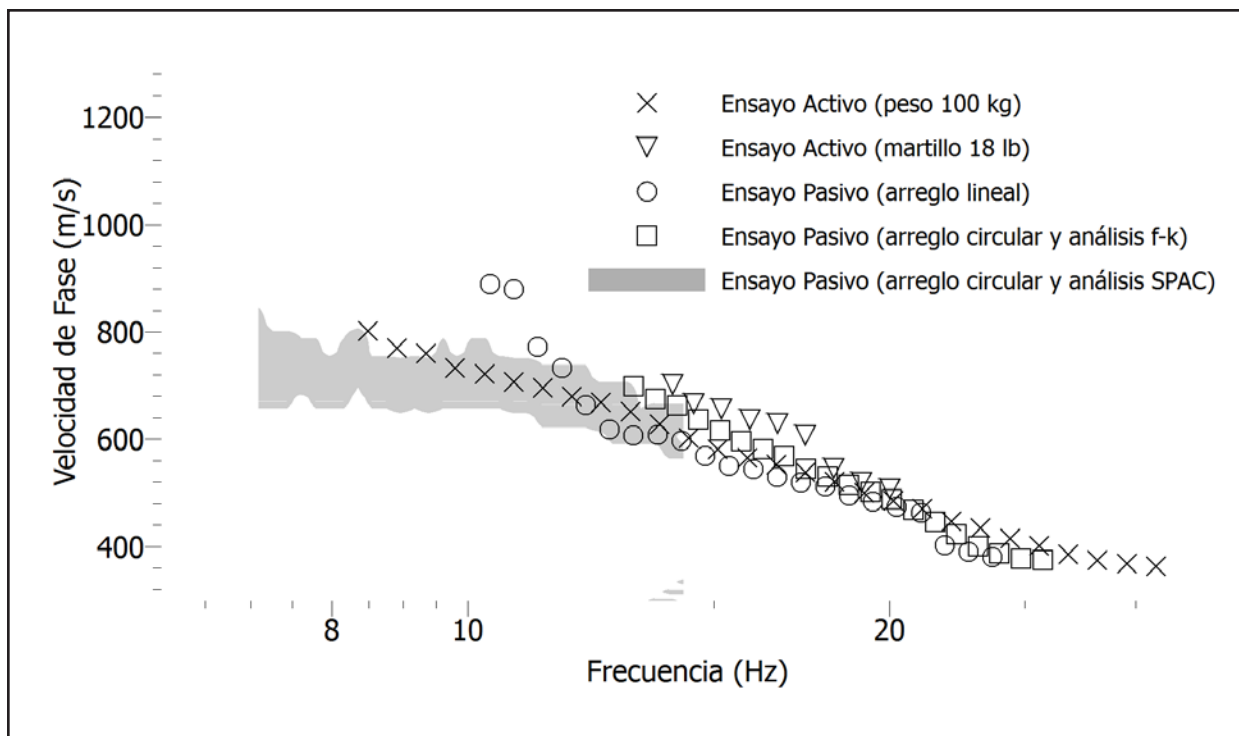


Figura 8.1: Curvas de dispersión obtenidas con diferentes métodos para un mismo sitio.

**Tabla 8.1:** Situaciones en que pueden existir discrepancias en las curvas de dispersión obtenidas con diferentes métodos y/o arreglos para un mismo sitio.

<b>Situación</b>	<b>Acciones correctivas</b>
Sobreestimación de velocidades de fase en frecuencias bajas. Esto es recurrente en los ensayos pasivos con arreglos lineales.	No considerar en el proceso de inversión, el tramo de la(s) curva(s) de dispersión donde las velocidades de fase son sobreestimadas. Complementar la curva con arreglos bidimensionales para ampliar el rango de frecuencias muestreado.
Variación lateral de las propiedades del suelo, lo que se refleja en diferencias entre arreglos lineales con orientaciones diferentes.	Realizar procesos de inversión independientes para los diferentes arreglos. Las curvas de los arreglos bidimensionales se deben agrupar con las curvas del arreglo lineal con el que presente mayor concordancia.
Presencia de fuentes pasivas muy cercanas a los arreglos. Con ello los frentes de ondas no cumplen con el supuesto de ondas planas, que es fundamental para algunos de los métodos de análisis (f-k, SPAC, etc.).	Se sugiere el uso de filtros para los registros de ensayos pasivos.
Terrenos con topografía irregular.	Se debe medir cuidadosamente las dimensiones de los arreglos, siguiendo lo indicado en la sección §5.2.3. Si es posible, se sugiere incluir las coordenadas de la elevación de los geófonos en el análisis y emplear un software que permita la inclusión directa de esta información.

La curva de dispersión global es el conjunto o el promedio de curvas de dispersión que se utilizarán finalmente en el o los procesos de inversión. No se deben considerar aquellos tramos de las curvas de dispersión que no estén bien definidos, así como aquellos tramos que sobreestimen la velocidad de fase. Si se observan diferencias significativas entre los diferentes arreglos, se deben realizar procesos de inversión independientes para cada arreglo.

La curva de dispersión global debe abarcar, como mínimo, un rango entre 10 y 90 metros de longitud de onda (figura 8.2). Asimismo, no se debe considerar la información obtenida bajo la frecuencia natural de los geófonos. En la figura 8.3, se muestra a modo de ejemplo, casos donde la curva de dispersión global cumple o no los límites teóricos. Si las características del terreno o los resultados de las mediciones no permiten satisfacer este rango de longitud de onda, se recomienda evaluar el uso de exploraciones invasivas (por ejemplo Down-Hole).

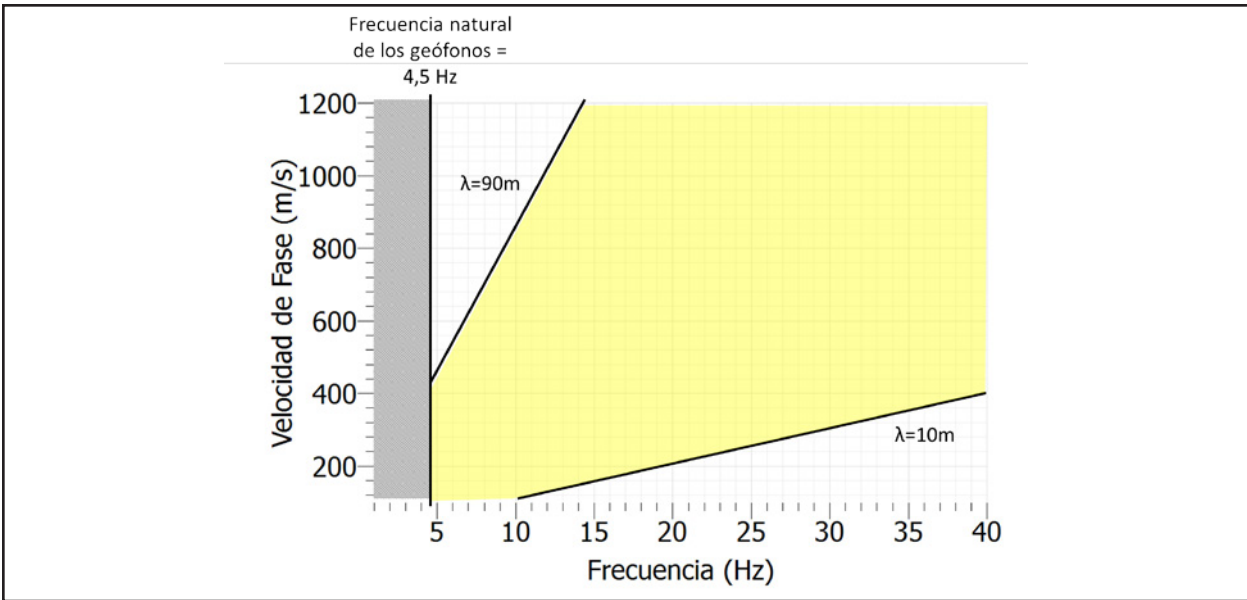


Figura 8.2: Rango mínimo de longitudes de onda que debe ser abarcado por la curva de dispersión global (entre 10 y 90 m de longitudes de onda). Con color amarillo se destaca la zona mínima que debe estar correctamente muestreada. La zona gris corresponde al límite impuesto por la frecuencia natural de los geófonos. La información dentro de esa zona no es confiable.

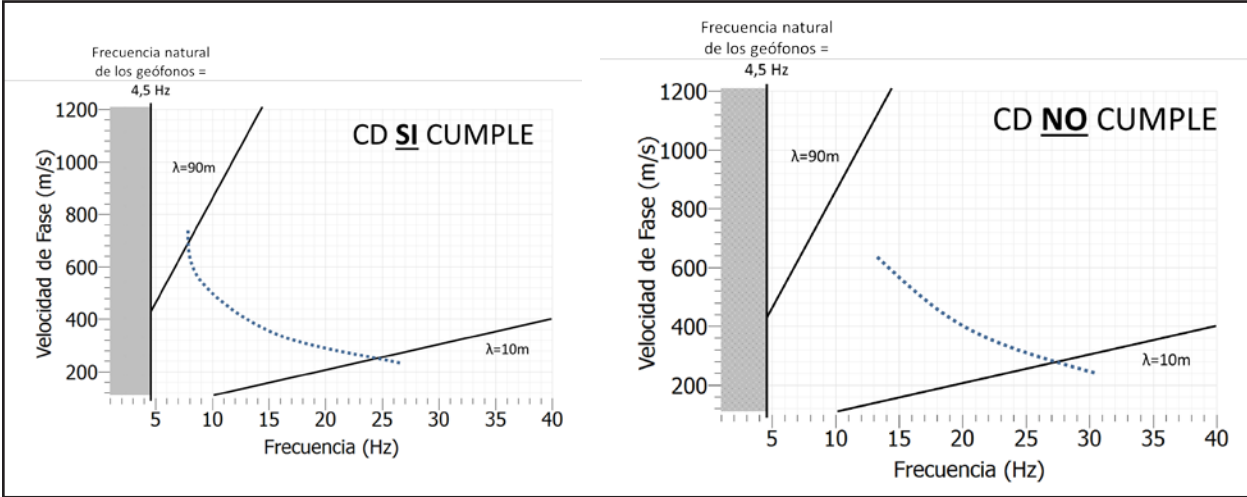


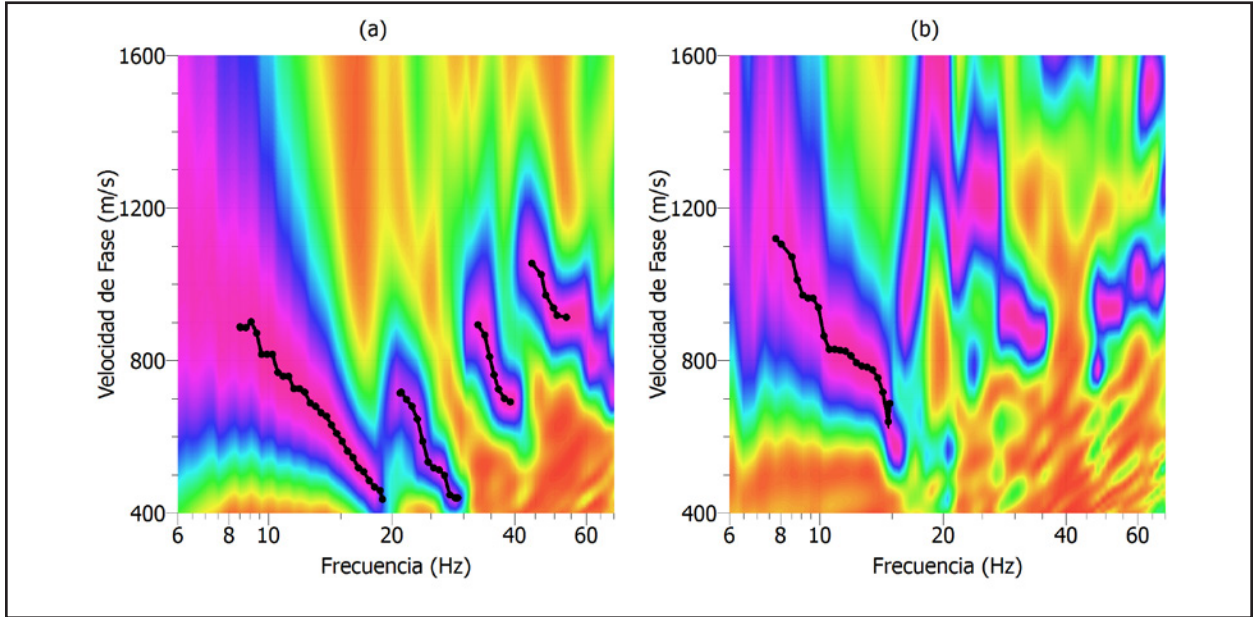
Figura 8.3: Ejemplos donde la CD global cumple (izquierda) o no (derecha) los límites sugeridos en el presente documento.

**8.1.2. Incorporación de múltiples modos de la curva de dispersión**

En algunas situaciones, es posible identificar modos superiores de la curva de dispersión, los cuales pueden ser incluidos en el proceso de inversión. Esto puede favorecer a una estimación más precisa de los perfiles de Vs. A modo de ejemplo, en la figura 8.4a se indica un caso donde además del modo fundamental (modo 0), se puede identificar con claridad tres modos superiores (modos 1, 2 y 3).

Si los modos superiores no son lo suficientemente claros, es mejor no incluirlos en el análisis. Por ejemplo, en la figura 8.4b se observan concentraciones de energía, que corresponden a un modo superior. Sin embargo, este modo no tiene la resolución suficiente como para ser incluido en el análisis.

Por último, un error recurrente es confundir modos superiores con el modo fundamental. Esto puede traer graves consecuencias en la estimación del perfil de Vs. Este error se analizará en detalle en el Capítulo 9.



**Figura 8.4:** Diagramas de dispersión con múltiples modos de la curva de dispersión: (a) con buena resolución de 3 modos superiores, (b) mala resolución del primer modo superior.

Es recomendable usar diferentes normalizaciones al momento de observar la CD y reportarlas, de manera de procurar determinación la presencia de modos superiores, o utilizar otras metodologías que permitan su apropiada identificación.

**Anexo C1**  
**Costos: Métodos Sísmico y**  
**Perforación Diamantina**

---

**PROPUESTA ECONÓMICA**

**EXPLORACIÓN GEOFÍSICA POR LOS MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA, MASW Y MAM PARA EL PUENTE INTERREGIONAL PAMPAS**

Proyecto: 101-V01

Cliente: MANCOMUNIDAD REGIONAL DE LOS ANDES

Lugar: INCAHACA Y CHACABAMBA-AYACUCHO Y APURIMAC

Plazo: 10 DÍAS CALENDARIOS

Fecha: jueves, 08 de junio de 2017

Moneda: Dolares americanos

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	Nº de Personas	CANTIDAD	P.U. (\$)	SUB TOTAL (\$)	TOTAL (\$)
<b>1.0.0</b>	<b>MOVILIZACIÓN, DESMOVILIZACIÓN DE PERSONAL GEOFÍSICA</b>						<b>1,345.00</b>
1.10	Seguros del personal ( 03 personas para Geofísica, 01 choferes y 01 topógrafo)	Und	5	1	25.00	125.00	
1.20	Movilidad Lima - Zona en estudio - Lima (01 Camioneta 4X4, incluye choferes + combustible)	Día	5	4	130.00	520.00	
1.30	Viáticos del Personal (Alojamiento, alimentación de 05 personas)	Día	5	4	30.00	600.00	
1.40	Pago de jornal personal de apoyo (02 personas)	Día	2	2	25.00	100.00	
<b>2.0.0</b>	<b>EXPLORACIÓN DE CAMPO - GEOFÍSICA</b>						<b>4,188.00</b>
2.10	Refracción Sísmica	KM		0.396	3,000.00	1,188.00	
2.20	MASW	PTO		6	300.00	1,800.00	
2.30	MAM	PTO		2	500.00	1,000.00	
2.40	Topografía						
2.50	Levantamiento topográfico	DIA		2	100.00	200.00	
<b>3.0.0</b>	<b>ELABORACIÓN DE INFORME</b>						<b>750.00</b>
3.1.0	Elaboración y revisión del informe final	Glb		1	750.00	750.00	
	<b>Costo Directo</b>						<b>6,283.00</b>
	<b>I.G.V.</b>	Glb		18%			<b>1,130.94</b>
	<b>COSTO TOTAL</b>						<b>7,413.94</b>

**Observaciones:**

- Los ensayos de Refracción Sísmica nos permite determinar la estratigrafía del terreno por medio de Ondas P.
- Los ensayos de Refracción Sísmica llegarán a una profundidad de análisis de entre 20 a 24 m. Para ello se usara explosivos.
- Los Sondajes MASW llegarán a una profundidad de análisis entre 20 a 30 m. Dependera del suelo.
- Los Sondajes MASW y MAM llegarán a una profundidad de análisis entre 20 a 100 m. Dependera del suelo.
- El cliente deberá brindar al consultor el B.M. para el levantamiento topográfico de la zona de estudio.
- El Solicitante deberá nombrar a un representante para coordinar el ingreso, así como cualquier apoyo que requiera el personal de INGEOTECON EIRL
- El cliente asumirá si este lo requiera los exámenes médicos de todo el personal
- El Cliente deberá proporcionar los permisos requerido para el ingreso y permanencia para ejecutar los trabajos en la zona a evaluar.
- El Cliente deberá garantizar y proporcionar la seguridad dentro de la zona a evaluar a todo el personal de INGEOTECON EIRL
- La obtención de todos los permisos necesarios para la ejecución de los trabajos, se obtendra antes del inicio de los trabajos.

**Requerimientos:**

La siguiente información deberá ser proporcionada para la realización del servicio solicitado:

- Plano del area de trabajo

**Forma de Pago:**

- 50% a la aceptación del contrato u orden del servicio correspondiente.
- 50% a la presentación del informe final de los 15 días siguientes de aprobado el informe o transcurrido del plazo correspondiente.

**ZEVALLIOS**

ELABORADO POR  
**Arturo Zevallos Flores.**



**PROPOSTA ECONÓMICA**  
**EXPLORACIÓN GEOTECNICA MEDIANTE PERFORACION DIAMANTINA PARA EL PUENTE INTERREGIONAL PAMPAS**

Proyecto: 101-W01  
 Cliente: MANCOMUNIDAD REGIONAL DE LOS ANDES  
 Lugar: INCAHACA Y CHACABAMBA-AYACUCHO Y APURIMAC  
 Plazo: 35 DÍAS CALENDARIOS

Fecha: Jueves, 08 de junio de 2017  
 Moneda: Dólares americanos

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	N° de Personas	CANTIDAD	P.U. (\$)	SUB TOTAL (\$)	TOTAL (\$)
<b>1.0.0</b>	<b>MOVILIZACIÓN, DESMOVILIZACIÓN DE PERSONAL (GEOTÉCNIA)</b>						<b>10,475.00</b>
1.2.1	Seguros del personal ( 1 Ing Supervisor, 01 Ing. Geotecnico, 03 Técnicos y 02 conductor)	Und	7	1	25.00	175.00	
1.2.2	Mov/Desmov Equipo de Perforación - (04 Personas)	Gbl	-	1	3,500.00	3,500.00	
1.2.3	Envío de muestras por vía terrestre	Gbl	-	1	400.00	CLIENTE	
1.2.4	Movilidad en la zona en estudio-Supervisor (02 Camioneta 4x4, incluye un chofer + combustible)	Dia	2	20	130.00	2,600.00	
1.2.5	Víáticos del Persona (Alojamiento, alimentación de 1 Ing Supervisor, 01 Ing. Geotecnico, 03 Técnicos y 02 conductor)	Dia	7	20	30.00	4,200.00	
<b>2.00</b>	<b>EXPLORACIÓN DE CAMPO - GEOTECNIA</b>						<b>21,600.00</b>
2.10	<b>Perforación Diamantina - Estribo Izquierdo</b>						
2.20	Perforación Diamantina y ensayo de penetración estándar (SPT) cada metro (50m de profundidad)	ml	1	50	200.00	10,000.00	
2.30	<b>Perforación Diamantina - Estribo Derecho</b>						
2.40	Perforación Diamantina y ensayo de penetración estándar (SPT) cada metro (50m de profundidad)	ml	1	50	200.00	10,000.00	
2.50	<b>Trabajo de Campo</b>						
2.60	Construcción de caminos, accesos y Plataforma	ml		1	400.00	400.00	
2.70	Instalación de los equipos de perforación a rotación 02 sondajes	ml		2	500.00	1,000.00	
2.80	<b>Levantamiento Topográfico</b>						
2.90	Levantamiento Topográfico	Dias		1	200.00	200.00	
<b>3.00</b>	<b>ENSAYOS DE LABORATORIOS</b>						<b>CLIENTE</b>
3.10	ASTM - D4426; D422; D4318; D4318; D427; D2487; D-3282 Ensayo de caracterización Física (SUCS)	Ensayo		1	56.00	56.00	
3.20	ASTM D 854 Gravedad Especifica Relativa de Sólidos Finos	Ensayo		1	25.00	25.00	
3.30	ASTM D 4767 Ensayo triaxial Consolidado - No Drenado (CIU) 2.88"	Ensayo		1	740.00	740.00	
3.40	ATM D 2435 Consolidación Unidimensional hasta 6.4kg/cm2	Ensayo		1	215.00	215.00	
3.50	ASTM D 3080 Corte directo(por 3 especimenes)	Ensayo		1	145.00	145.00	
3.60	ASTM D 1557 Compactación Proctor Modificado	Ensayo		1	215.00	215.00	
3.70	ASTM - D512; D516 MTC - E219; E129 Ensayos químicos del agua y suelo.	Ensayo		1	155.00	155.00	
3.80	ASTM C 97-02 Propiedades Físicas	Ensayo		1	120.00	120.00	
3.90	ASTM D 2938-95 Resistencia a la Compresión Simple	Ensayo		1	155.00	155.00	
<b>4.0.0</b>	<b>ANÁLISIS DE INGENIERÍA</b>						<b>2,000.00</b>
4.10	Informer final	Glb		1	2,000.00	2,000.00	
	<b>Costo Directo</b>						<b>34,075.00</b>
	<b>I.G.V.</b>	Glb		18%			<b>6,133.50</b>
	<b>COSTO TOTAL</b>						<b>40,208.50</b>

*Zevallos*

ELABORADO POR

**Anexo 1**  
**Ensayos Geofísicos – Refracción**  
**Sísmica**

---

**Anexo 1.1**  
**Registros de Ondas Sísmicas**  
**Refracción Sísmica**

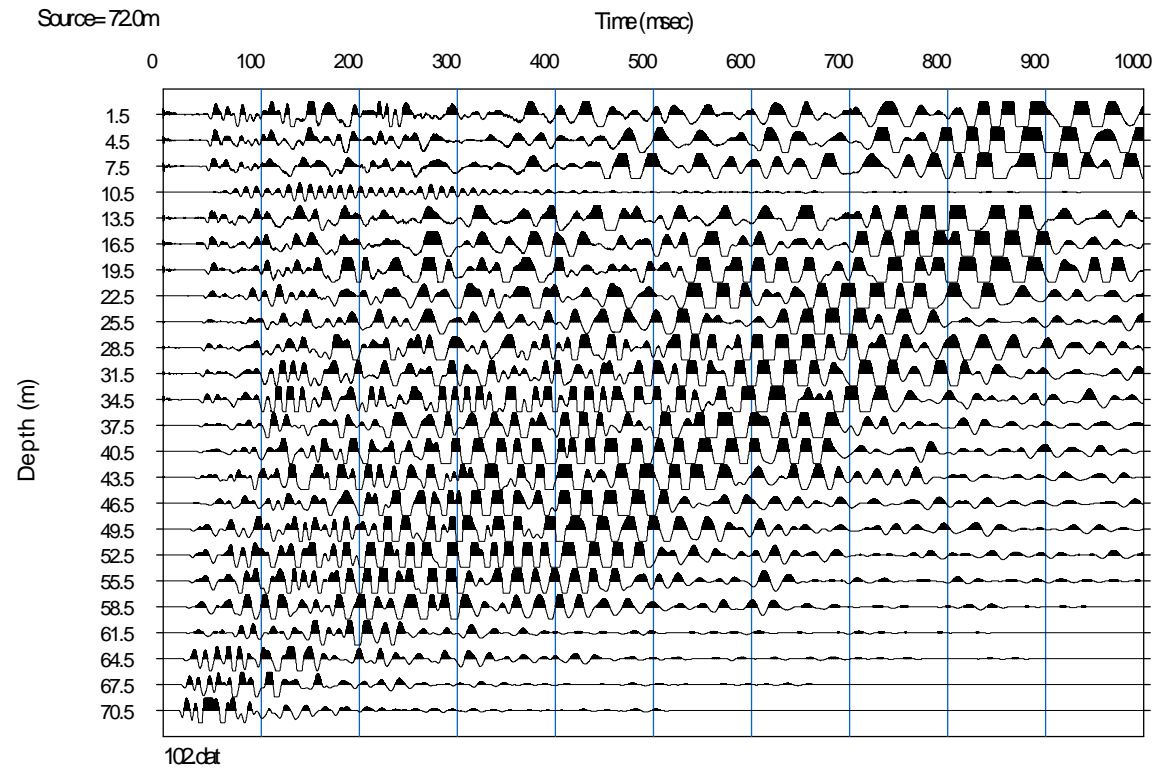
---

## Anexo 1.1 – Registros de Ondas Sísmicas – Refracción Sísmica

### **ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA - REGISTROS SÍSMICOS, Redpath (1973)**

En la LRS-01, se aprecia el registro sísmico de un ensayo de refracción sísmica, en el cual se utilizaron 24 geófonos espaciados equidistantes cada 3 m.

Línea: LRS-01  
Registro: 102  
Shot: 03  
Estribo: Izquierdo

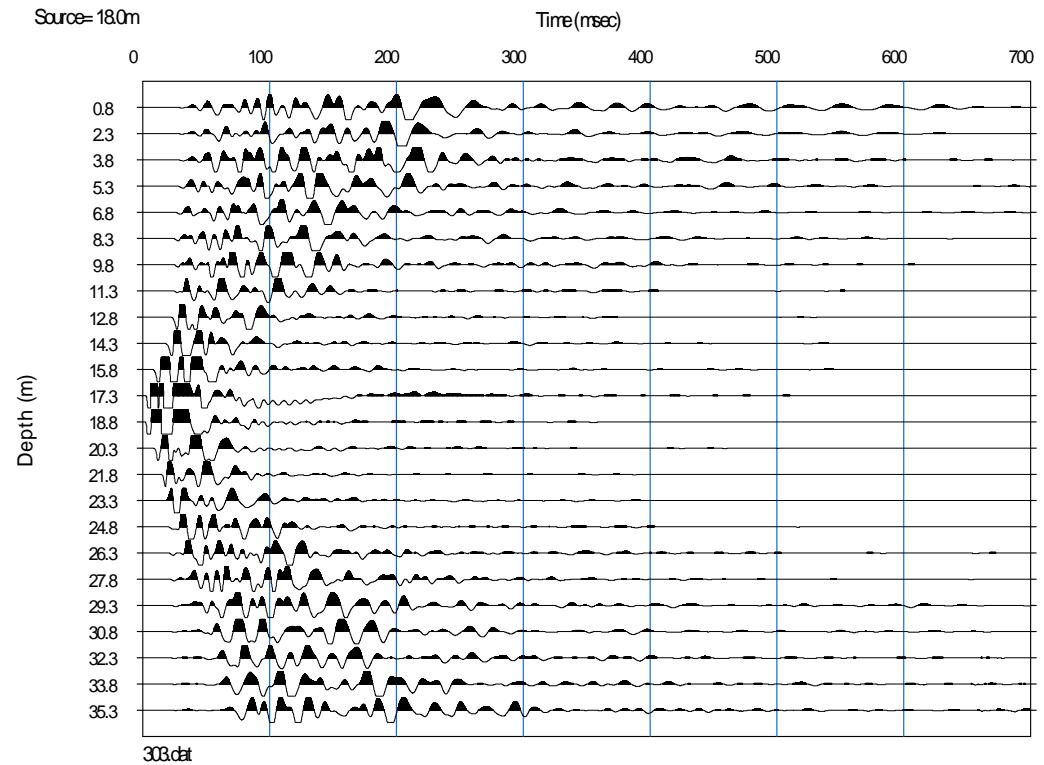


## Anexo 1.1 – Registros de Ondas Sísmicas – Refracción Sísmica

### **ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA - REGISTROS SÍSMICOS, Redpath (1973)**

En la LRS-02, se aprecia el registro sísmico de un ensayo de refracción sísmica, en el cual se utilizaron 24 geófonos espaciados equidistantes cada 1.5 m.

Línea: LRS-02  
Registro: 303  
Shot: 01  
Estribo: Izquierdo

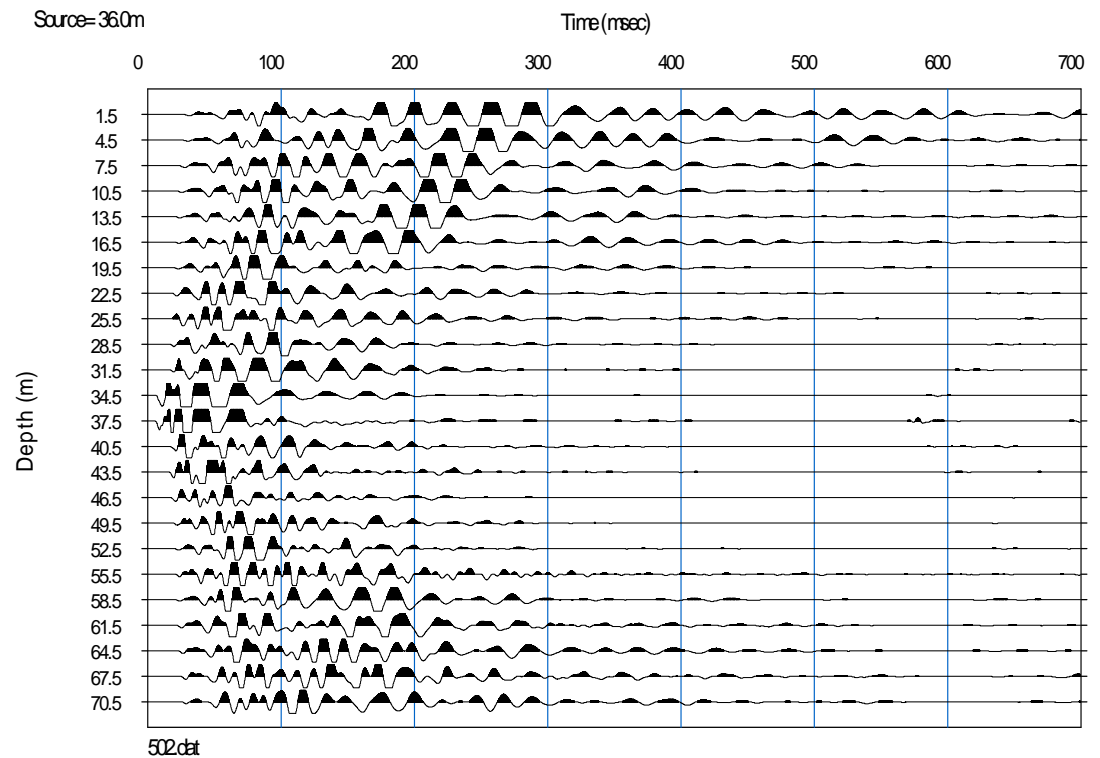


## Anexo 1.1 – Registros de Ondas Sísmicas – Refracción Sísmica

### **ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA - REGISTROS SÍSMICOS, Redpath (1973)**

En la LRS-03, se aprecia el registro sísmico de un ensayo de refracción sísmica, en el cual se utilizaron 24 geófonos espaciados equidistantes cada 3 m.

Línea: LRS-03  
Registro: 502  
Shot: 02  
Estribo: Izquierdo



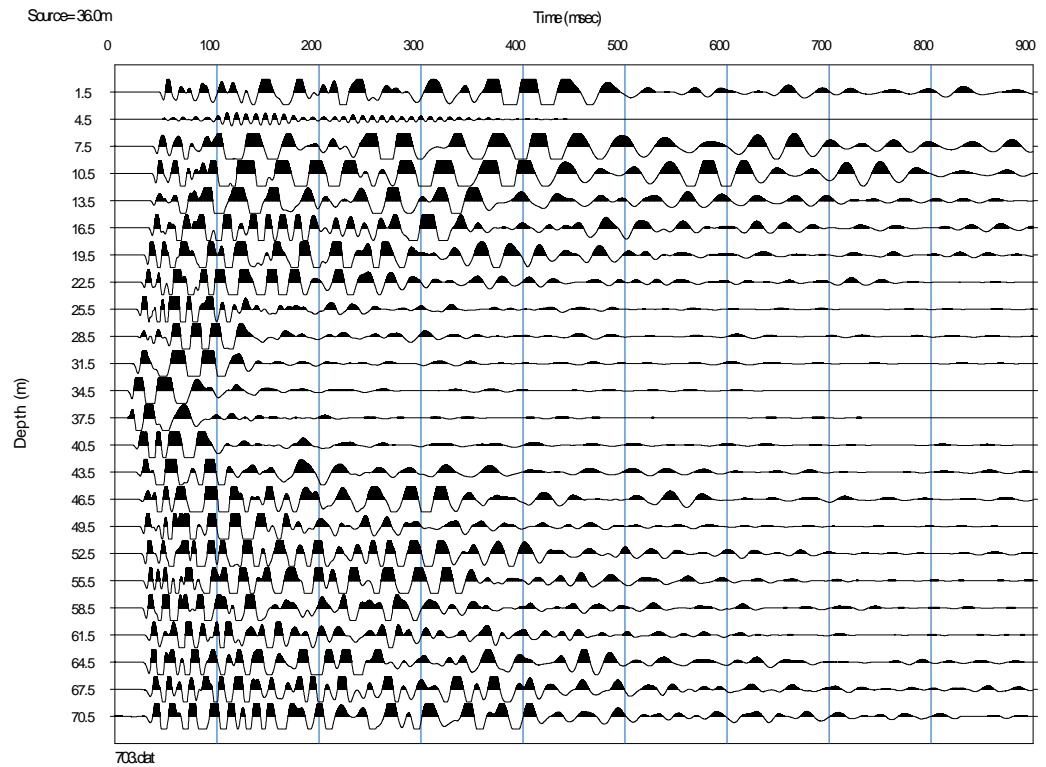
## Anexo 1.1 – Registros de Ondas Sísmicas – Refracción Sísmica

### **ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA - REGISTROS SÍSMICOS, Redpath (1973)**

En la LRS-04, se aprecia el registro sísmico de un ensayo de refracción sísmica, en el cual se utilizaron 24 geófonos

Espaciados equidistantes cada 3 m.

Línea: LRS-04  
Registro: 703  
Shot: 02  
Estribo: Derecho

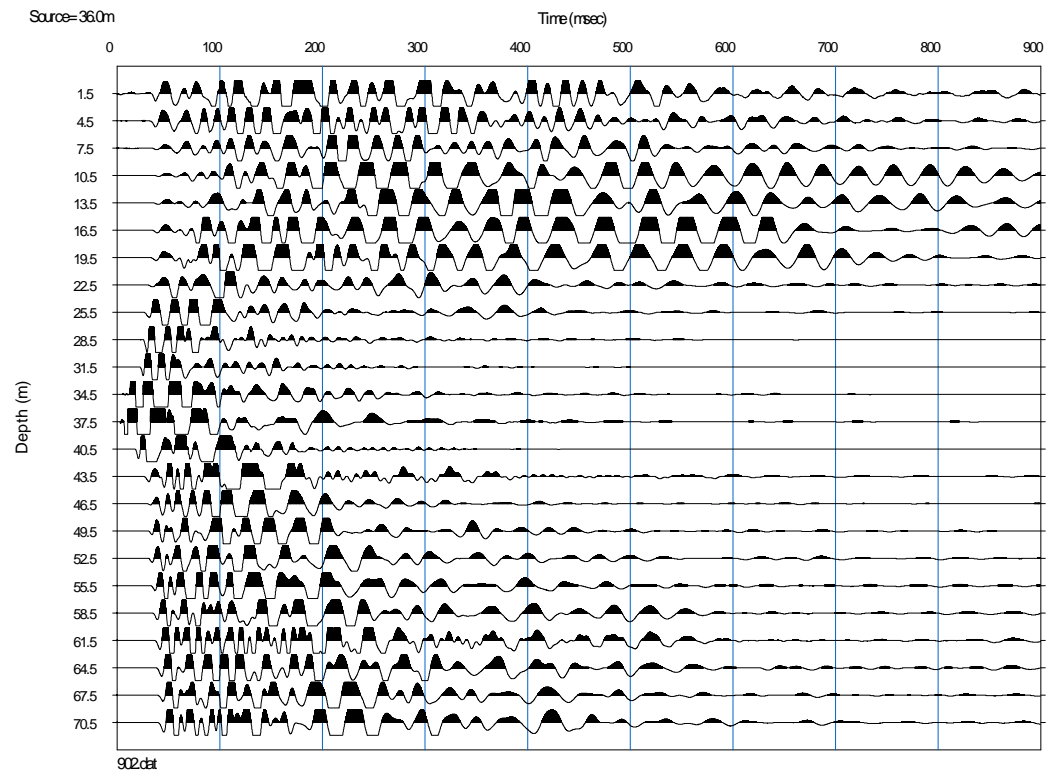


## Anexo 1.1 – Registros de Ondas Sísmicas – Refracción Sísmica

### **ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA - REGISTROS SÍSMICOS, Redpath (1973)**

En la LRS-05, se aprecia el registro sísmico de un ensayo de refracción sísmica, en el cual se utilizaron 24 geófonos espaciados equidistantes cada 3 m.

Línea: LRS-05  
Registro: 902  
Shot: 02  
Estribo: Derecho



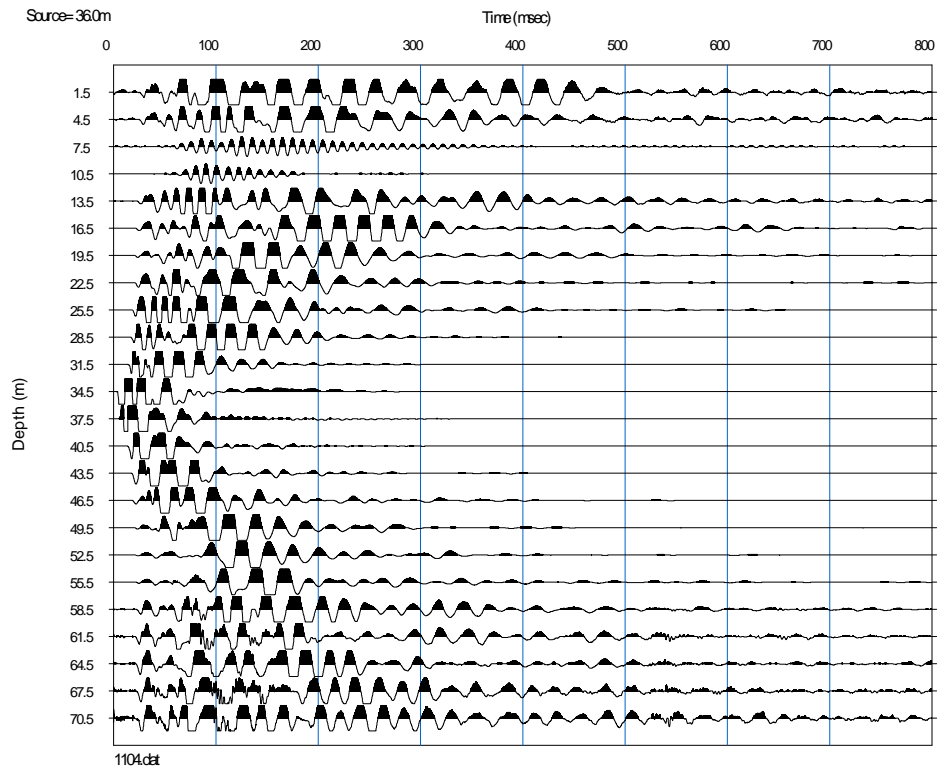


## Anexo 1.1 – Registros de Ondas Sísmicas – Refracción Sísmica

### **ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA - REGISTROS SÍSMICOS, Redpath (1973)**

En la LRS-06, se aprecia el registro sísmico de un ensayo de refracción sísmica, en el cual se utilizaron 24 geófonos espaciados equidistantes cada 3 m.

Línea: LRS-06  
Registro: 1104  
Shot: 02  
Estribo: Derecho



## **Anexo 1.2**

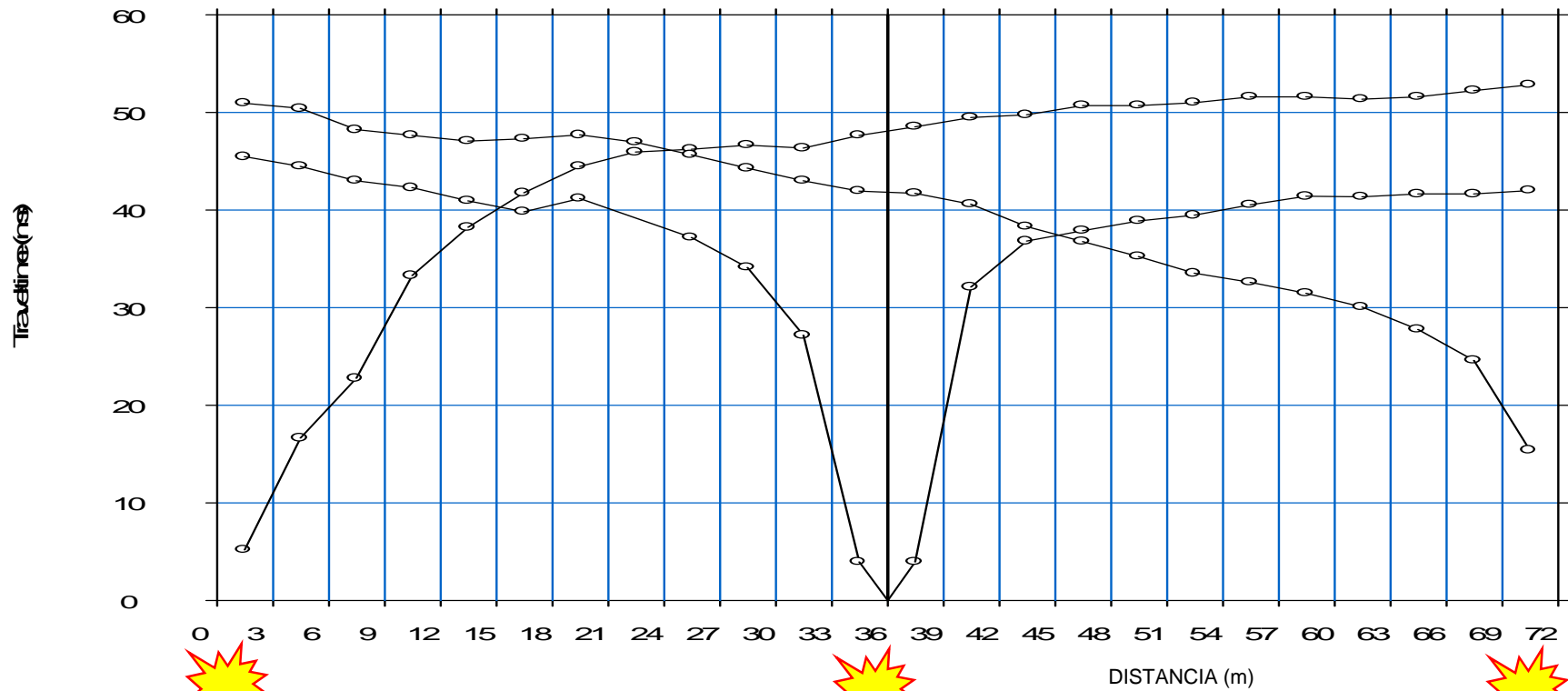
### **Dromocrónicas**

---

## Anexo 1.2 – Dromocrónicas

### ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA - DROMOCRÓNICAS, Astier JL (1975)

En la LRS-01, se muestra los tiempos de llegada de los geófonos después de los shots en el inicio, medio y final de la línea sísmica. Ubicación del Ensayo: Estribo Izquierdo.



Inicio del Golpe - Fuente Sísmica

Shot: 01  
Ubicación de la Fuente: 0.0 m

Golpe Medio - Fuente Sísmica

Shot: 02  
Ubicación de la Fuente: 36.0 m

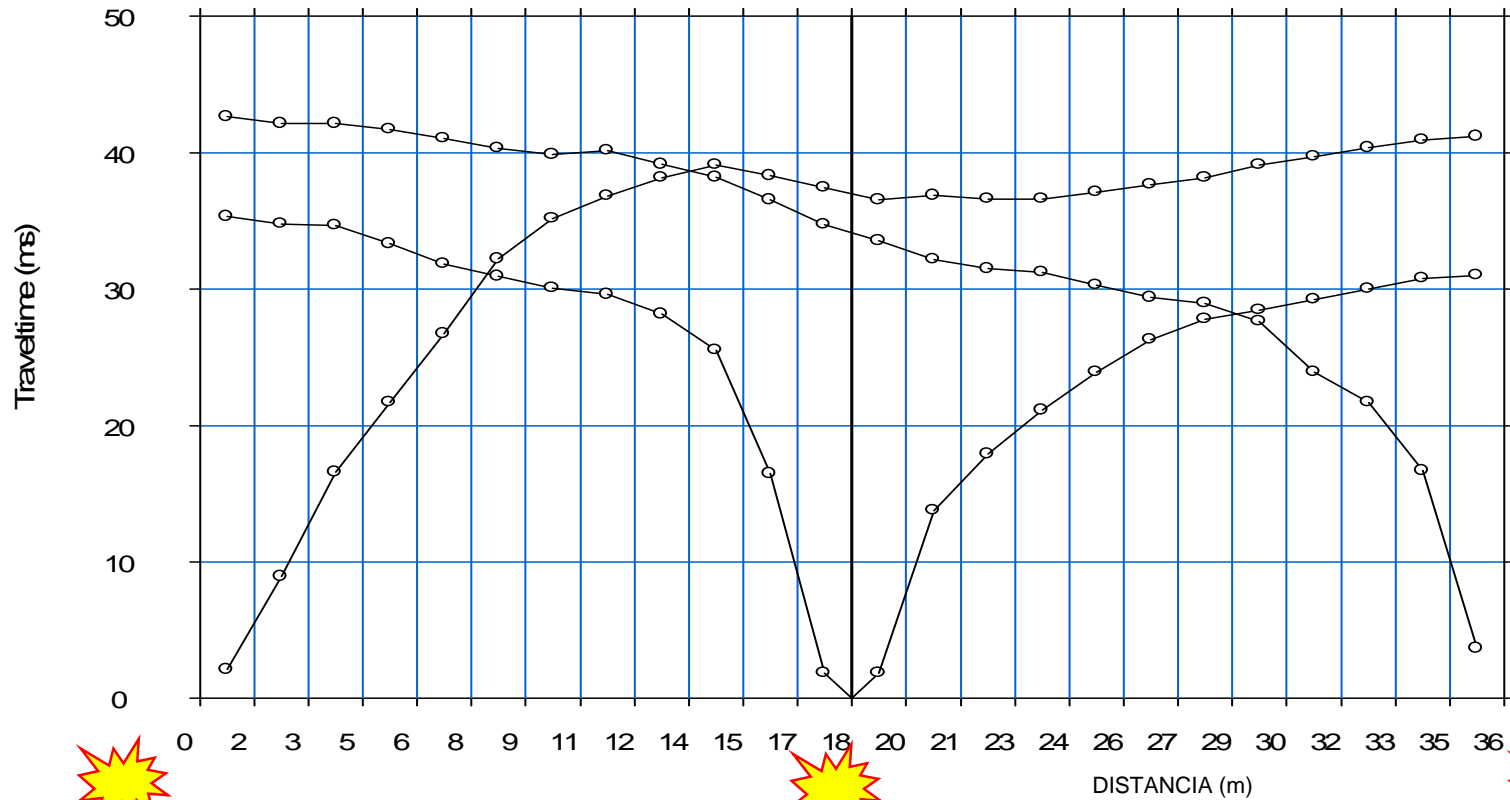
Golpe Final - Fuente Sísmica

Shot: 03  
Ubicación de la Fuente: 72.0 m

## Anexo 1.2 – Dromocrónicas

### ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA - DROMOCRÓNICAS, Astier JL (1975)

En la LRS-02, se muestra los tiempos de llegada de los geófonos después de los shots en el inicio, medio y final de la línea sísmica. Ubicación del Ensayo: Estribo Izquierdo.



Inicio del Golpe - Fuente Sísmica

Shot: 01  
Ubicación de la Fuente: 0.0 m

Golpe Medio - Fuente Sísmica

Shot: 02  
Ubicación de la Fuente: 18.0 m

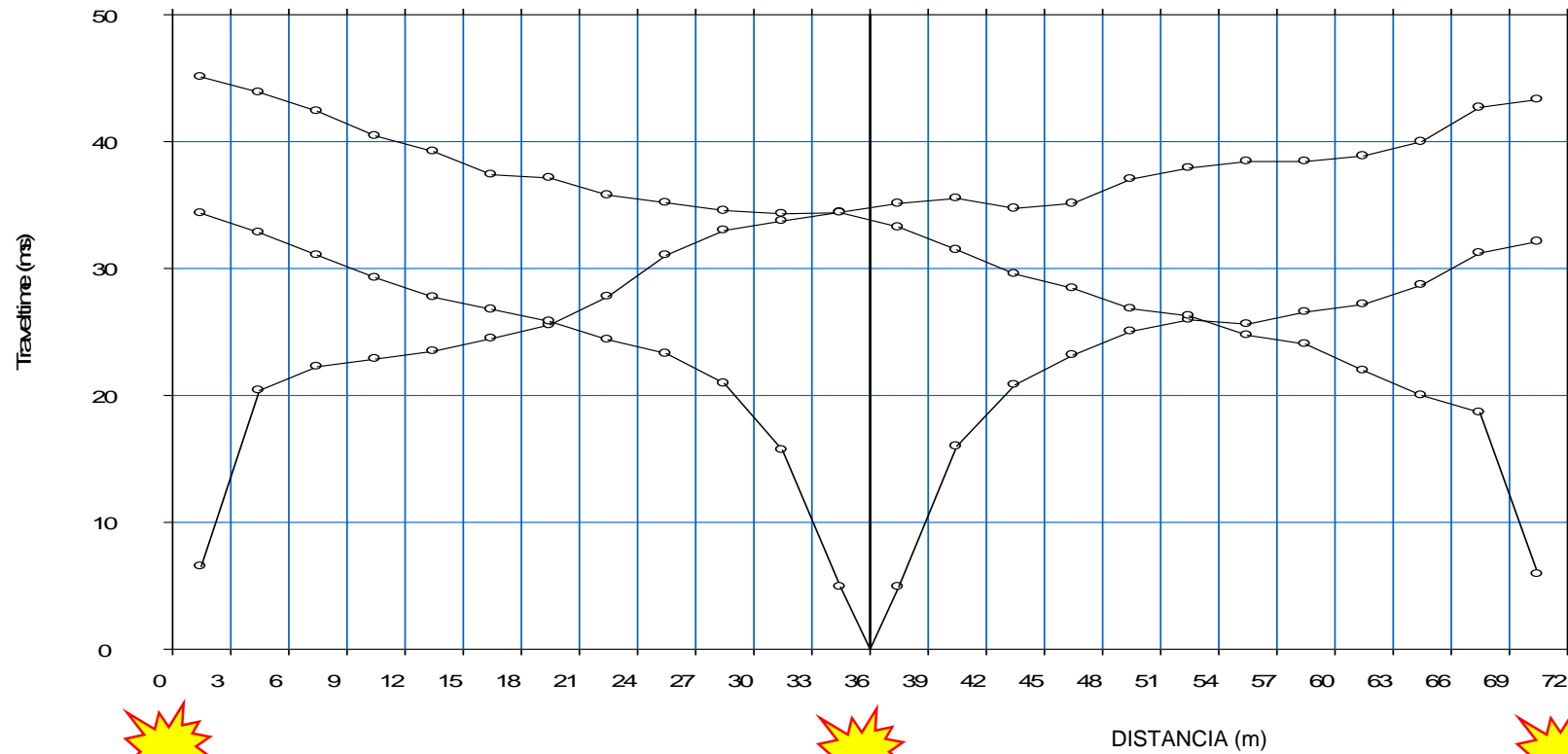
Golpe Final - Fuente Sísmica

Shot: 03  
Ubicación de la Fuente: 36.0 m

## Anexo 1.2 – Dromocrónicas

### ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA - DROMOCRÓNICAS, Astier JL (1975)

En la LRS-03, se muestra los tiempos de llegada de los geófonos después de los shots en el inicio, medio y final de la línea sísmica. Ubicación del Ensayo: Estribo Izquierdo.



Inicio del Golpe - Fuente Sísmica

Shot: 01  
Ubicación de la Fuente: 0.0 m

Golpe Medio - Fuente Sísmica

Shot: 02  
Ubicación de la Fuente: 36.0 m

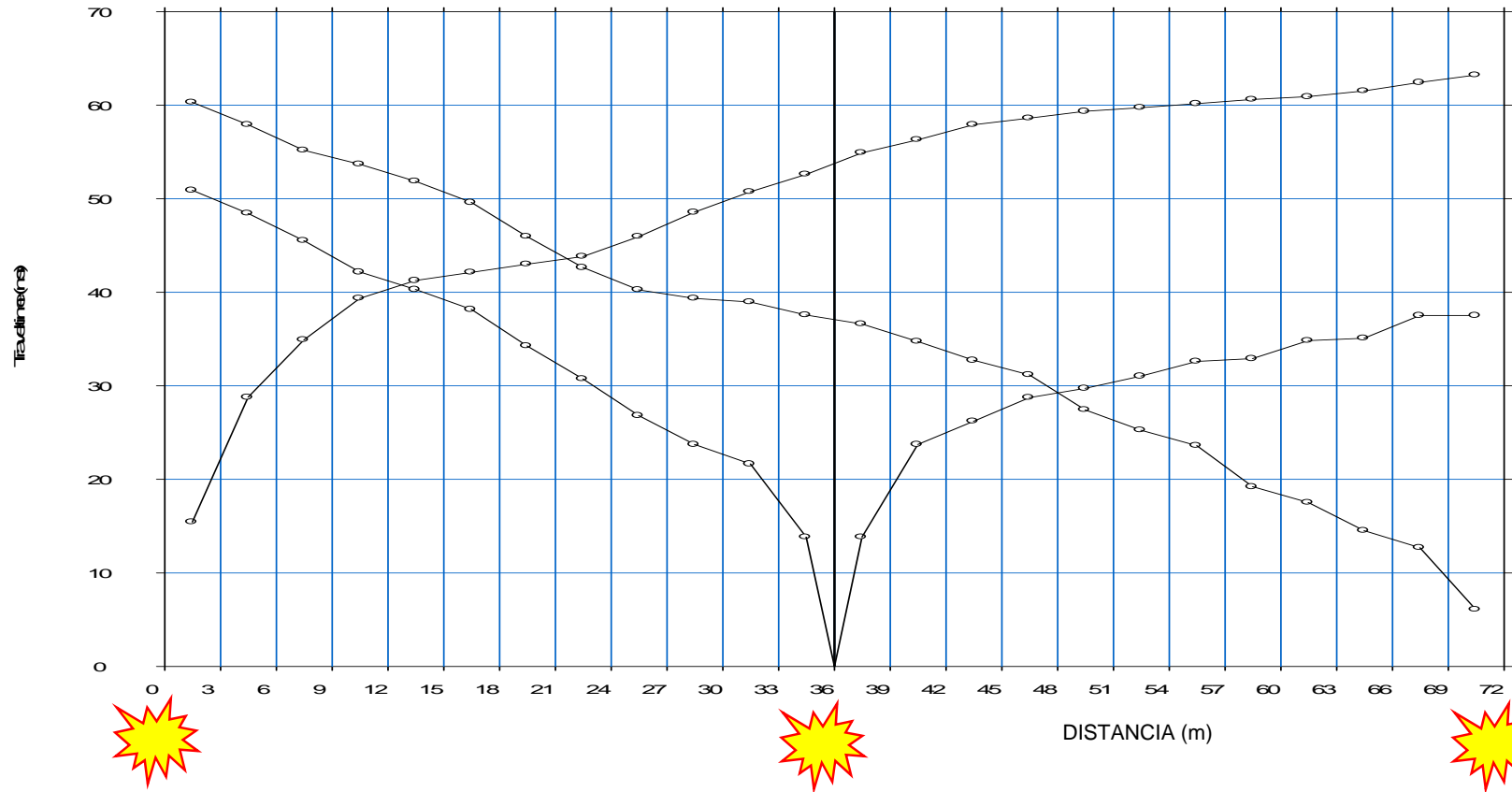
Golpe Final - Fuente Sísmica

Shot: 03  
Ubicación de la Fuente: 72.0 m

## Anexo 1.2 – Dromocrónicas

### ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA - DROMOCRÓNICAS, Astier JL (1975)

En la LRS-04, se muestra los tiempos de llegada de los geófonos después de los shots en el inicio, medio y final de la línea sísmica. Ubicación del Ensayo: Estribo Derecho.



Inicio del Golpe - Fuente Sísmica

Shot: 01  
Ubicación de la Fuente: 0.0 m

Golpe Medio - Fuente Sísmica

Shot: 02  
Ubicación de la Fuente: 36.0 m

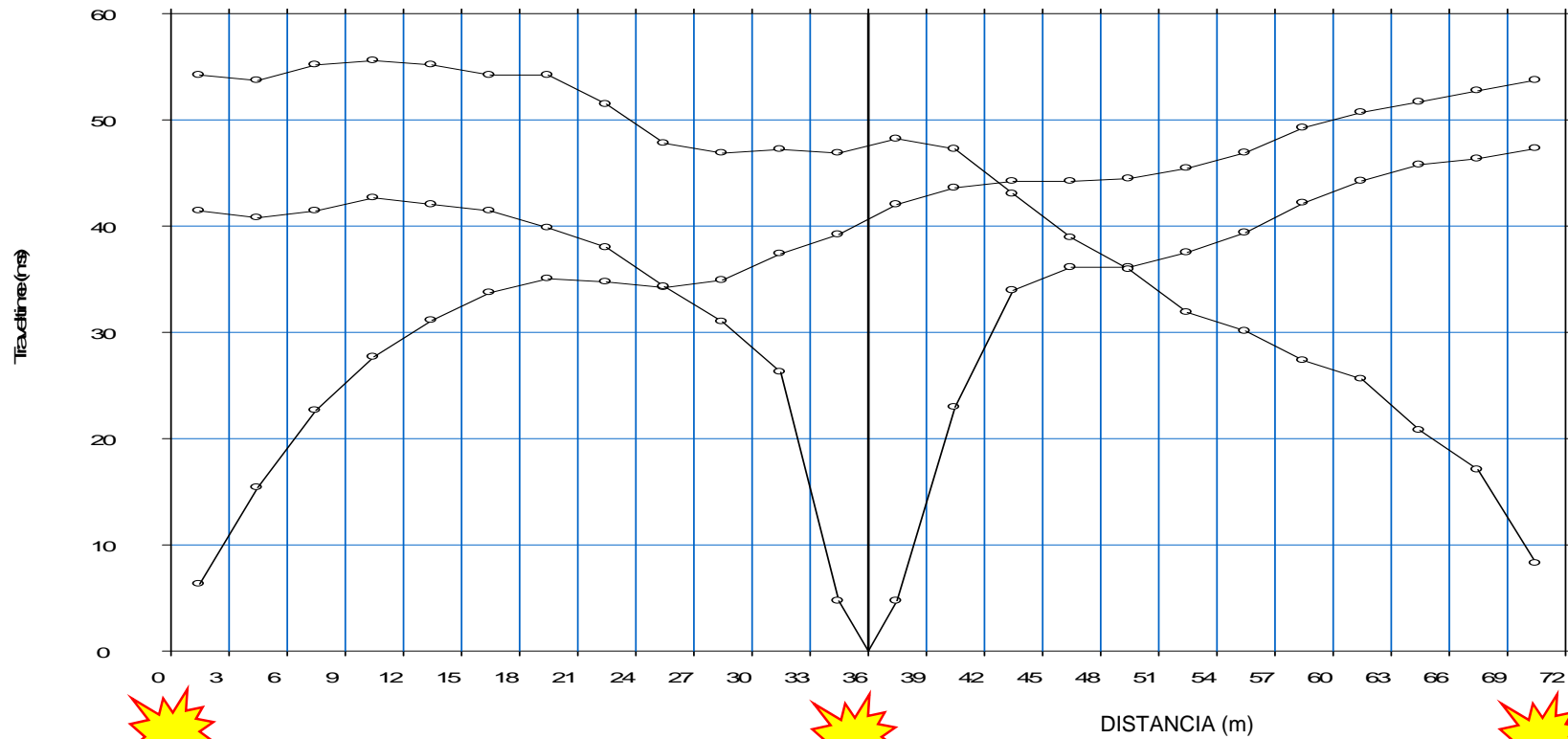
Golpe Final - Fuente Sísmica

Shot: 03  
Ubicación de la Fuente: 72.0 m

## Anexo 1.2 – Dromocrónicas

### ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA - DROMOCRÓNICAS, Astier JL (1975)

En la LRS-05, se muestra los tiempos de llegada de los geófonos después de los shots en el inicio, medio y final de la línea sísmica. Ubicación del Ensayo: Estribo Derecho.



Inicio del Golpe - Fuente Sísmica

Shot: 01  
Ubicación de la Fuente: 0.0 m

Golpe Medio - Fuente Sísmica

Shot: 02  
Ubicación de la Fuente: 36.0 m

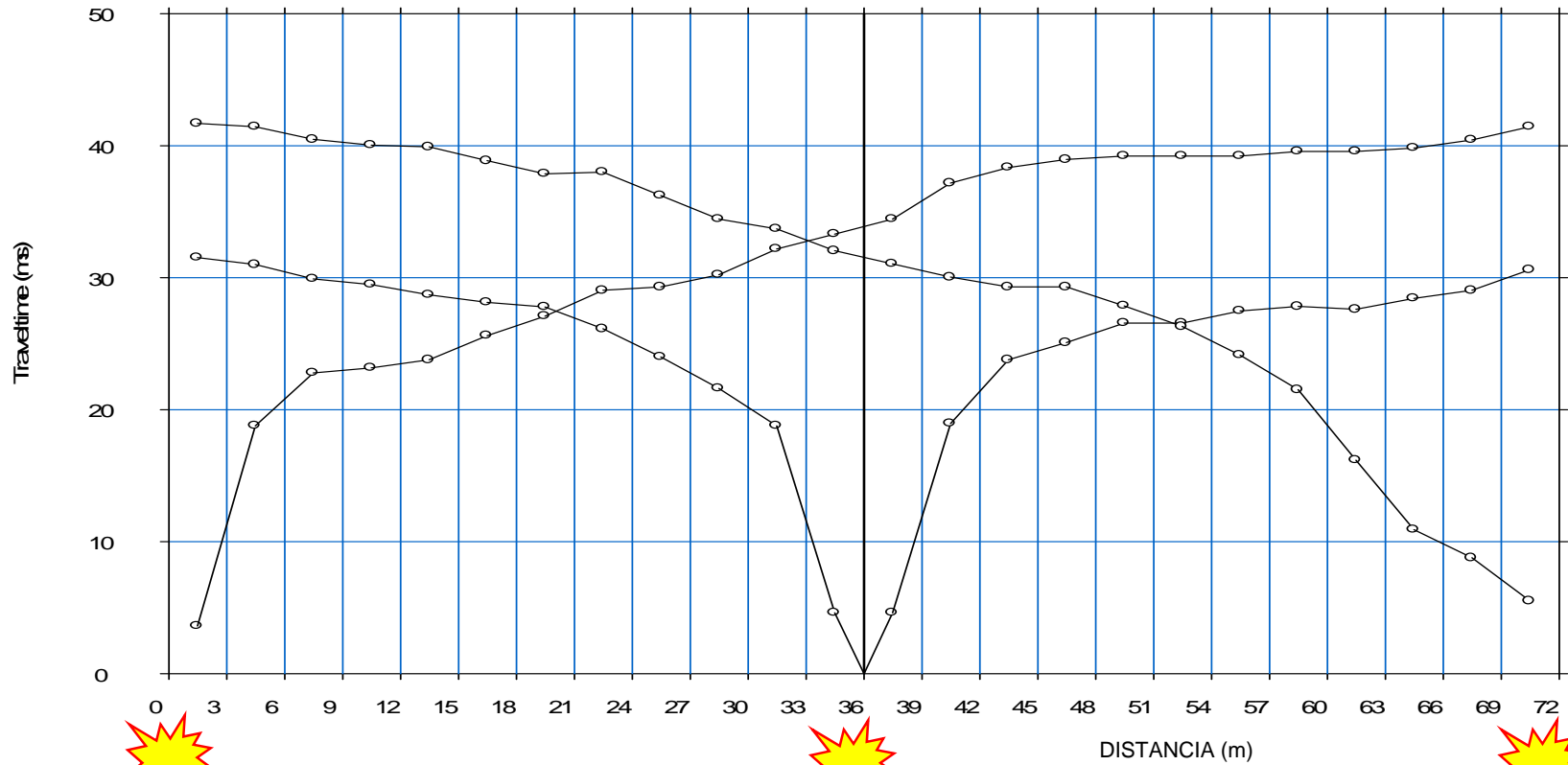
Golpe Final - Fuente Sísmica

Shot: 03  
Ubicación de la Fuente: 72.0 m

## Anexo 1.2 – Dromocrónicas

### ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA - DROMOCRÓNICAS, Astier JL (1975)

En la LRS-06, se muestra los tiempos de llegada de los geófonos después de los shots en el inicio, medio y final de la línea sísmica. Ubicación del Ensayo: Estribo Derecho.



Inicio del Golpe - Fuente Sísmica

Shot: 01  
Ubicación de la Fuente: 0.0 m

Golpe Medio - Fuente Sísmica

Shot: 02  
Ubicación de la Fuente: 36.0 m

Golpe Final - Fuente Sísmica

Shot: 03  
Ubicación de la Fuente: 72.0 m



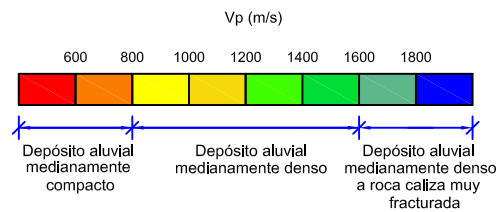
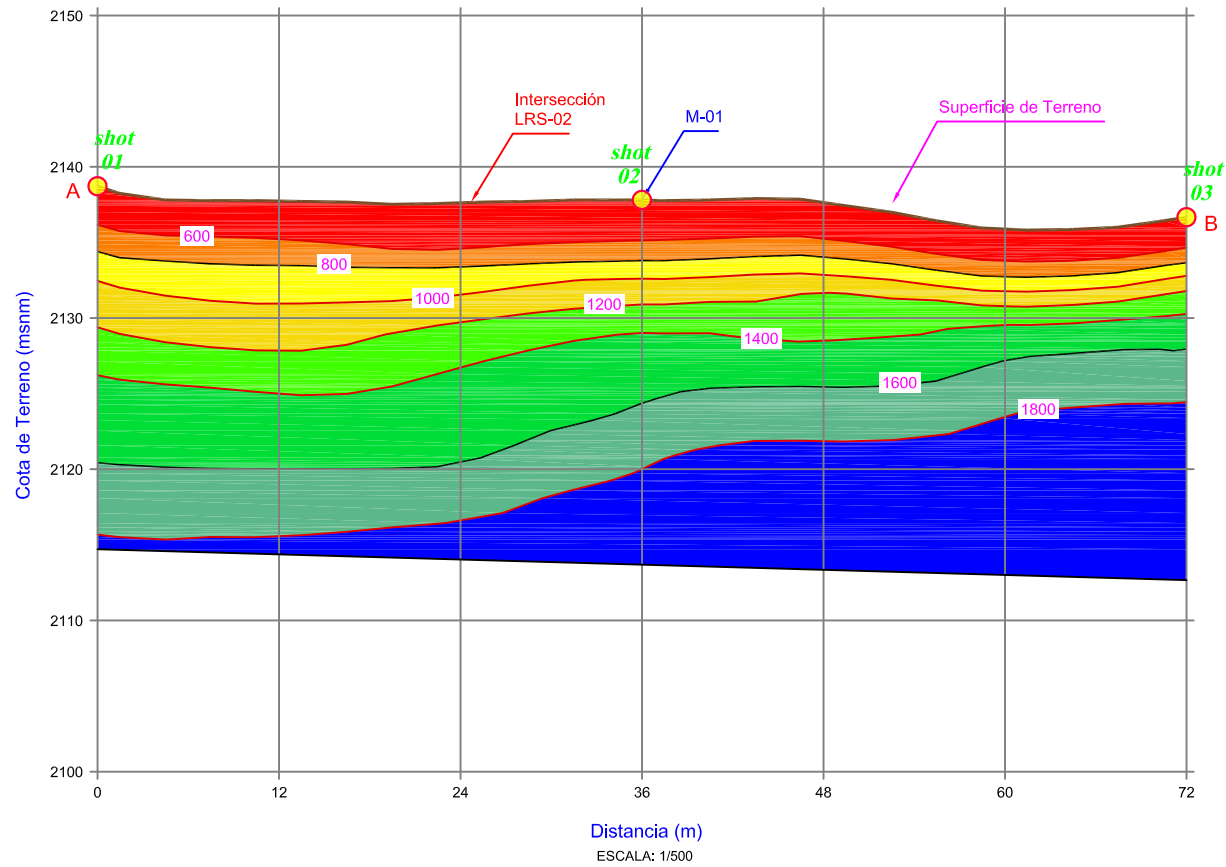
## **Anexo 1.3**

### **Perfiles Tomográficos**

---

# ANEXO 1.3. PERFIL SÍSMICO DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICAS.

## PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-01



LEYENDA	
	Superficie del terreno
	Estratos
	Shot - Golpe con comba
	LRS-00 Líneas de Refracción Sísmica
	MASW-00 Sondajes MASW
	M-00 Unión de los sondajes MASW y MAM

CLIENTE:

ANEXO 1.3 :

PERFIL SÍSMICO DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICAS

TÍTULO DE PLANO:

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-01

UBICACION :

PAIS: PERU  
 DEPARTAMENTO: AYACUCHO-APURÍMAC  
 PROVINCIA: VILCASHUAMAN-CHINCHEROS  
 DISTRITO: SAURAMA Y URANMARCA  
 LOCALIDAD: INCACHACA Y CHACABAMBA

ENCARGADOS :

TESISTA: ARTURO S. ZEVALLOS FLORES  
 ASESOR: Phd. MOHAMED M. HADI MOHAMED

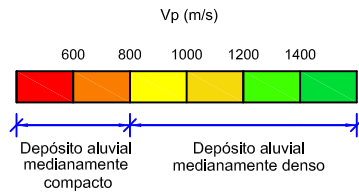
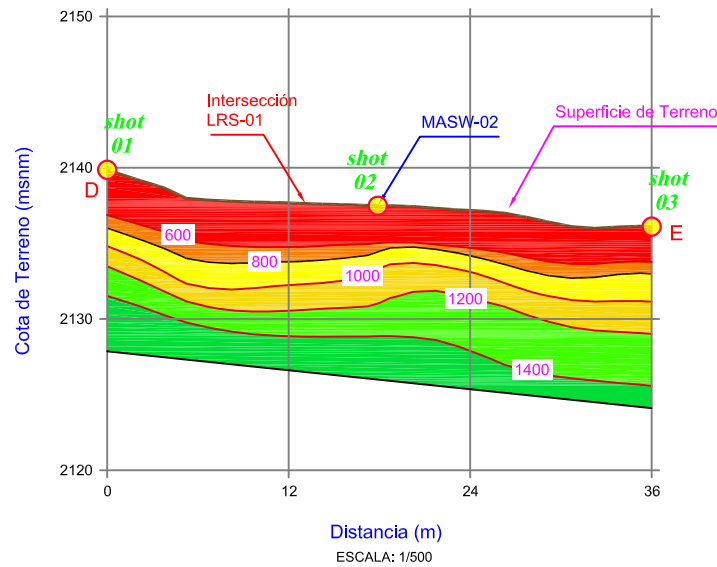
LAMINA:

L-01


FECHA : JUNIO, 2016      ESCALA : INDICADA

# ANEXO 1.3. PERFIL SÍSMICO DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICAS.


## PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-02



LEYENDA	
	Superficie del terreno
	Estratos
	Shot - Golpe con comba
<b>LRS-00</b>	Líneas de Refracción Sísmica
<b>MASW-00</b>	Sondajes MASW
<b>M-00</b>	Unión de los sondajes MASW y MAM



**CLIENTE:**



**ANEXO 1.3 :**

**PERFIL SÍSMICO DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICAS**

**TÍTULO DE PLANO:**

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-02

**UBICACION :**

PAIS: PERU  
 DEPARTAMENTO: AYACUCHO-APURÍMAC  
 PROVINCIA: VILCASHUAMAN-CHINCHEROS  
 DISTRITO: SAURAMA Y URANMARCA  
 LOCALIDAD: INCACHACA Y CHACABAMBA

**ENCARGADOS :**

TESISTA: ARTURO S. ZEVALLOS FLORES  
 ASESOR: PHD. MOHAMED M. HADI MOHAMED

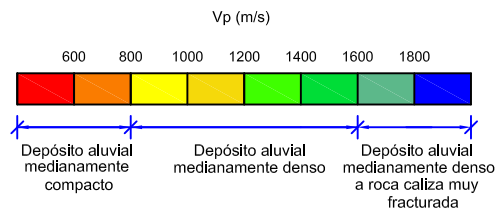
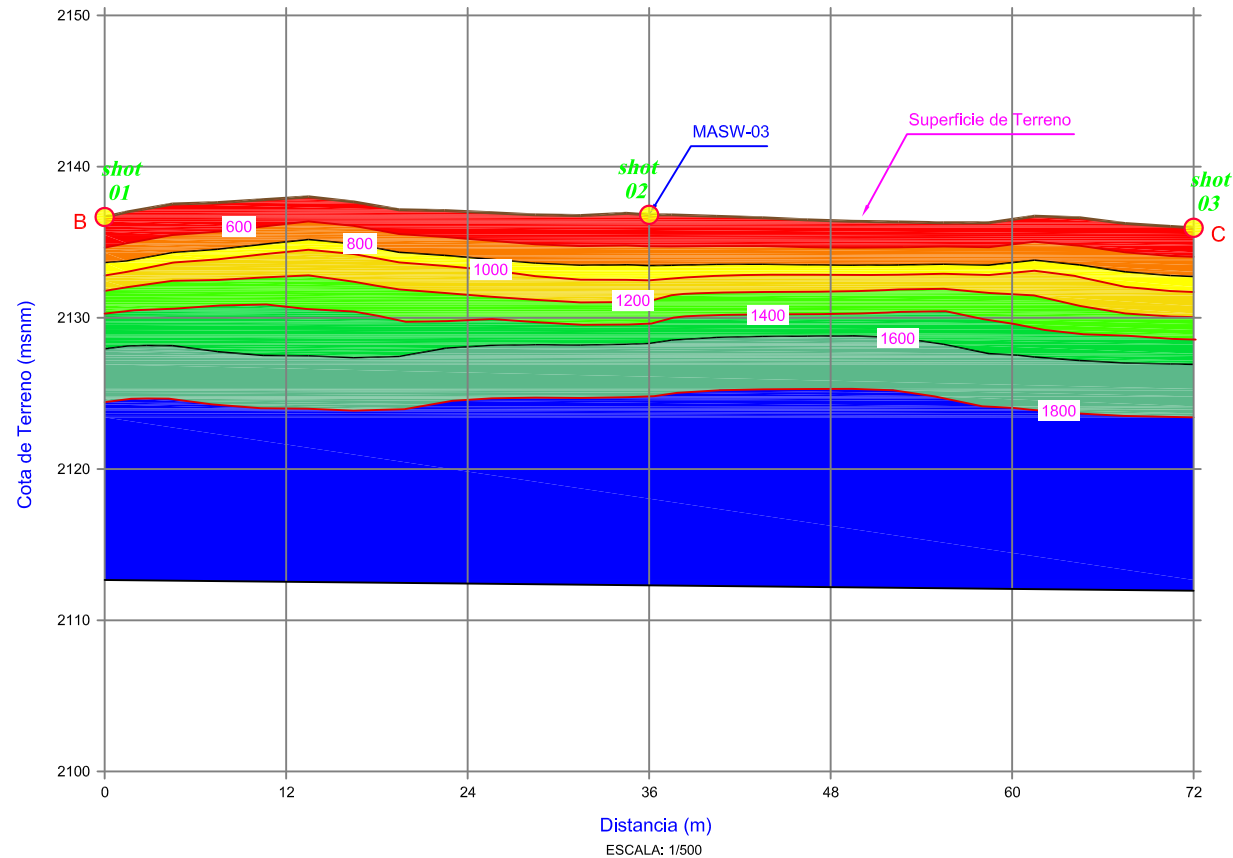
**LAMINA:**

L-02


**FECHA :** JUNIO, 2016      **ESCALA :** INDICADA

# ANEXO 1.3. PERFIL SÍSMICO DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICAS.


## PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-03



LEYENDA	
	Superficie del terreno
	Estratos
	Shot - Golpe con comba
	LRS-00 Líneas de Refracción Sísmica
	MASW-00 Sondajes MASW
	M-00 Unión de los sondajes MASW y MAM



CLIENTE:



ANEXO 1.3 :

PERFIL SÍSMICO DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICAS

TÍTULO DE PLANO:

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-03

UBICACION :

PAIS: PERU  
 DEPARTAMENTO: AYACUCHO-APURÍMAC  
 PROVINCIA: VILCASHUAMAN-CHINCHEROS  
 DISTRITO: SAURAMA Y URANMARCA  
 LOCALIDAD: INCACHACA Y CHACABAMBA

ENCARGADOS :

TESISTA: ARTURO S. ZEVALLOS FLORES  
 ASESOR: PHD. MOHAMED M. HADI MOHAMED

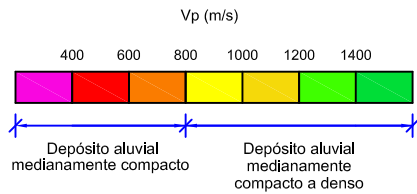
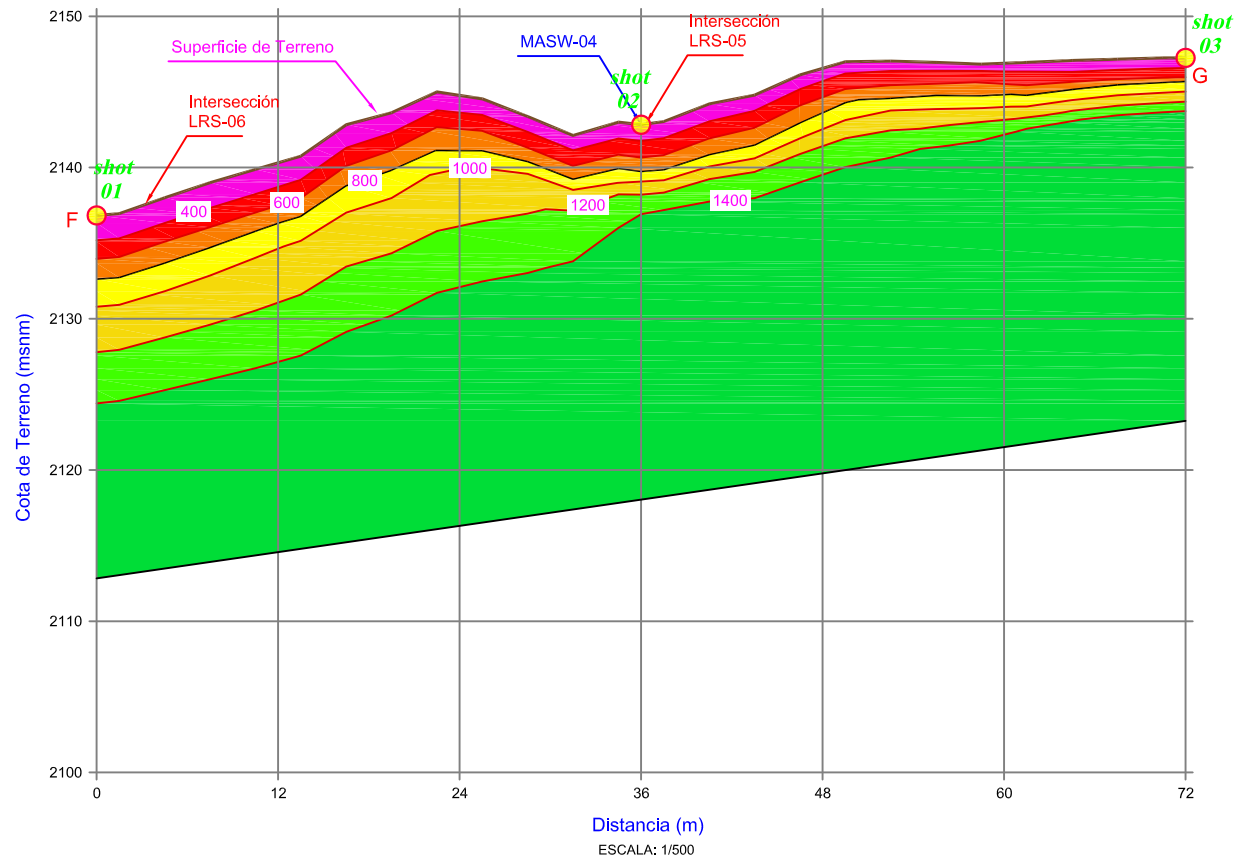
LAMINA:

L-03


FECHA : JUNIO, 2016      ESCALA : INDICADA

# ANEXO 1.3. PERFIL SÍSMICO DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICAS.

## PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-04




LEYENDA	
	Superficie del terreno
	Estratos
	Shot - Golpe con comba
	LRS-00 Líneas de Refracción Sísmica
	MASW-00 Sondajes MASW
	M-00 Unión de los sondajes MASW y MAM



---

CLIENTE:



---

ANEXO 1.3 :

PERFIL SÍSMICO DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICAS

---

TÍTULO DE PLANO:

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-04

---

UBICACION :

PAIS: PERU  
 DEPARTAMENTO: AYACUCHO-APURÍMAC  
 PROVINCIA: VILCASHUAMAN-CHINCHEROS  
 DISTRITO: SAURAMA Y URANMARCA  
 LOCALIDAD: INCACHACA Y CHACABAMBA

---

ENCARGADOS :

TESISTA: ARTURO S. ZEVALLOS FLORES  
 ASESOR: Ph.D. MOHAMED M. HADI MOHAMED

---

LAMINA:

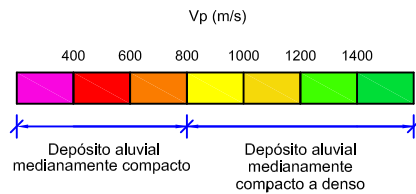
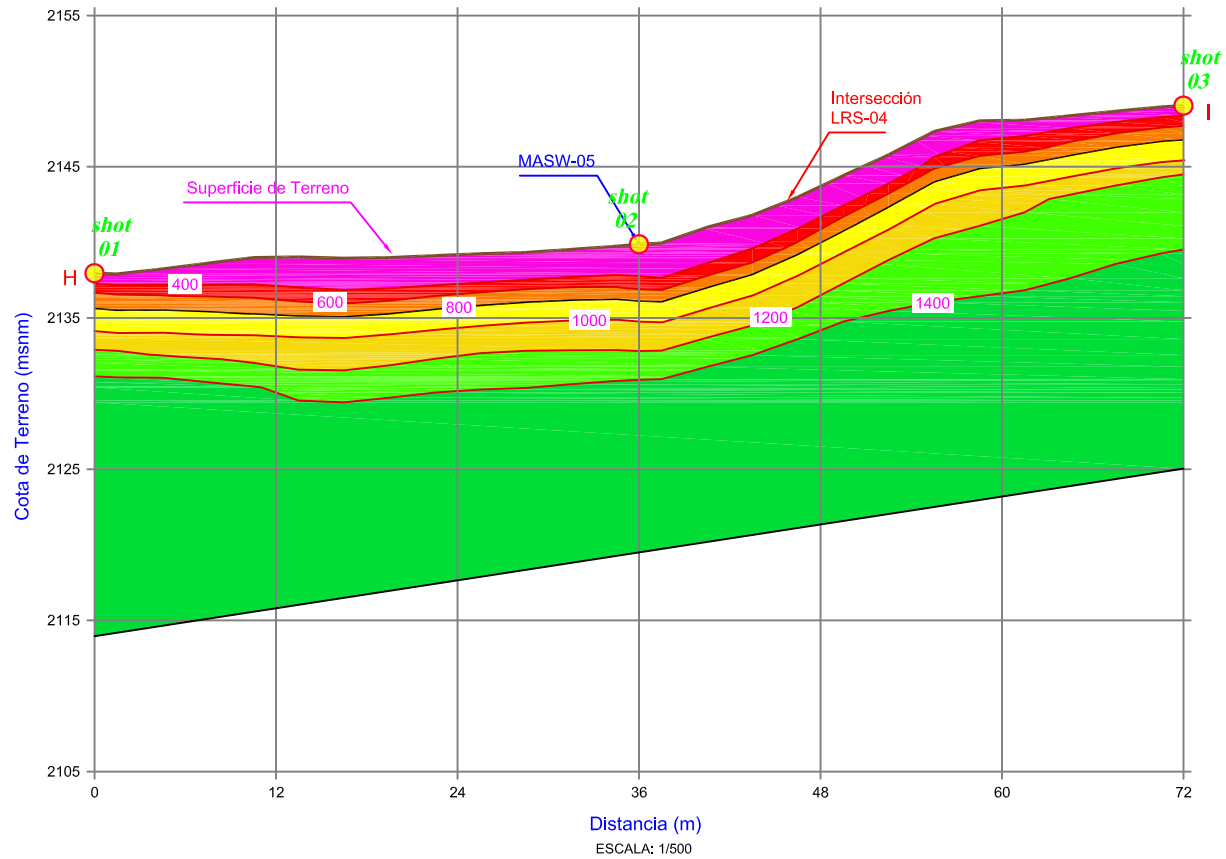
L-04

---


FECHA : JUNIO, 2016	ESCALA : INDICADA
---------------------	-------------------

# ANEXO 1.3. PERFIL SÍSMICO DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICAS.


## PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-05



LEYENDA	
	Superficie del terreno
	Estratos
	Shot - Golpe con comba
<b>LRS-00</b>	Líneas de Refracción Sísmica
<b>MASW-00</b>	Sondajes MASW
<b>M-00</b>	Unión de los sondajes MASW y MAM



CLIENTE:



ANEXO 1.3 :

PERFIL SÍSMICO DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICAS

TÍTULO DE PLANO:

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-05

UBICACION :

PAIS: PERU

DEPARTAMENTO: AYACUCHO-APURÍMAC

PROVINCIA: VILCASHUAMAN-CHINCHEROS

DISTRITO: SAURAMA Y URANMARCA

LOCALIDAD: INCACHACA Y CHACABAMBA

ENCARGADOS :

TESISTA: ARTURO S. ZEVALLOS FLORES

ASESOR: PHD. MOHAMED M. HADI MOHAMED

LAMINA:

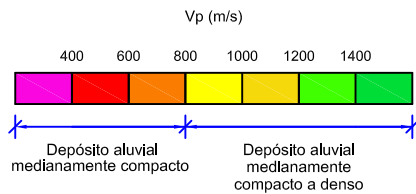
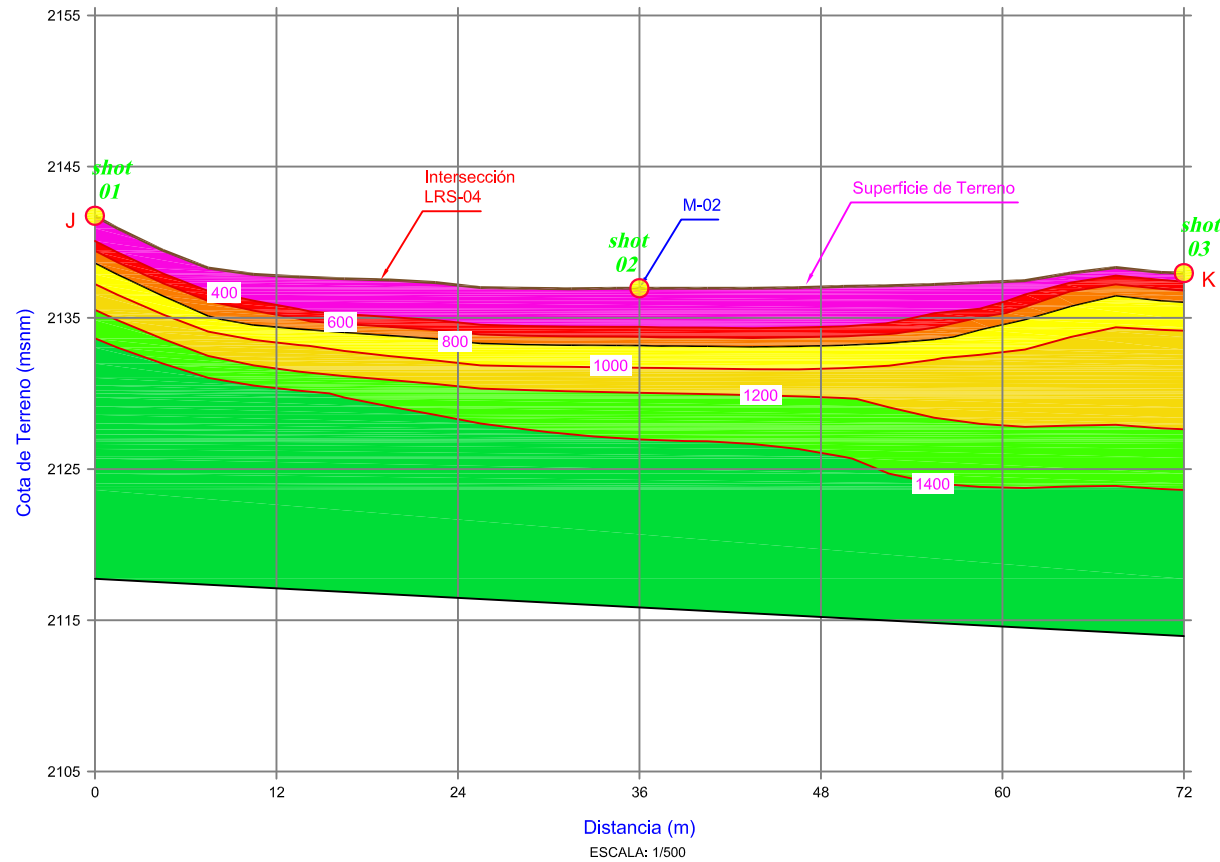
L-05

FECHA : JUNIO, 2016


ESCALA : INDICADA

# ANEXO 1.3. PERFIL SÍSMICO DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICAS.


## PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-06



LEYENDA	
	Superficie del terreno
	Estratos
	Shot - Golpe con comba
	LRS-00 Líneas de Refracción Sísmica
	MASW-00 Sondajes MASW
	M-00 Unión de los sondajes MASW y MAM



CLIENTE:



ANEXO 1.3 :

PERFIL SÍSMICO DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICAS

TÍTULO DE PLANO:

PERFIL SÍSMICO LÍNEA LRS-06

UBICACION :

PAIS: PERU  
 DEPARTAMENTO: AYACUCHO-APURÍMAC  
 PROVINCIA: VILCASHUAMAN-CHINCHEROS  
 DISTRITO: SAURAMA Y URANMARCA  
 LOCALIDAD: INCACHACA Y CHACABAMBA

ENCARGADOS :

TESISTA: ARTURO S. ZEVALLOS FLORES  
 ASESOR: Ph.D. MOHAMED M. HADI MOHAMED

LAMINA:

L-06

FECHA : JUNIO, 2016      ESCALA : INDICADA

**Anexo 2**  
**Ensayos Geofísicos – Sondajes**  
**MASW**

---



**Anexo 2.1**  
**Registros de ondas Sísmicas**  
**Sondajes MASW**

---

Anexo 2.1 – Registros de Ondas Sísmicas – Sondajes MASW

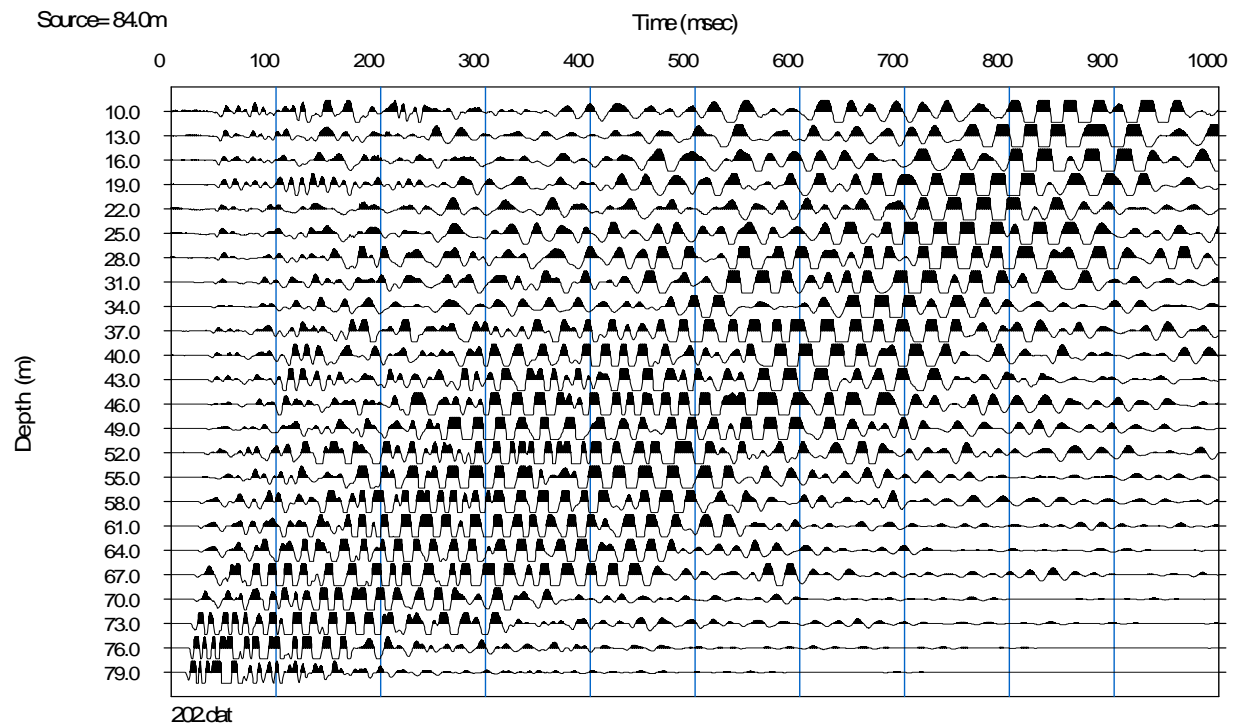
**ENSAYO MASW - THEORETICAL WAVEFORM, SAGEEP2003**

Sondaje MASW-01, se aprecia el registro sísmico del ensayo, en el cual se utilizaron 24 geófonos espaciados equidistantes cada 3 m.

Línea: MASW-01  
Registro: 202  
Shot: 03  
Estribo: Izquierdo

**Ubicación de los Impactos - Shot**

- Shot: 01 – 0.0 m
- Shot: 02 – 5.0 m
- Shot: 03 – 84.0 m**
- Shot: 04 – 89.0 m



## Anexo 2.1 – Registros de Ondas Sísmicas – Sondajes MASW

### ENSAYO MASW - THEORETICAL WAVEFORM, SAGEEP2003

Sondaje MASW-02, se aprecia el registro sísmico del ensayo, en el cual se utilizaron 24 geófonos espaciados equidistantes cada 1.5 m.

Línea: MASW-02

Registro: 405

Shot: 03

Estribo: Izquierdo

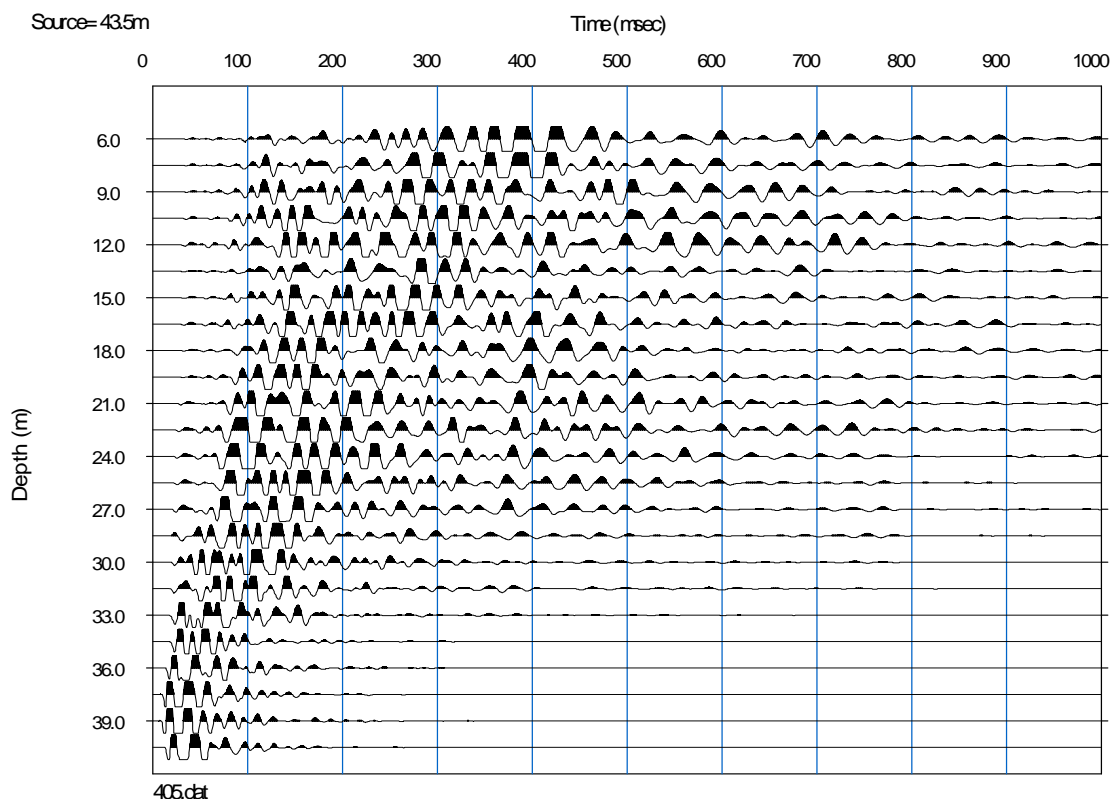
#### Ubicación de los Impactos - Shot

Shot: 01 – 0.0 m

Shot: 02 – 3.0 m

**Shot: 03 – 43.5 m**

Shot: 04 – 46.5 m



Anexo 2.1 – Registros de Ondas Sísmicas – Sondajes MASW

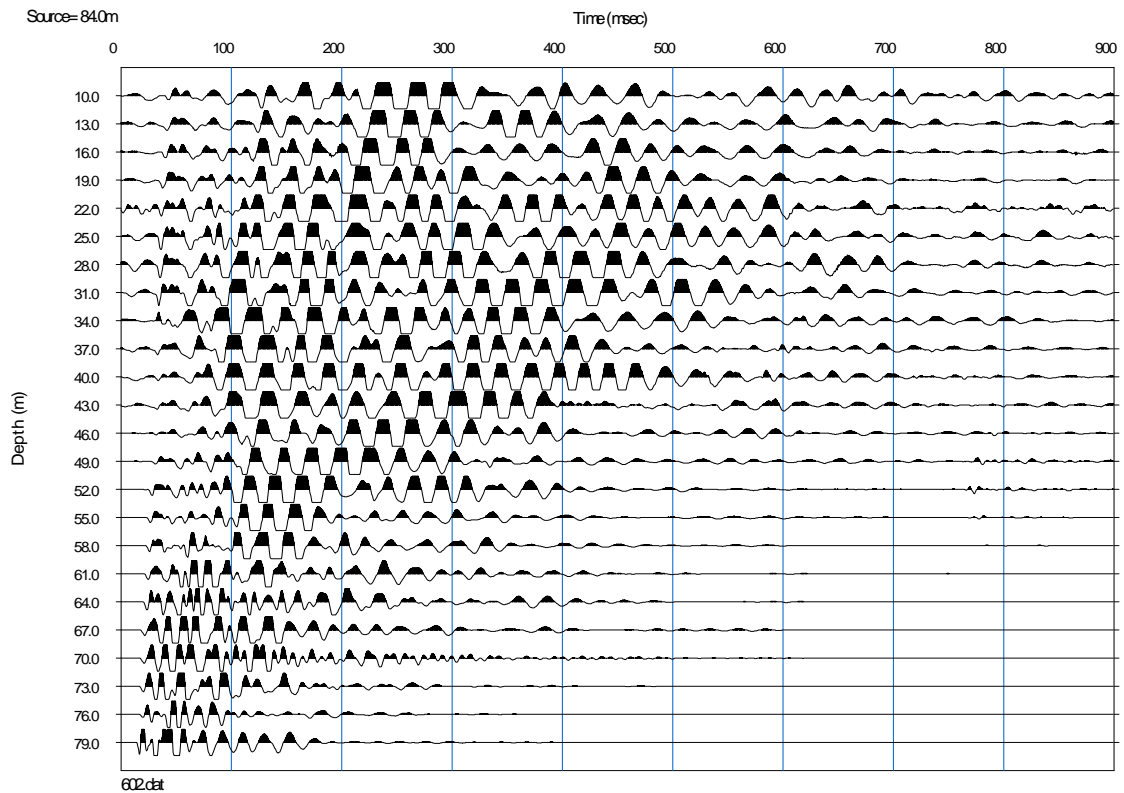
**ENSAYO MASW - THEORETICAL WAVEFORM, SAGEEP2003**

Sondaje MASW-03, se aprecia el registro sísmico del ensayo, en el cual se utilizaron 24 geófonos espaciados equidistantes cada 3 m.

Línea: MASW-03  
Registro: 602  
Shot: 03  
Estribo: Izquierdo

**Ubicación de los Impactos - Shot**

- Shot: 01 – 0.0 m
- Shot: 02 – 5.0 m
- Shot: 03 – 84.0 m**
- Shot: 04 – 89.0 m



Anexo 2.1 – Registros de Ondas Sísmicas – Sondajes MASW

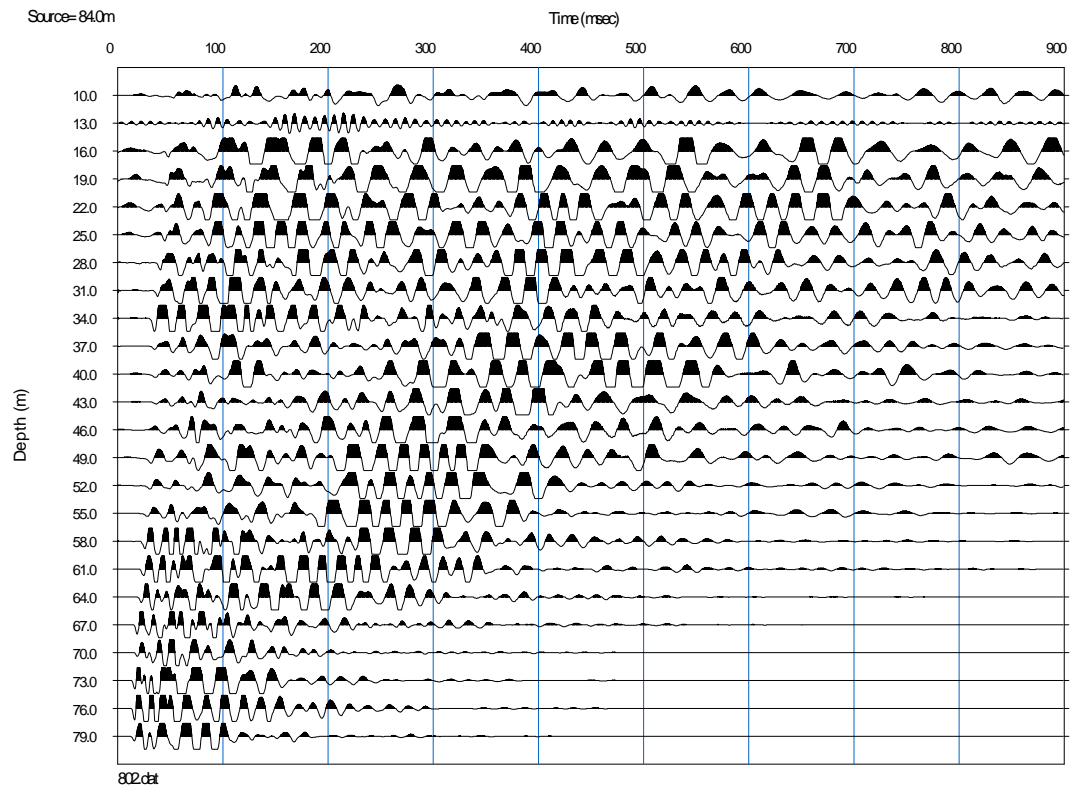
**ENSAYO MASW - THEORETICAL WAVEFORM, SAGEEP2003**

Sondaje MASW-04, se aprecia el registro sísmico del ensayo, en el cual se utilizaron 24 geófonos espaciados equidistantes cada 3 m.

Línea: MASW-04  
Registro: 802  
Shot: 03  
Estribo: Derecho

**Ubicación de los Impactos - Shot**

- Shot: 01 – 0.0 m
- Shot: 02 – 5.0 m
- Shot: 03 – 84.0 m**
- Shot: 04 – 89.0 m



## Anexo 2.1 – Registros de Ondas Sísmicas – Sondajes MASW

### ENSAYO MASW - THEORETICAL WAVEFORM, SAGEEP2003

Sondaje MASW-05, se aprecia el registro sísmico del ensayo, en el cual se utilizaron 24 geófonos espaciados equidistantes cada 3 m.

Línea: MASW-05

Registro: 1003

Shot: 01

Estribo: Derecho

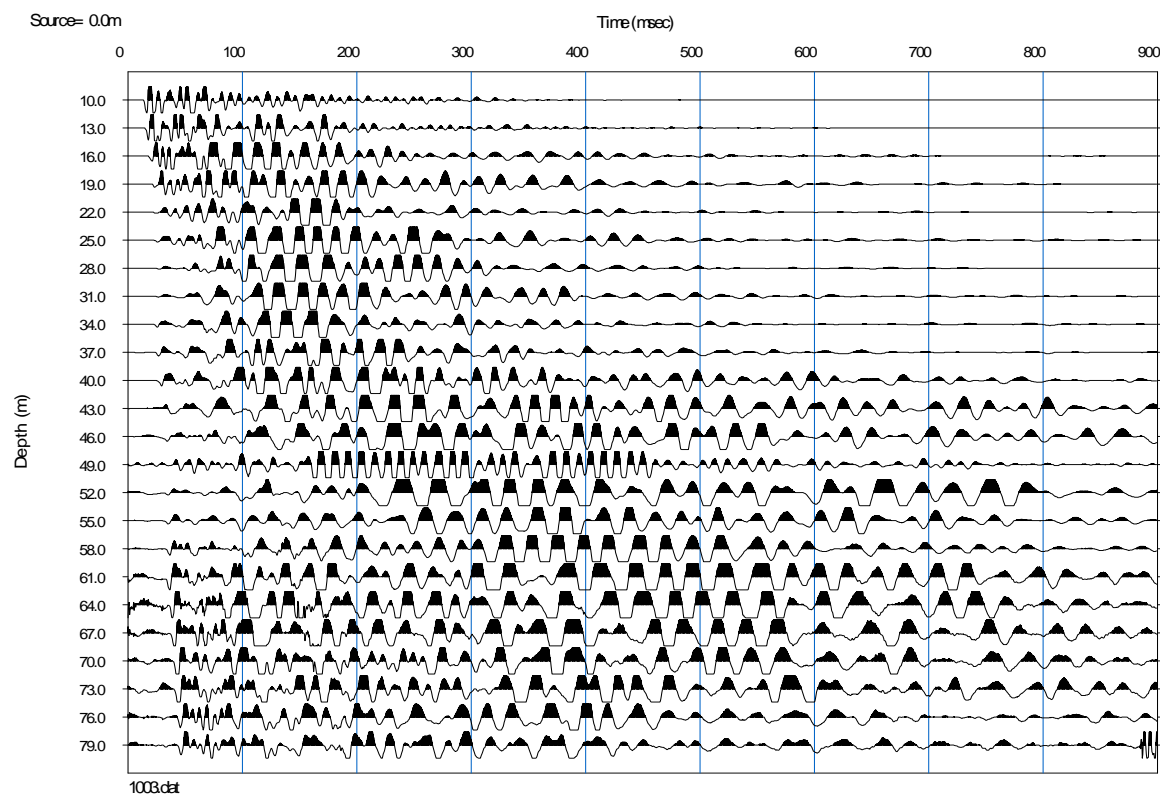
#### Ubicación de los Impactos - Shot

Shot: 01 – 0.0 m

Shot: 02 – 5.0 m

Shot: 03 – 84.0 m

Shot: 04 – 89.0 m



## Anexo 2.1 – Registros de Ondas Sísmicas – Sondajes MASW

### ENSAYO MASW - THEORETICAL WAVEFORM, SAGEEP2003

Sondaje MASW-06, se aprecia el registro sísmico del ensayo, en el cual se utilizaron 24 geófonos espaciados equidistantes cada 3 m.

Línea: MASW-06

Registro: 1203

Shot: 03

Estribo: Derecho

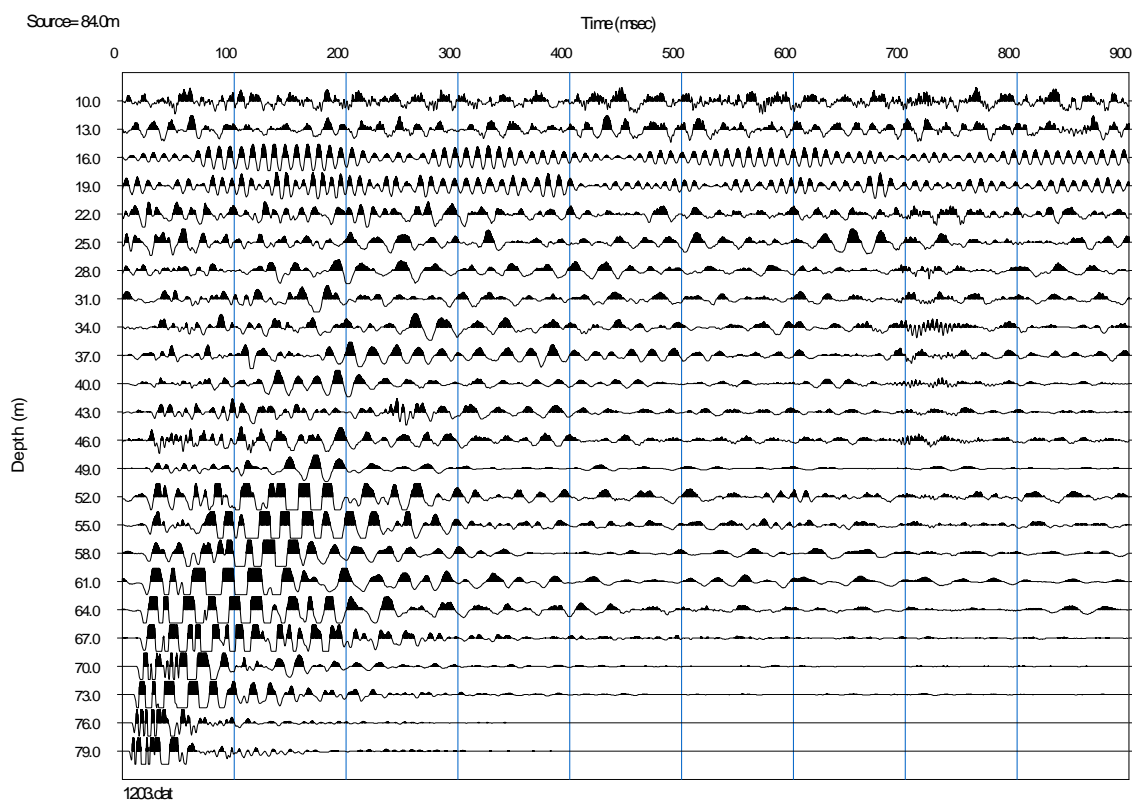
#### Ubicación de los Impactos - Shot

Shot: 01 – 0.0 m

Shot: 02 – 5.0 m

**Shot: 03 – 84.0 m**

Shot: 04 – 89.0 m



**Anexo 2.2**  
**Curvas de Dispersión**  
**MASW**

---

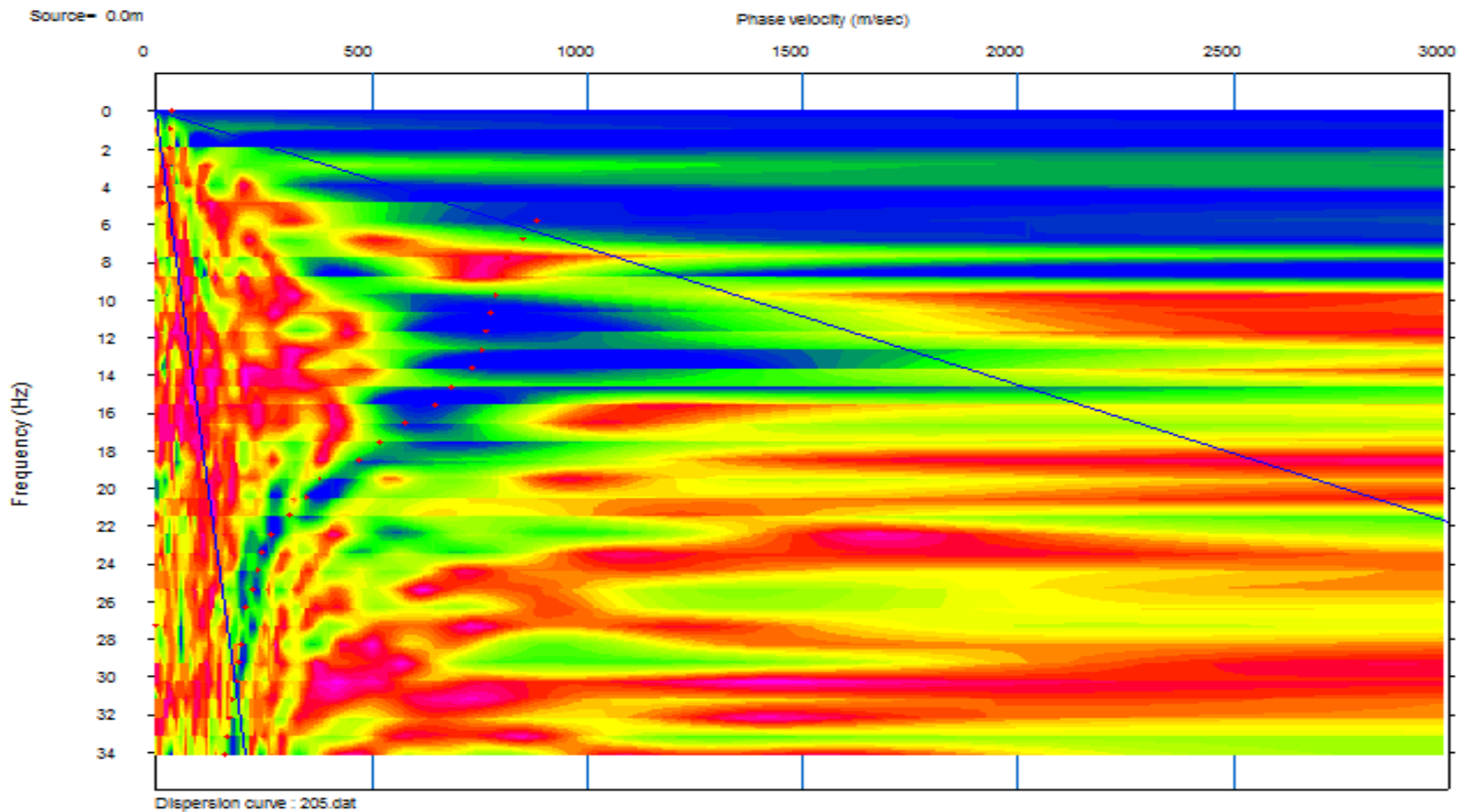


Anexo 2.2 – Curvas de dispersión – Sondajes MASW

### ENSAYO MASW - CURVA DE DISPERSIÓN, SAGEEP2003

Sondaje MASW-01, en este grafico la velocidad de fase se representa con la velocidad en cada frecuencia.

Ubicación del Ensayo: Estribo Izquierdo. Registro: 205.

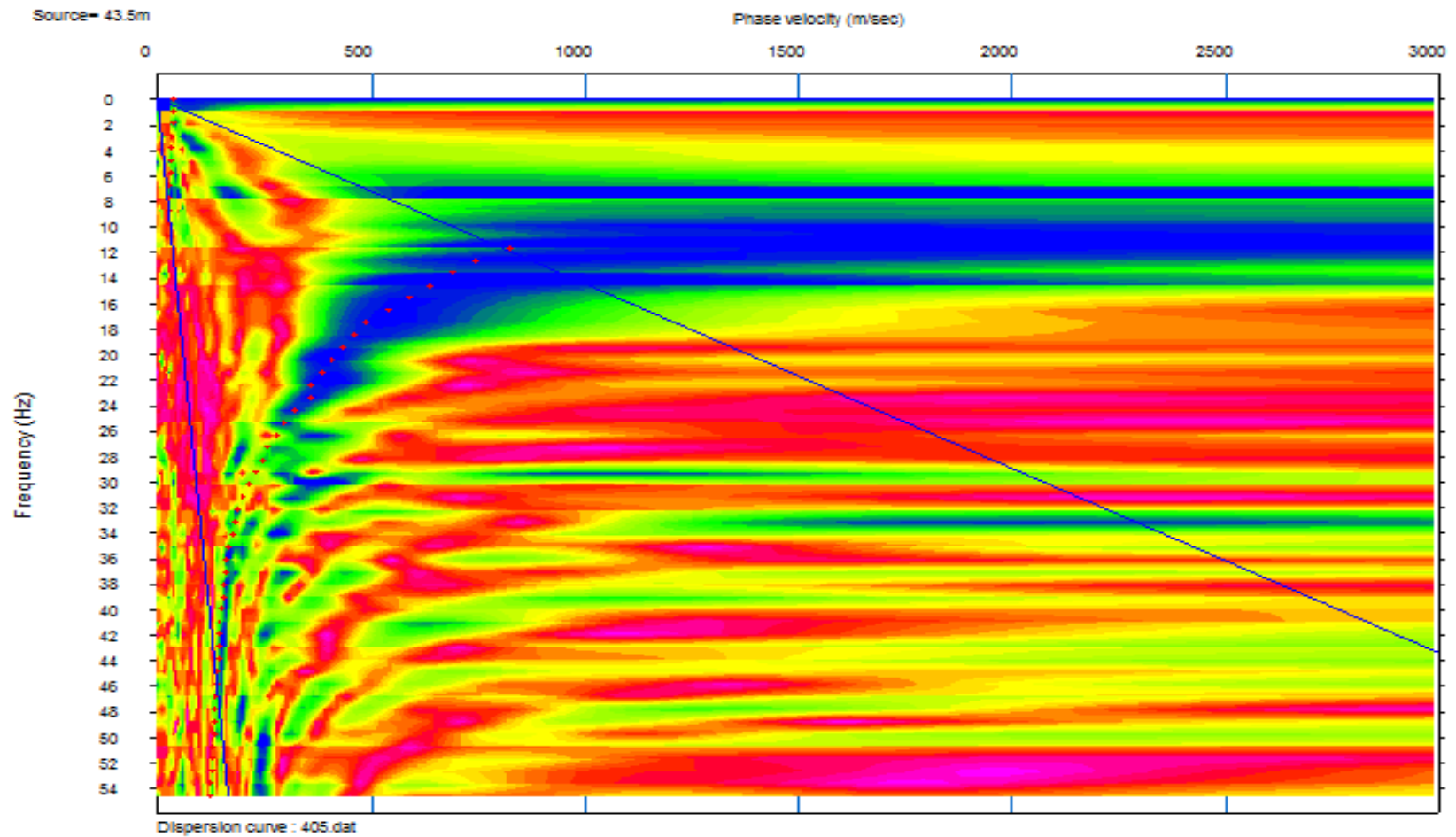


## Anexo 2.2 – Curvas de dispersión – Sondajes MASW

### ENSAYO MASW - CURVA DE DISPERSIÓN, SAGEEP2003

Sondaje MASW-02, en este grafico la velocidad de fase se representa con la velocidad en cada frecuencia.

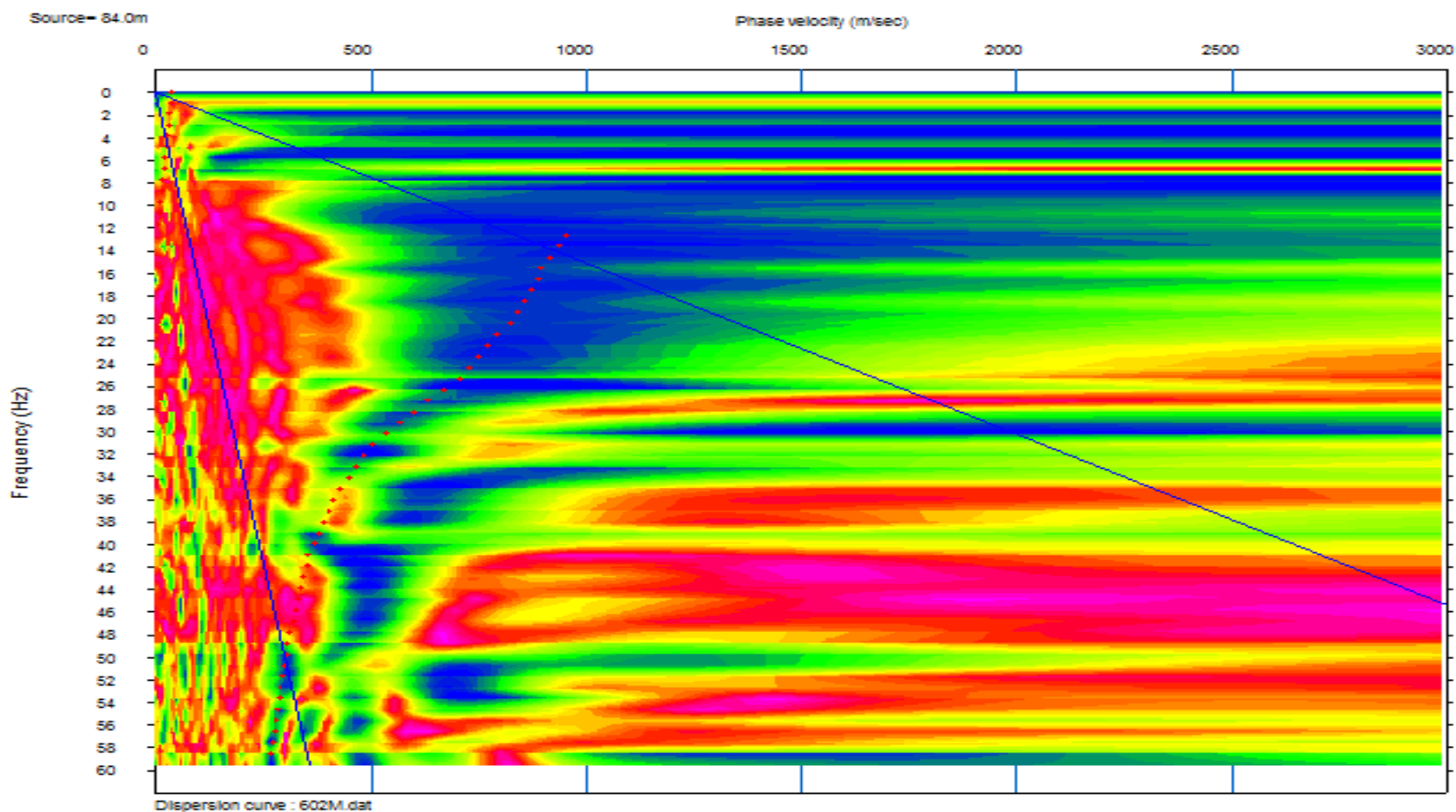
Ubicación del Ensayo: Estribo Izquierdo. Registro: 405.



### ENSAYO MASW - CURVA DE DISPERSIÓN, SAGEEP2003

Sondaje MASW-03, en este grafico la velocidad de fase se representa con la velocidad en cada frecuencia.

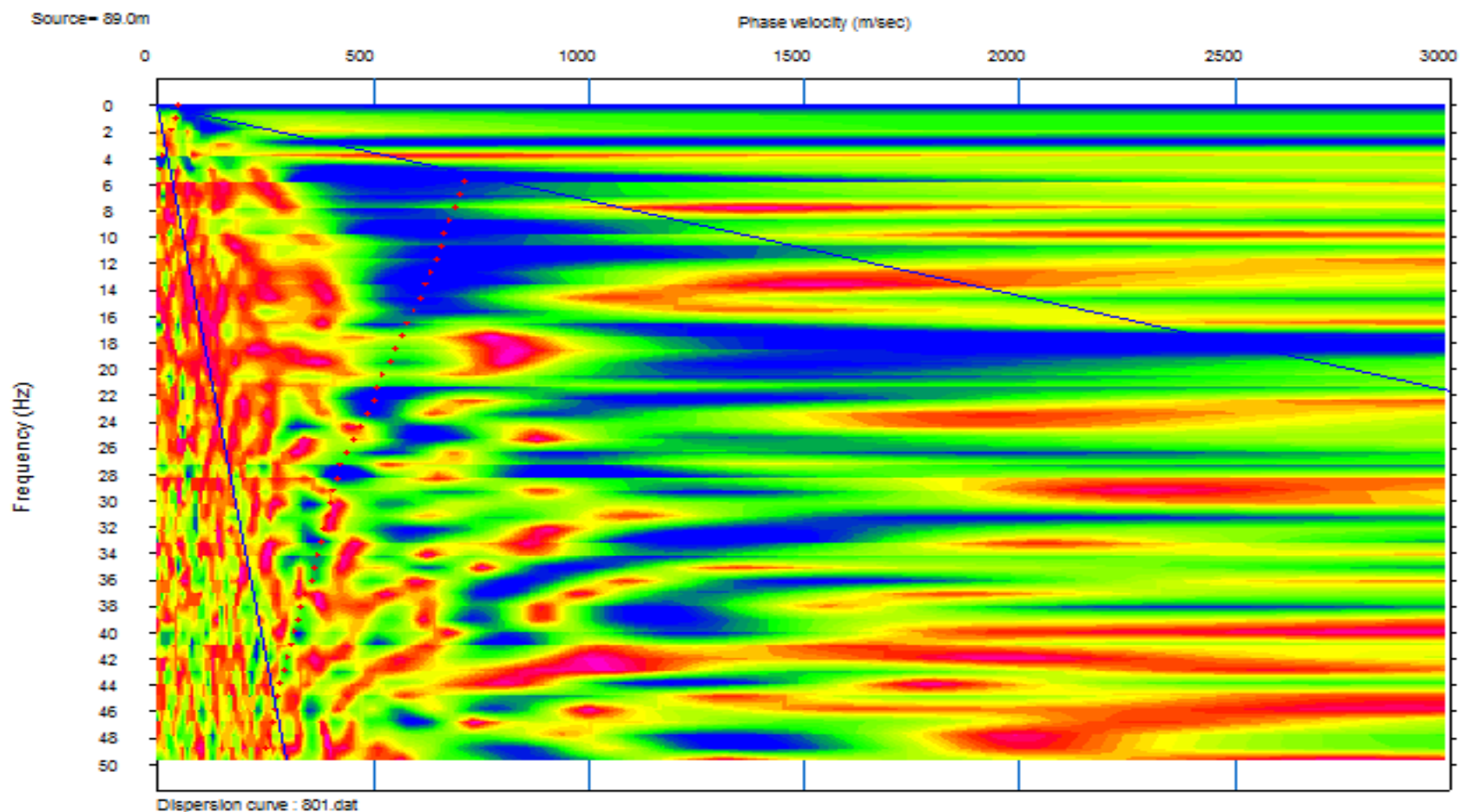
Ubicación del Ensayo: Estribo Izquierdo. Registro: 602.



### ENSAYO MASW - CURVA DE DISPERSIÓN, SAGEEP2003

Sondaje MASW-04, en este grafico la velocidad de fase se representa con la velocidad en cada frecuencia.

Ubicación del Ensayo: Estribo Derecho. Registro: 801.

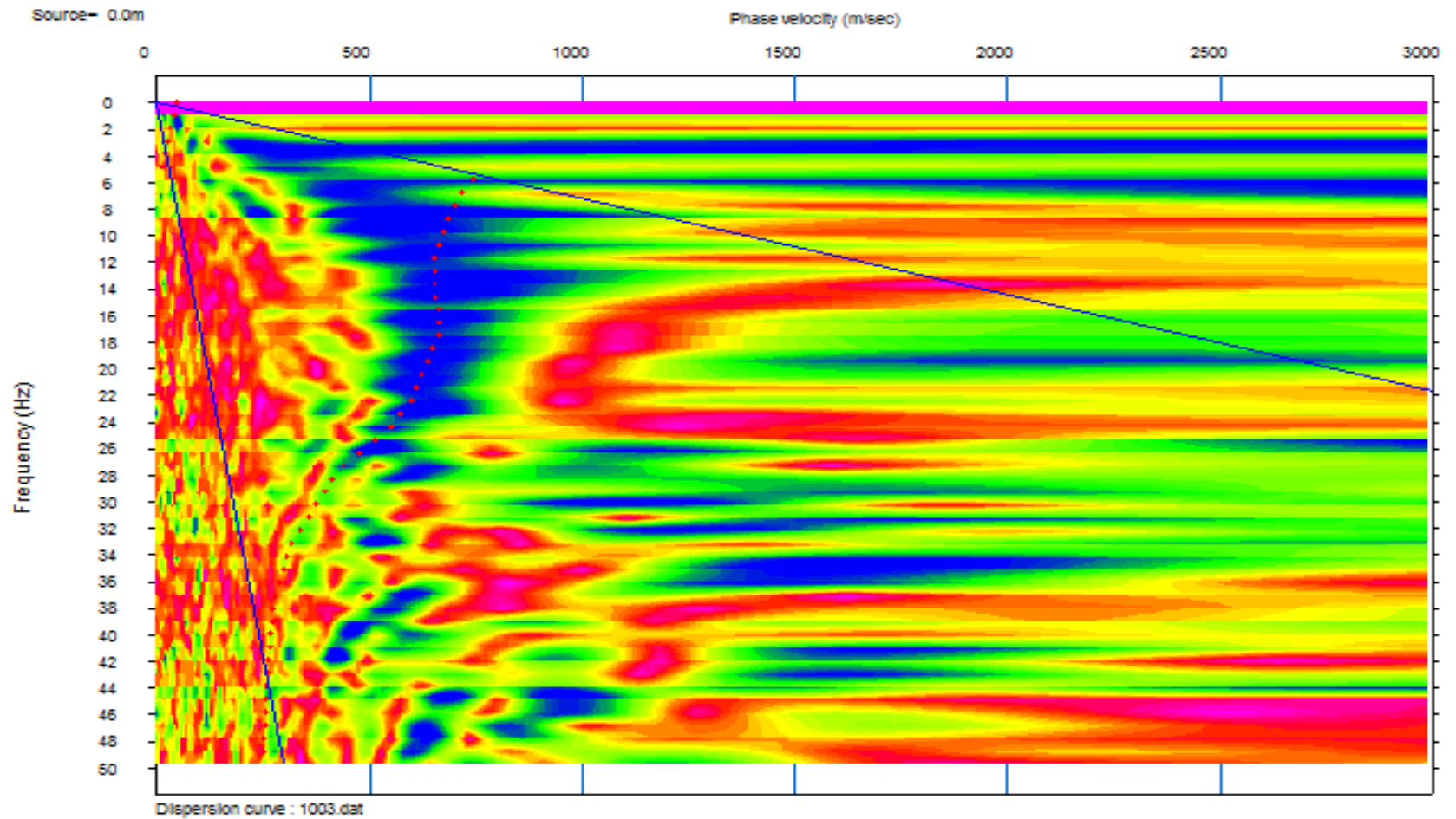


## Anexo 2.2 – Curvas de dispersión – Sondajes MASW

### ENSAYO MASW - CURVA DE DISPERSIÓN, SAGEEP2003

Sondaje MASW-05, en este grafico la velocidad de fase se representa con la velocidad en cada frecuencia.

Ubicación del Ensayo: Estribo Derecho. Registro: 1003.

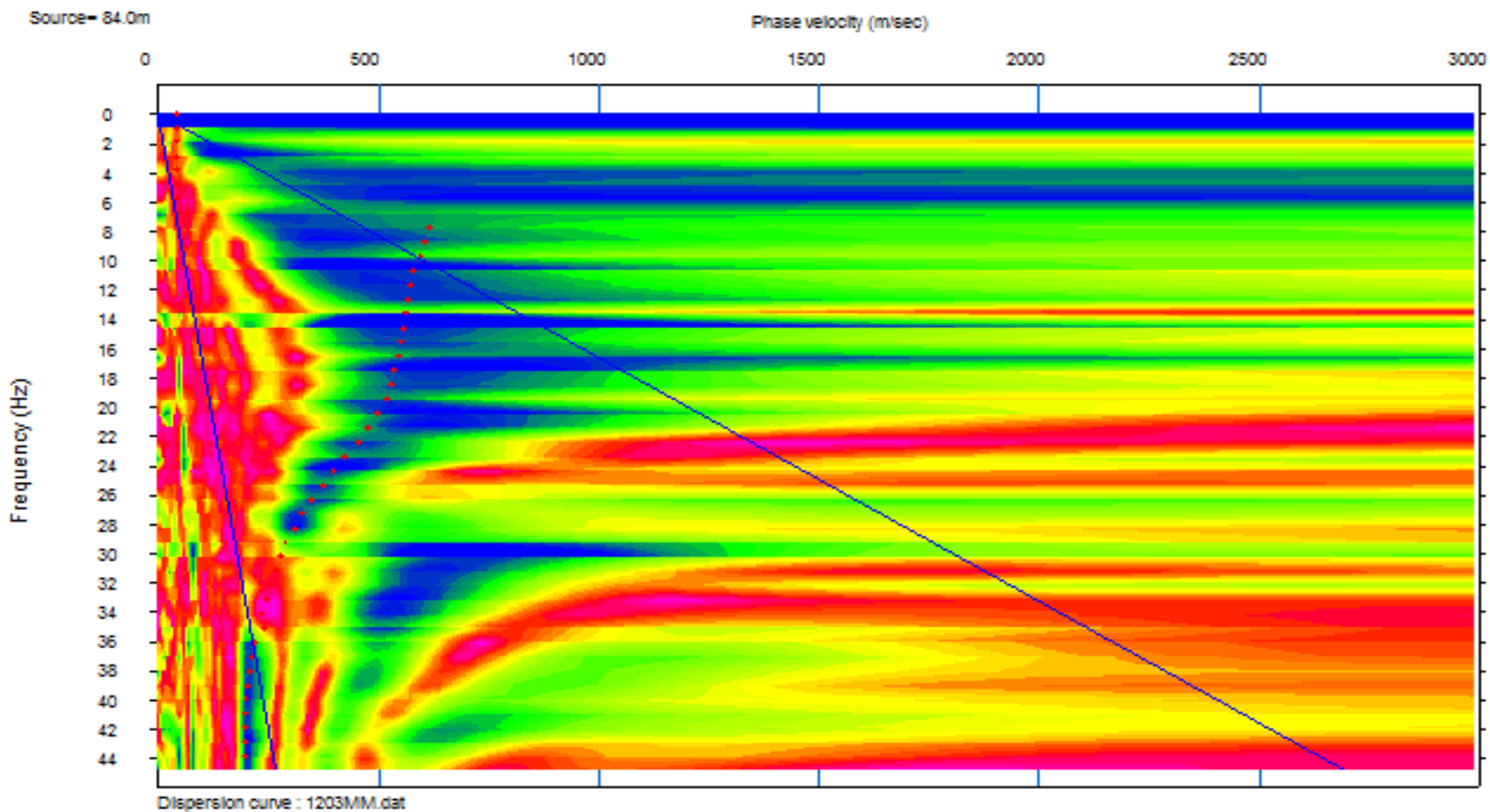


Anexo 2.2 – Curvas de dispersión – Sondajes MASW

### ENSAYO MASW - CURVA DE DISPERSIÓN, SAGEEP2003

Sondaje MASW-06, en este grafico la velocidad de fase se representa con la velocidad en cada frecuencia.

Ubicación del Ensayo: Estribo Derecho. Registro: 1203.



**Anexo 2.3**  
**Registros de ondas Sísmicas**  
**Sondajes MAM**

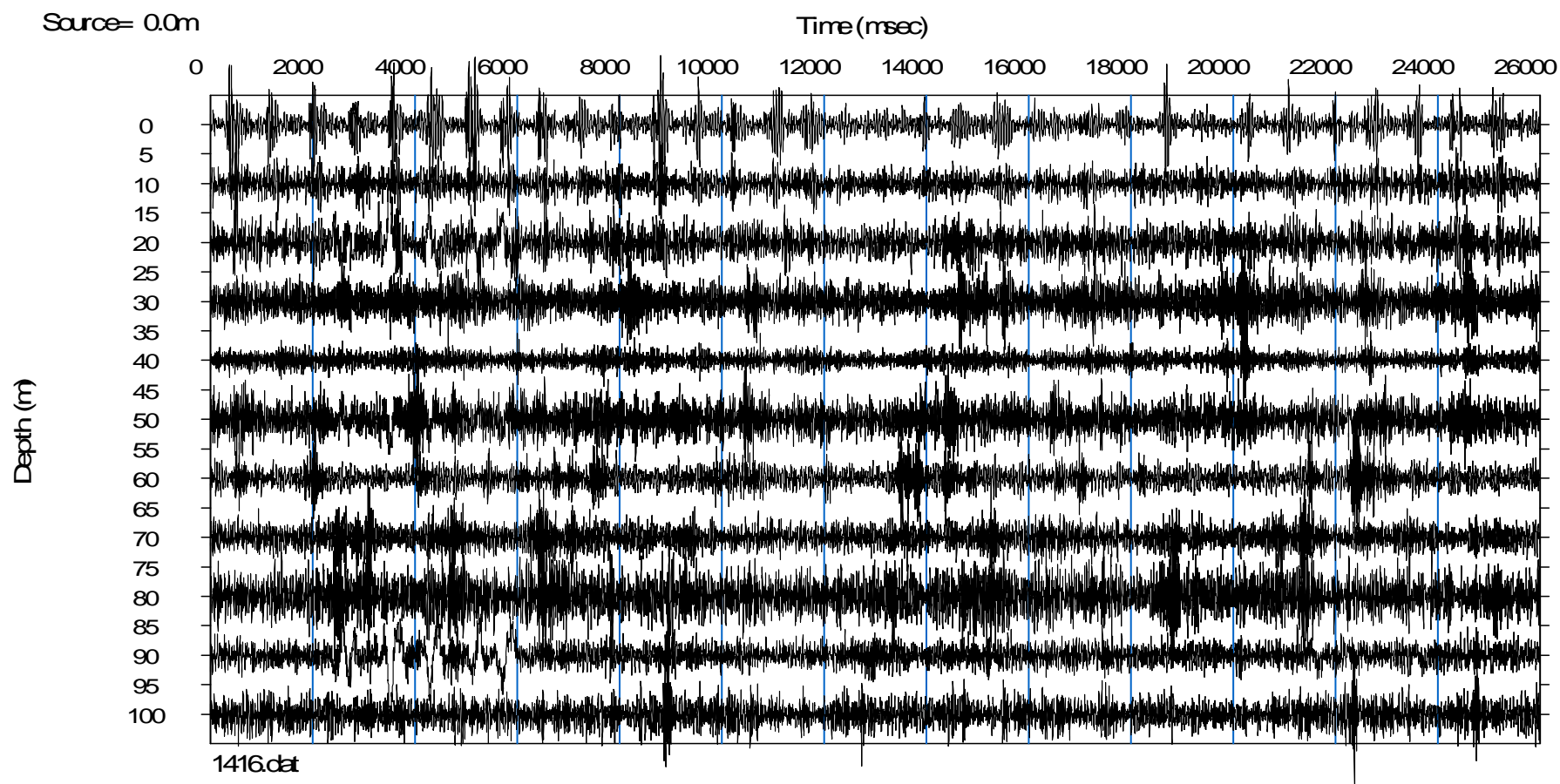
---

### ENSAYO MAM - THEORETICAL WAVE FORMS, SAGEEP2003

Sondaje MAM-01, se aprecia el registro sísmico del ensayo, en el cual se utilizaron 11 geófonos espaciados equidistantes cada 10 m.

Ubicación del Ensayo: Estribo Izquierdo.

Registro: 1416



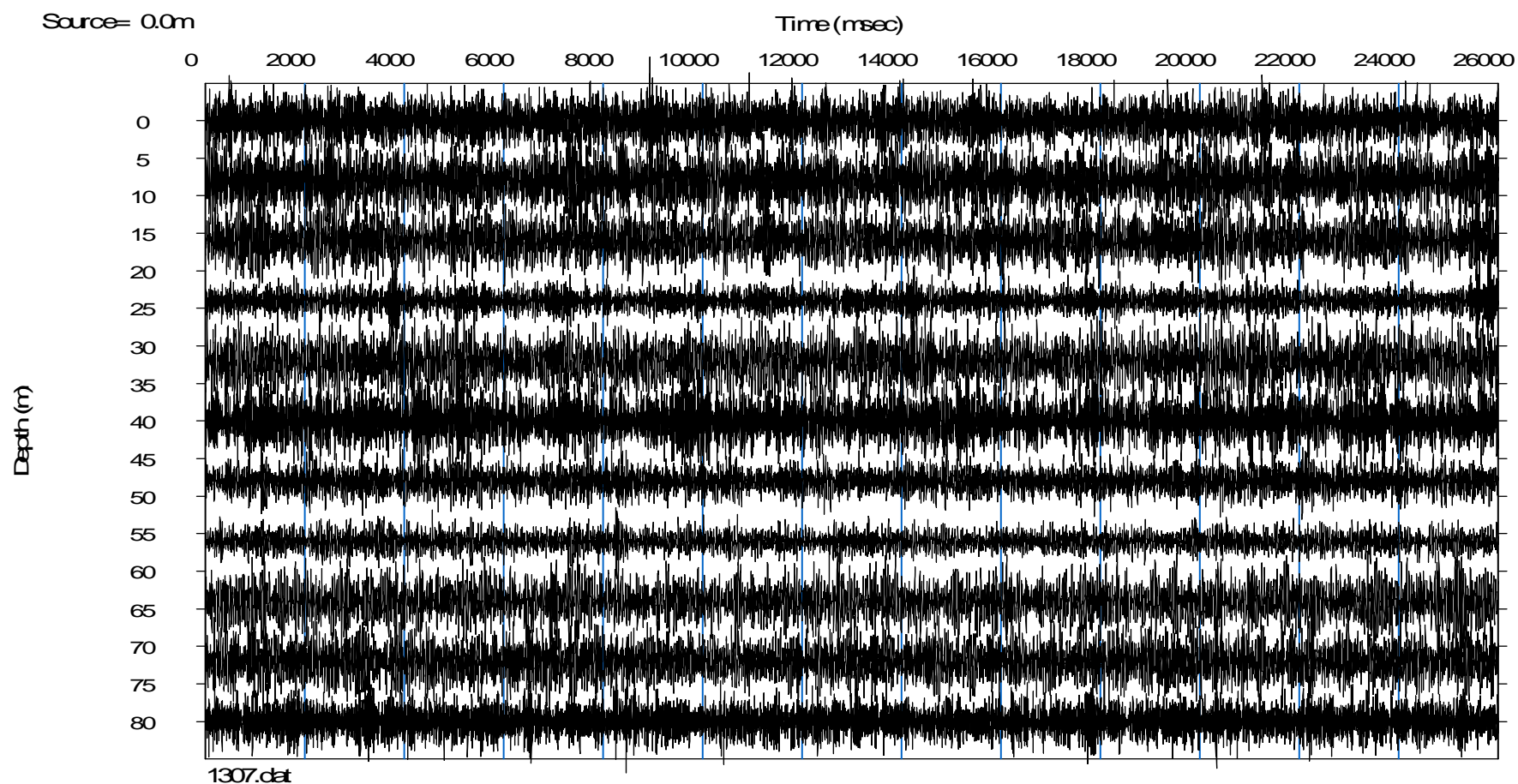


## Anexo 2.3 – Registros de Ondas Sísmicas – Sondajes MAM

### ENSAYO MAM - THEORETICAL WAVE FORMS, SAGEEP2003

Sondaje MAM-02, se aprecia el registro sísmico del ensayo, en el cual se utilizaron 11 geófonos espaciados equidistantes cada 10 m. Ubicación del Ensayo: Estribo Derecho.

Registro: 1307



**Anexo 2.4**  
**Curvas de Dispersión**  
**MAM**

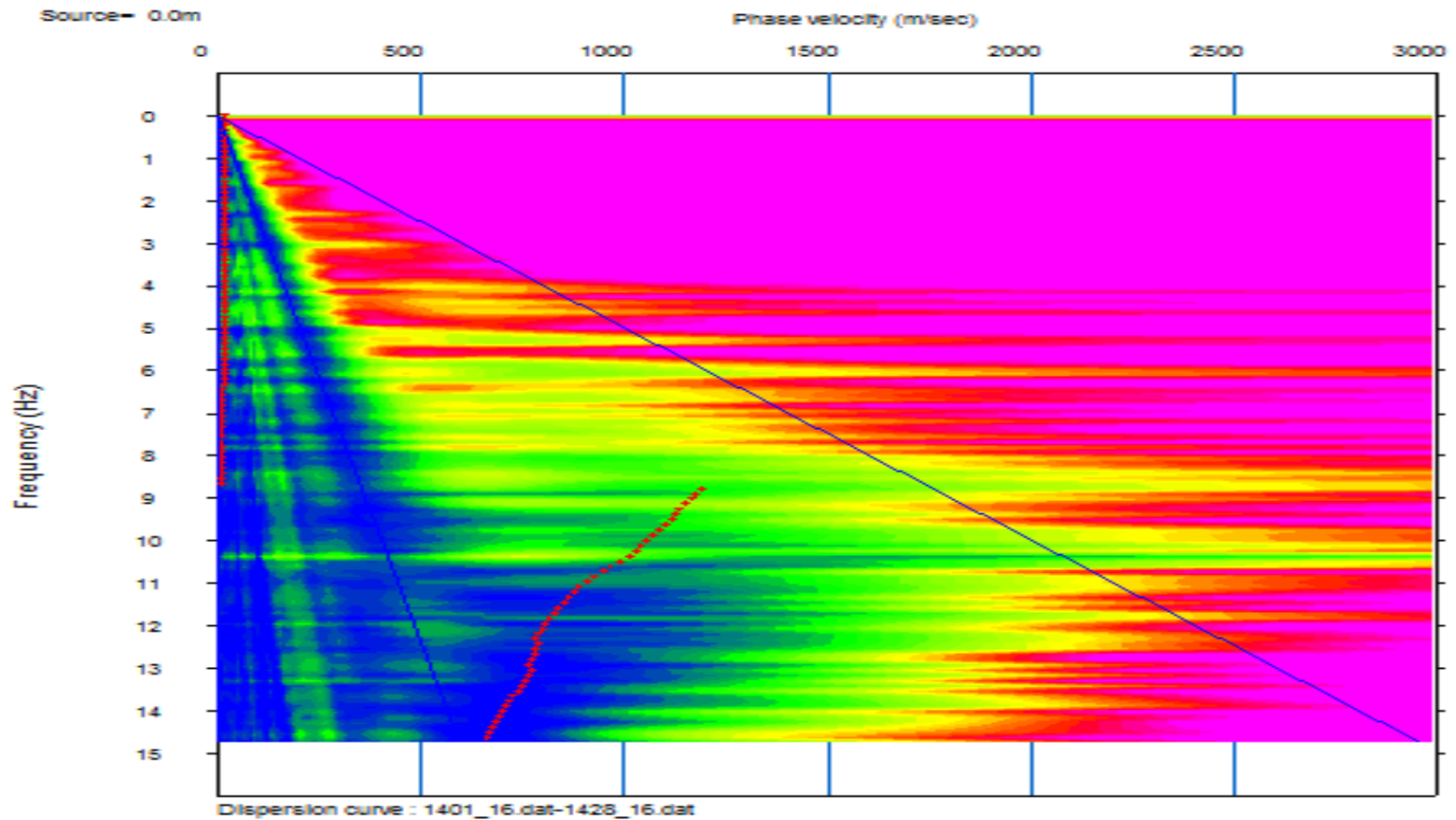
---

Anexo 2.4 – Curvas de Dispersión – Sondajes MAM

**ENSAYO MAM - CURVA DE DISPERSIÓN, SAGEEP2003**

Sondaje MAM-01, en este grafico la velocidad de fase se representa con la velocidad en cada frecuencia.

Ubicación del Ensayo: Estribo Izquierdo. Registro: 1401 – 1428.

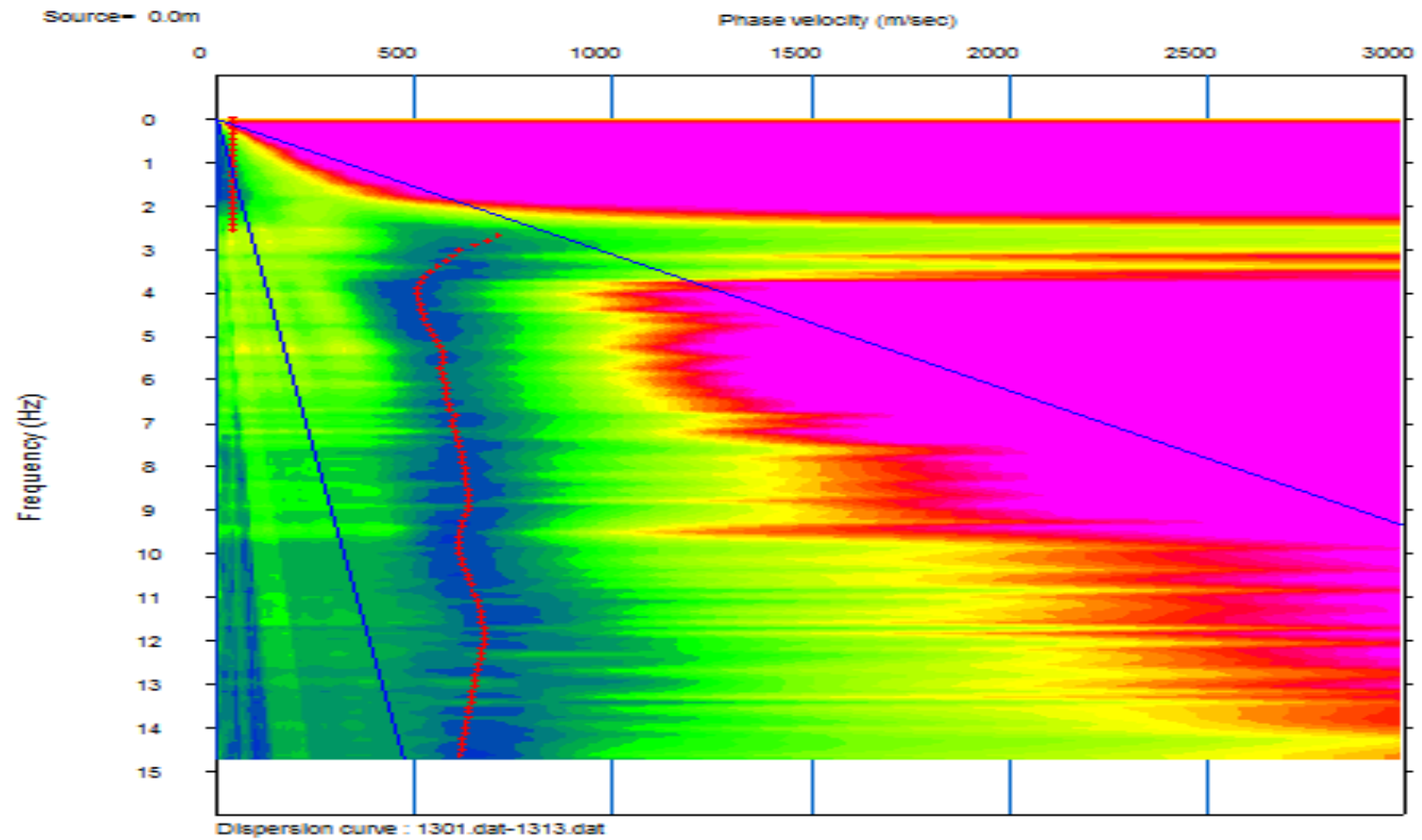


## Anexo 2.4 – Curvas de Dispersión – Sondajes MAM

### ENSAYO MAM - CURVA DE DISPERSIÓN, SAGEEP2003

Sondaje MAM-02, en este grafico la velocidad de fase se representa con la velocidad en cada frecuencia.

Ubicación del Ensayo: Estribo Derecho. Registro: 1301-1313.

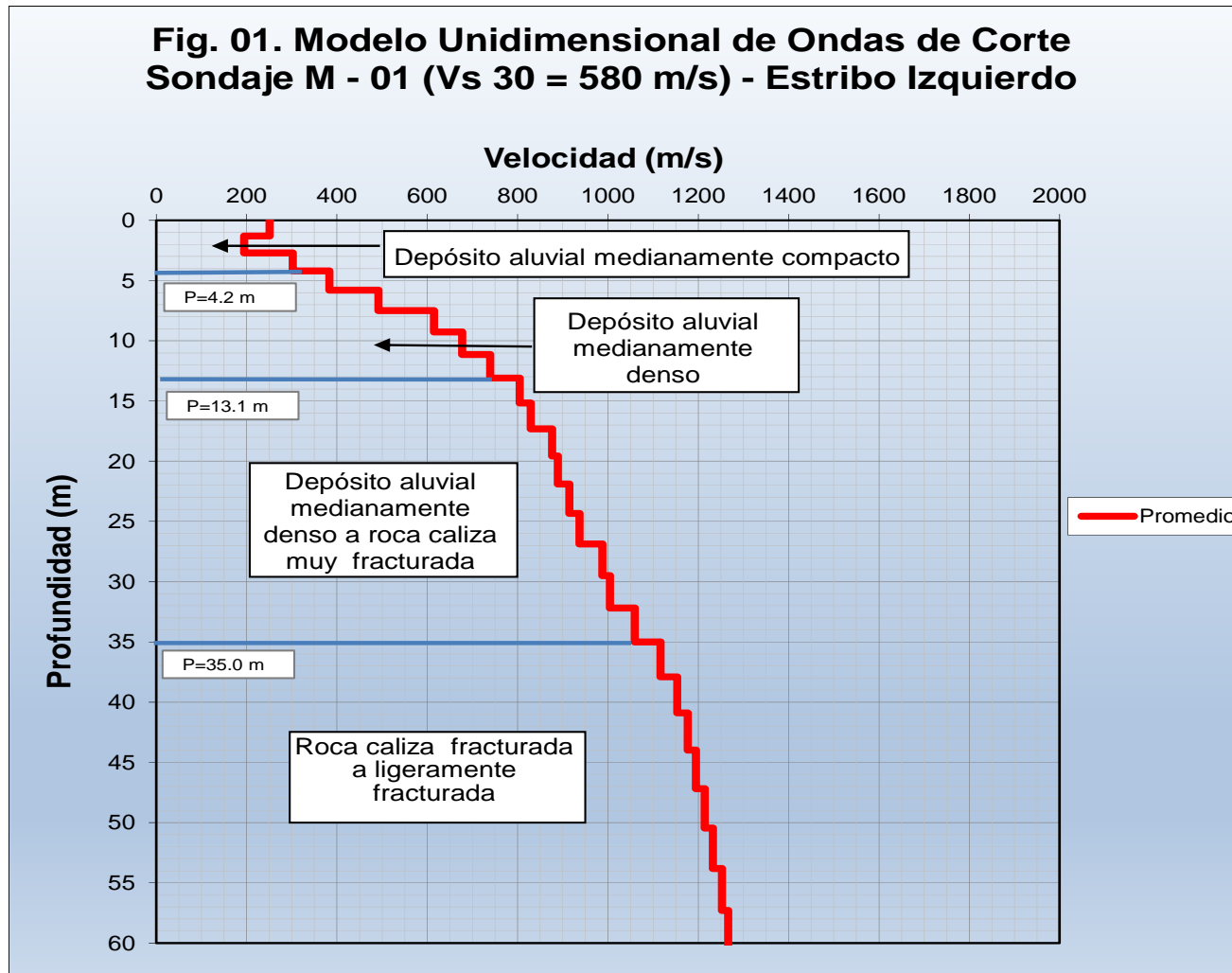


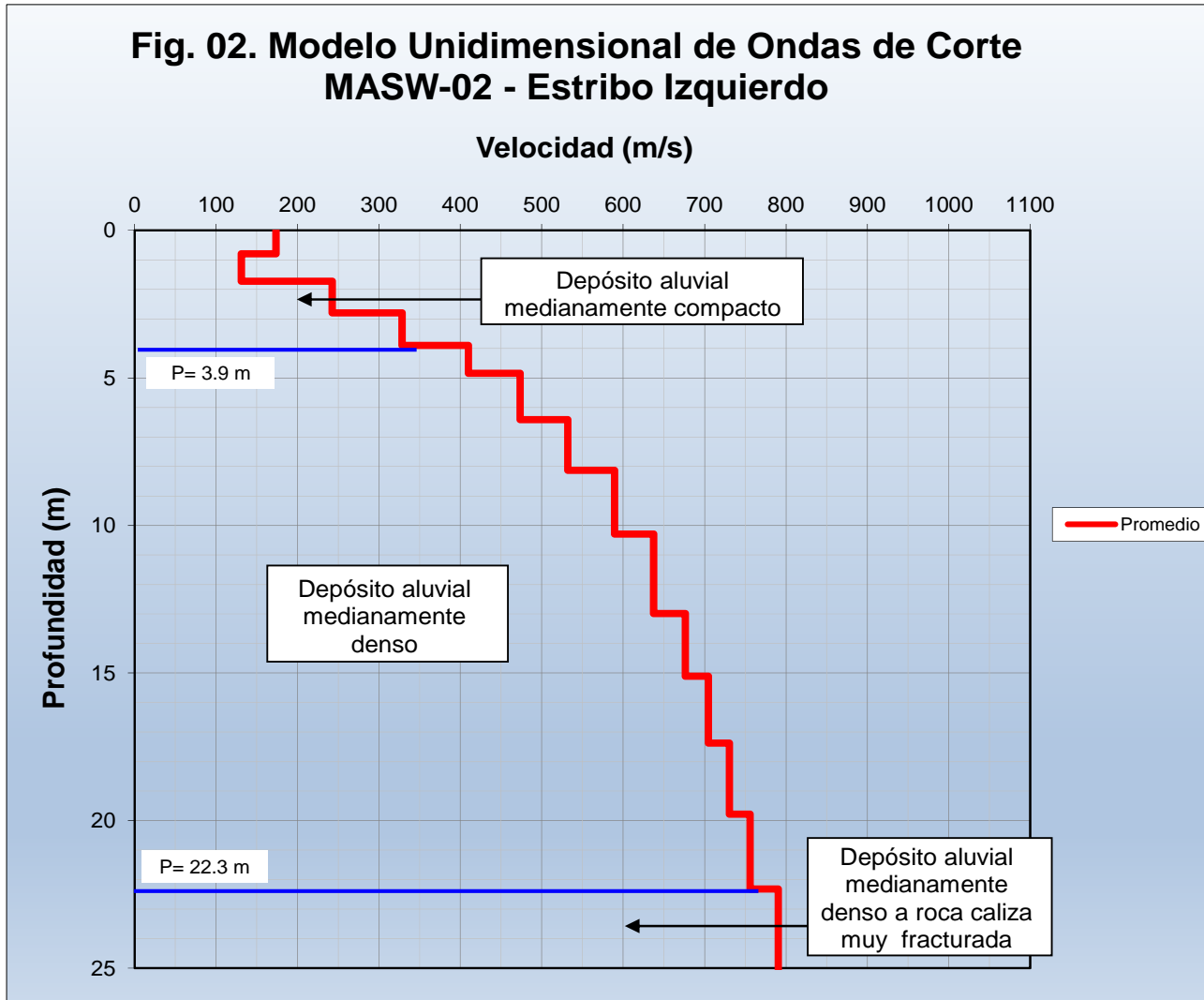
**Anexo 2.5**  
**Modelo Unidimensional de Ondas de**  
**Corte MASW - MAM**

---

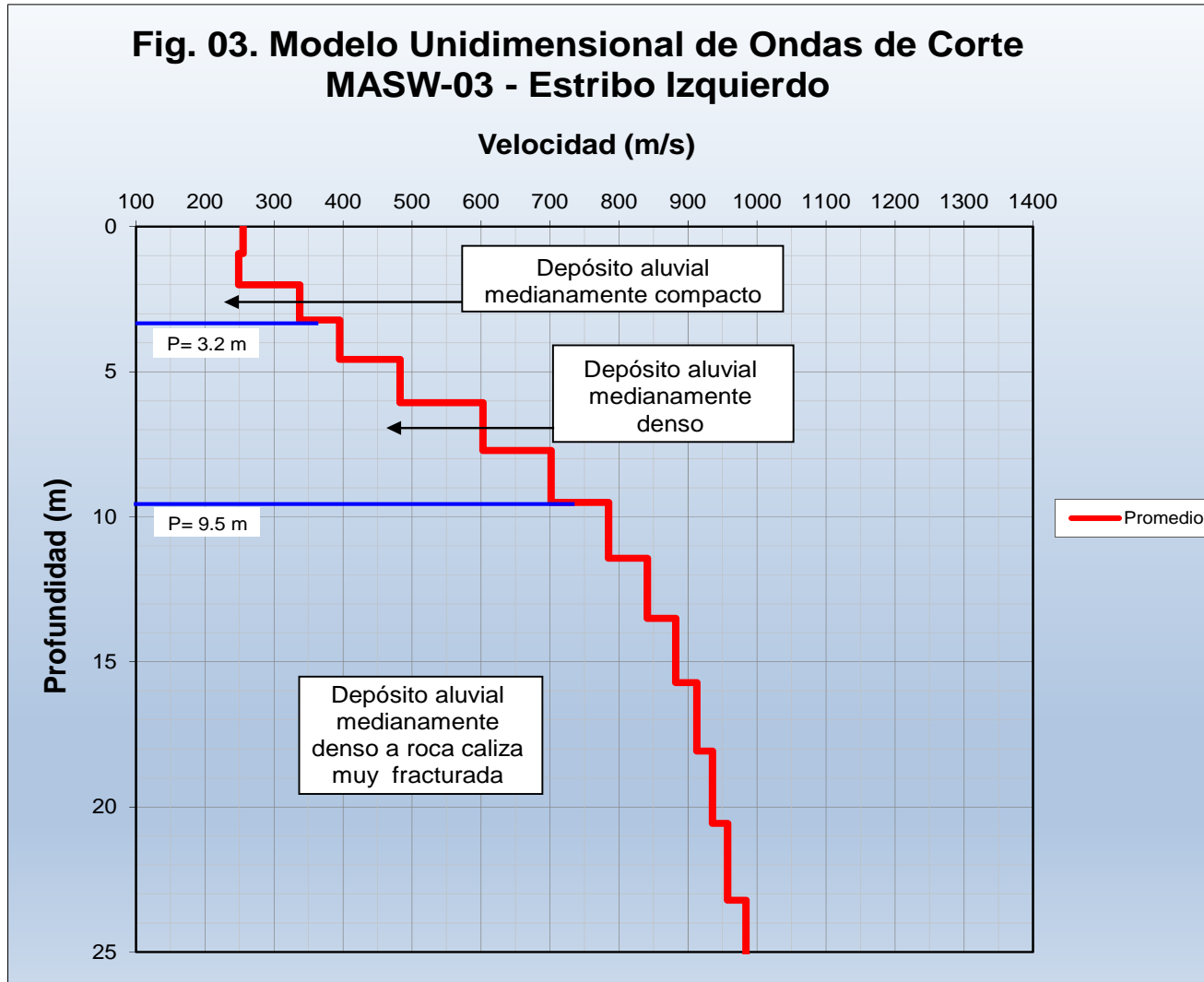
**ESTRIBO IZQUIERDO**

**Fig. 01. Modelo Unidimensional de Ondas de Corte  
Sondaje M - 01 ( $V_s 30 = 580$  m/s) - Estribo Izquierdo**





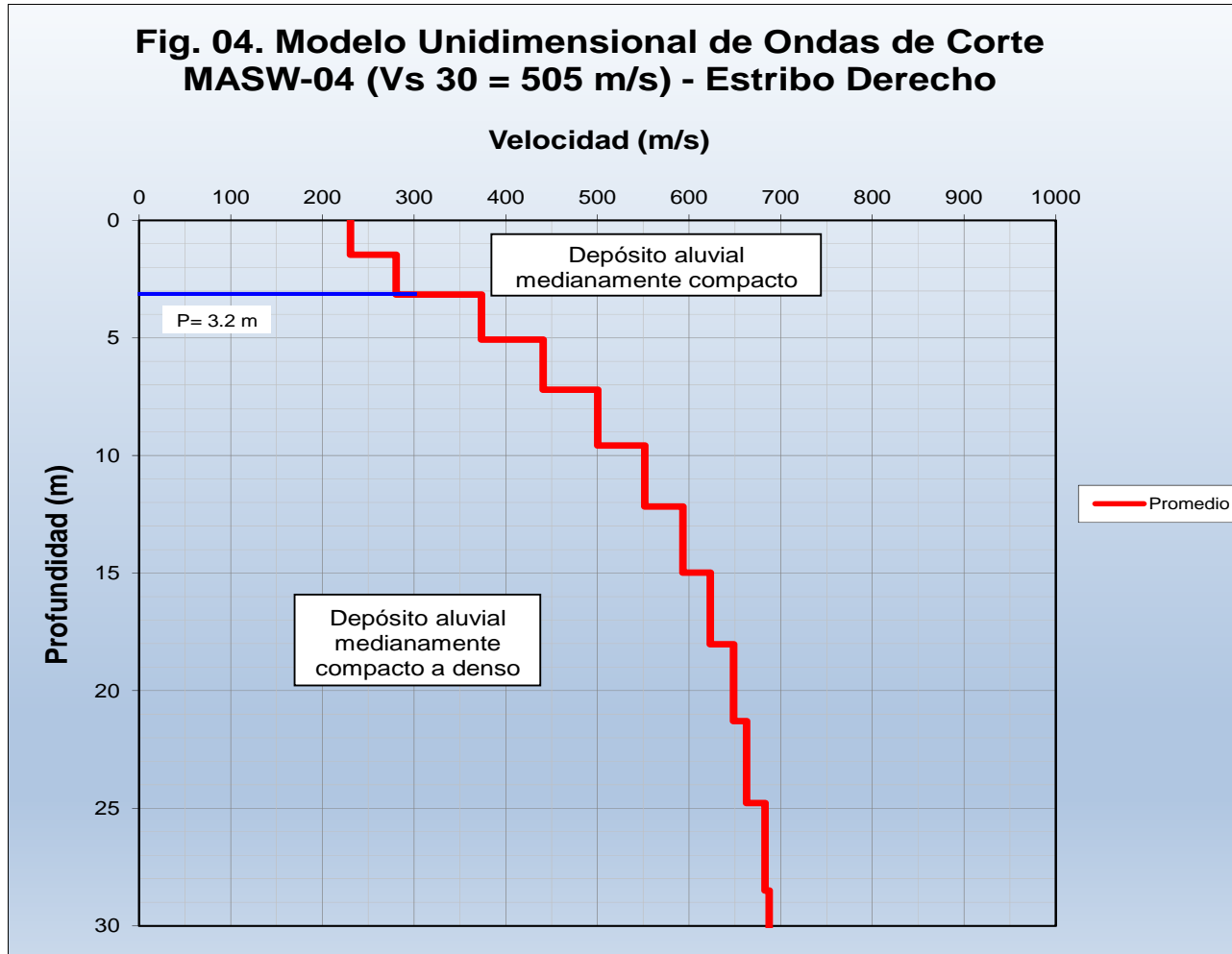
**Fig. 03. Modelo Unidimensional de Ondas de Corte  
MASW-03 - Estribo Izquierdo**





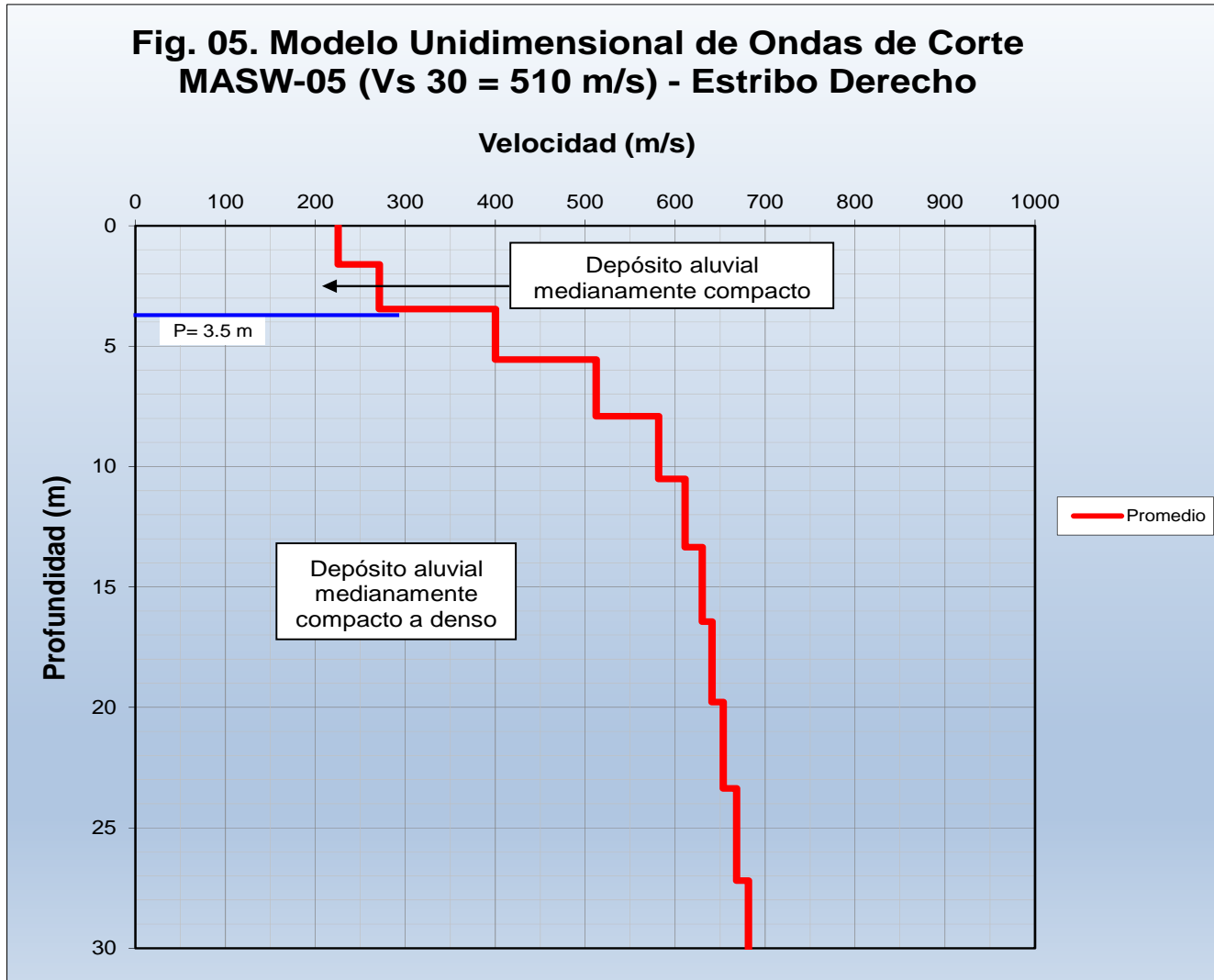
Anexo 2.5 – Modelo Unidimensional de Ondas de Corte

**ESTRIBO DERECHO**

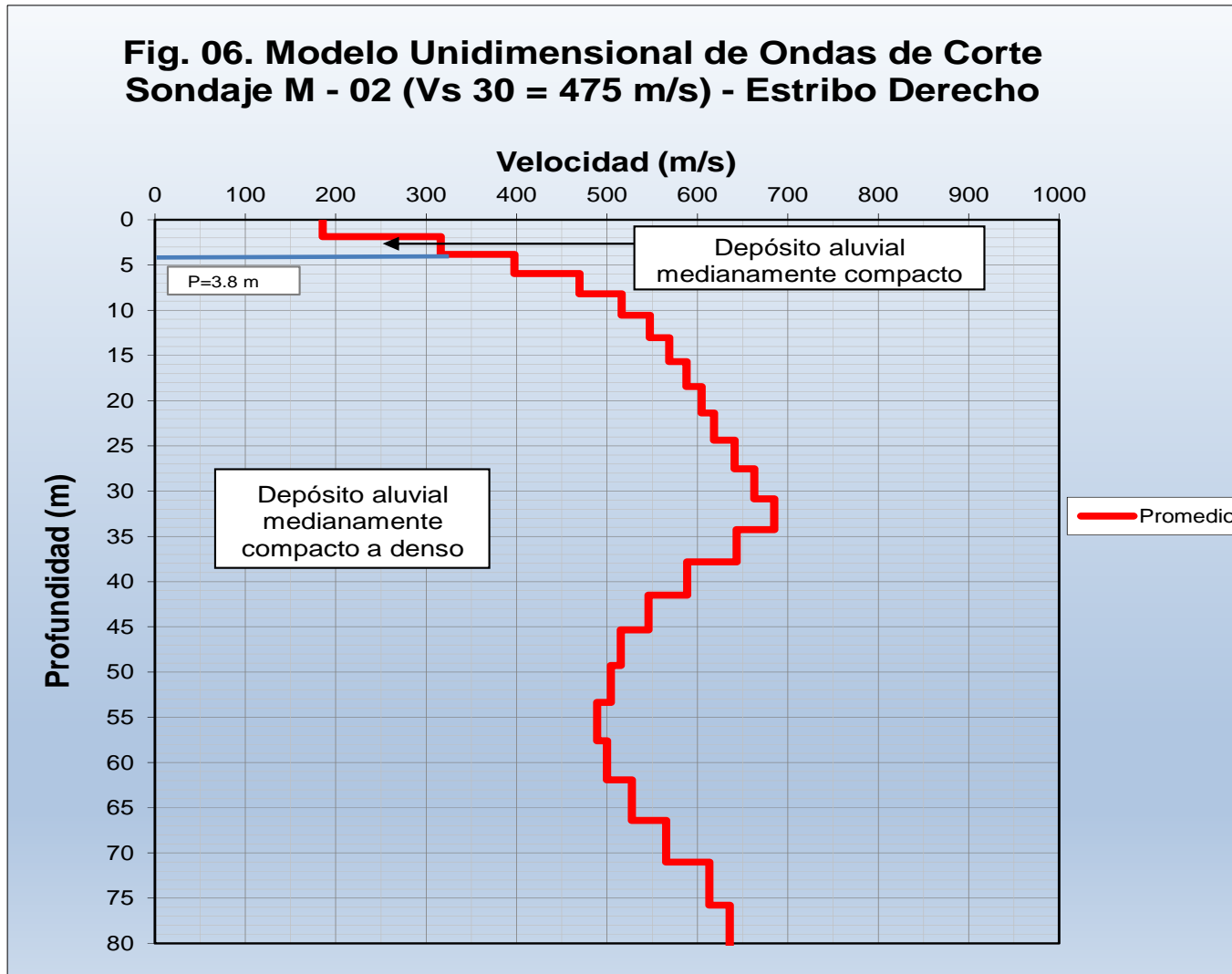


Anexo 2.5 – Modelo Unidimensional de Ondas de Corte

**Fig. 05. Modelo Unidimensional de Ondas de Corte  
MASW-05 ( $V_s 30 = 510$  m/s) - Estribo Derecho**



**Fig. 06. Modelo Unidimensional de Ondas de Corte  
Sondaje M - 02 (Vs 30 = 475 m/s) - Estribo Derecho**



**Anexo 3**  
**Panel Fotográfico**

---

**Anexo 3.1**  
**Fotografías – Geofísica**  
**Refracción Sísmica**

---

**GEOFÍSICA – REFRACCIÓN SÍSMICA - ESTRIBO IZQUIERDO**



**Fotografía 01:** Vista panorámica de la línea de refracción sísmica LRS-01. Se puede apreciar el tendido de los cables.



**Fotografía 02:** Se puede observar los instantes previos al impacto correspondiente al Shot 03 de la línea LRS-01 empleado para la generación de las ondas sísmicas.

### Anexo 3.1 – Fotografías – Geofísica – Refracción Sísmica



**Fotografía 03:** Vista panorámica de la línea de refracción sísmica LRS-02. Se puede apreciar los instantes previos al impacto correspondiente al Shot 03 de la línea LRS-02 empleado para la generación de las ondas sísmicas.



**Fotografía 04:** Momentos previos al impacto correspondiente al Shot 03 de la línea LRS-02 empleado para la generación de las ondas sísmicas.



### Anexo 3.1 – Fotografías – Geofísica – Refracción Sísmica



**Fotografía 05:** Zona de trabajo de la Línea LRS-03 Se puede apreciar el tendido de los cables.



**Fotografía 06:** Momentos previos al impacto correspondiente al Shot 01 de la línea LRS-03 empleado para la generación de las ondas sísmicas.



**GEOFÍSICA – REFRACCIÓN SÍSMICA - ESTRIBO DERECHO**



**Fotografía 07:** Vista panorámica de la línea de refracción sísmica LRS-04. Se puede apreciar el tendido de los cables.



**Fotografía 08:** Zona de trabajo de la línea LRS-04. Se puede apreciar el tendido de los cables.

### Anexo 3.1 – Fotografías – Geofísica – Refracción Sísmica



**Fotografía 09:** Vista panorámica de la línea de refracción sísmica LRS-05.



**Fotografía 10:** Se puede observar los instantes previos al impacto correspondiente al Shot 03 de la línea LRS-05 empleado para la generación de las ondas sísmicas.



Anexo 3.1 – Fotografías – Geofísica – Refracción Sísmica



**Fotografía 11:** Vista panorámica de la línea de refracción sísmica LRS-06.



**Fotografía 12:** Se puede observar los instantes previos al impacto correspondiente al Shot 03 de la línea LRS-06 empleado para la generación de las ondas sísmica

**Anexo 3.2**  
**Fotografías – Geofísica**  
**Sondajes MASW**

---

**GEOFÍSICA – SONDAJES MASW - ESTRIBO IZQUIERDO**



**Fotografía 01:** Vista panorámica de la línea de refracción sísmica MASW-01.



**Fotografía 02:** Momento previo al impacto correspondiente al Shot 03 empleado para la generación de las ondas sísmicas. Sondaje MASW-01. Se puede apreciar el tendido de los cables.

---



### Anexo 3.2 – Fotografías – Sondajes MASW



**Fotografía 03:** Vista panorámica de la línea de refracción sísmica MASW-02.



**Fotografía 04:** Área de trabajo del Sondaje MASW-02. Puede apreciarse el tendido de cables y la colocación de los sensores sobre el terreno. Además se observa el equipo de toma de datos.

### Anexo 3.2 – Fotografías – Sondajes MASW



**Fotografía 05:** Vista panorámica de la línea de refracción sísmica MASW-03. Se puede apreciar el tendido de los cables.



**Fotografía 06:** Momento previo al impacto correspondiente al Shot 03 empleado para la generación de las ondas sísmicas. Sondaje MASW-03. Se puede apreciar el tendido de los cables.



**GEOFÍSICA – SONDAJES MASW - ESTRIBO DERECHO**



**Fotografía 07:** Vista panorámica de la línea de refracción sísmica MASW-04.



**Fotografía 08:** Momento previo al impacto correspondiente al Shot 03 empleado para la generación de las ondas sísmicas. Sondaje MASW-04.

---



## Anexo 3.2 – Fotografías – Sondajes MASW



**Fotografía 09:** Vista panorámica de la línea de refracción sísmica MASW-05.



**Fotografía 010:** Momento previo al impacto correspondiente al Shot 03 empleado para la generación de las ondas sísmicas. Sondaje MASW-05. Se puede apreciar el tendido de los cables.

### Anexo 3.2 – Fotografías – Sondajes MASW



**Fotografía 11:** Vista panorámica de la línea de refracción sísmica MASW-06.



**Fotografía 12:** Momento previo al impacto correspondiente al Shot 03 empleado para la generación de las ondas sísmicas. Sondaje MASW-06. Se puede apreciar el tendido de los cables.

**Anexo 3.3**  
**Fotografías – Geofísica**  
**Sondajes MAM**

---



**GEOFÍSICA – SONDAJE MAM - ESTRIBO IZQUIERDO**



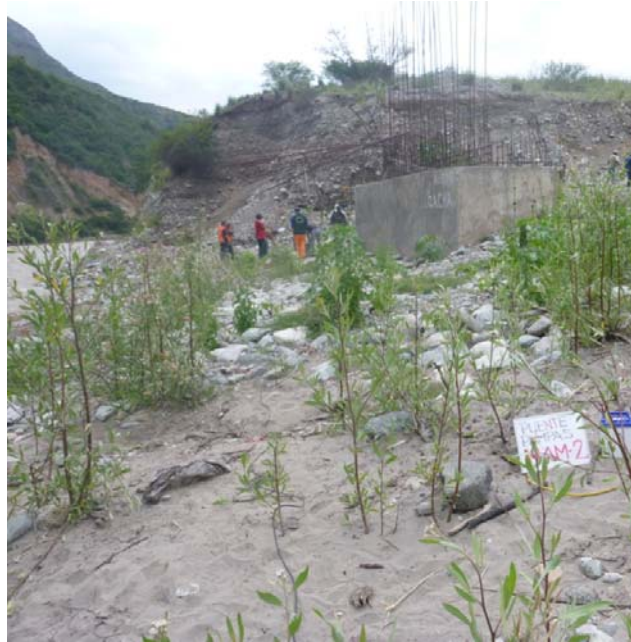
**Fotografía 01:** Zona de trabajo del Sondaje MAM-01. Se puede apreciar el tendido de cables.



**Fotografía 02:** Sondaje MAM-01. Se puede apreciar el tendido de los cables.

---

**GEOFÍSICA – SONDAJE MAM - ESTRIBO DERECHO**



**Fotografía 03:** Zona de trabajo del Sondaje MAM-02. Se puede apreciar el tendido de cables.



**Fotografía 04:** Se aprecia la toma de datos correspondiente al MAM-02. Puede apreciarse el tendido de cables y la conexión al equipo para la adquisición de las señales sísmicas.

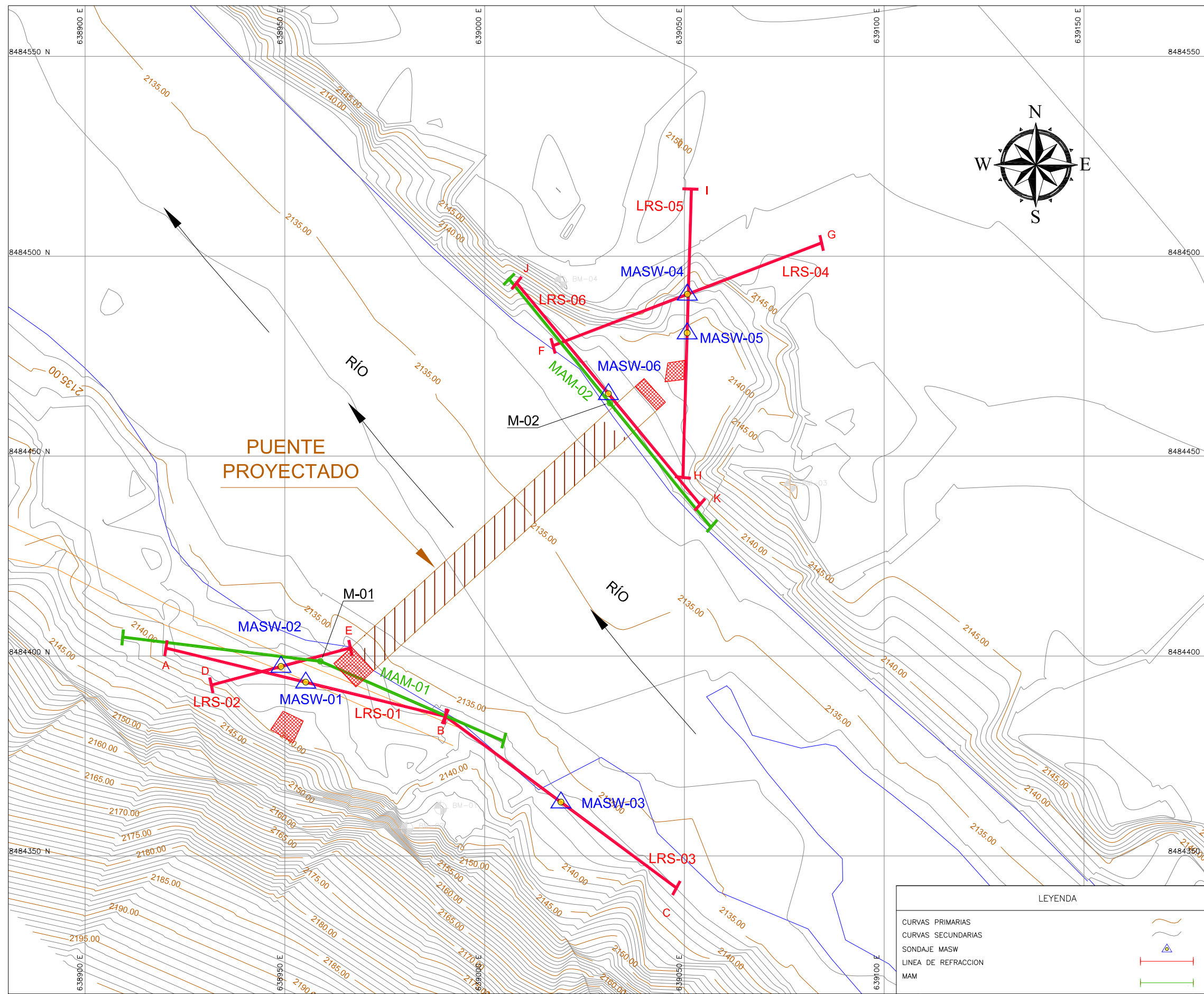
**Planos**

---











**UBICACIÓN DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA**

ESCALA: 1/1000

Cuadro de Ubicación - Geofísica					
Refracción Sísmica	Longitud (m)	ESTE	NORTE	COTA (msnm)	
LS-01	72	A	638920.24	8484401.99	2138.74
		B	638990.18	8484384.91	2136.69
LS-02	72	D	638931.63	8484392.73	2139.89
		E	638966.40	8484402.04	2136.12
LS-03	72	B	638990.18	8484384.91	2136.69
		C	639047.99	8484342.00	2135.99
LS-04	72	F	639017.11	8484477.61	2136.84
		G	639084.35	8484503.35	2147.27
LS-05	72	H	639049.63	8484444.82	2137.98
		I	639051.74	8484516.78	2149.08
LS-06	72	J	639008.00	8484493.32	2141.77
		K	639053.95	8484437.88	2137.98
MASW	Longitud (m)	ESTE	NORTE	COTA (msnm)	
MASW-01	89.0	638955.22	8484393.47	2137.84	
MASW-02	46.5	638949.02	8484397.41	2137.51	
MASW-03	89.0	639019.10	8484363.48	2136.83	
MASW-04	89.0	639084.35	8484503.35	2142.86	
MASW-05	89.0	639050.69	8484480.82	2139.91	
MASW-06	89.0	639030.98	8484465.62	2136.97	
MAM	Longitud (m)	ESTE	NORTE	COTA (msnm)	
MAM-01	100.0	638958.88	8484398.69	2137.84	
MAM-02	80.0	639031.38	8484463.25	2136.97	



CLIENTE:



TESIS:

MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA MASW - MAM Y PARÁMETROS ELÁSTICOS DEL PUENTE VEHICULAR INTERREGIONAL PAMPAS. AYACUCHO - APURÍMAC, 2016

TÍTULO DE PLANO:

UBICACIÓN DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA

UBICACION :

PAIS: PERU

DEPARTAMENTO: AYACUCHO-APURÍMAC

PROVINCIA: VILCASHUAMAN-CHINCHEROS

DISTRITO: SAURAMA Y URANMARCA

LOCALIDAD: INCACHACA Y CHACABAMBA

ENCARGADOS :

TESISTA: ARTURO S. ZEVALLOS FLORES

ASESOR: Ph.D. MOHAMED M. HADI MOHAMED

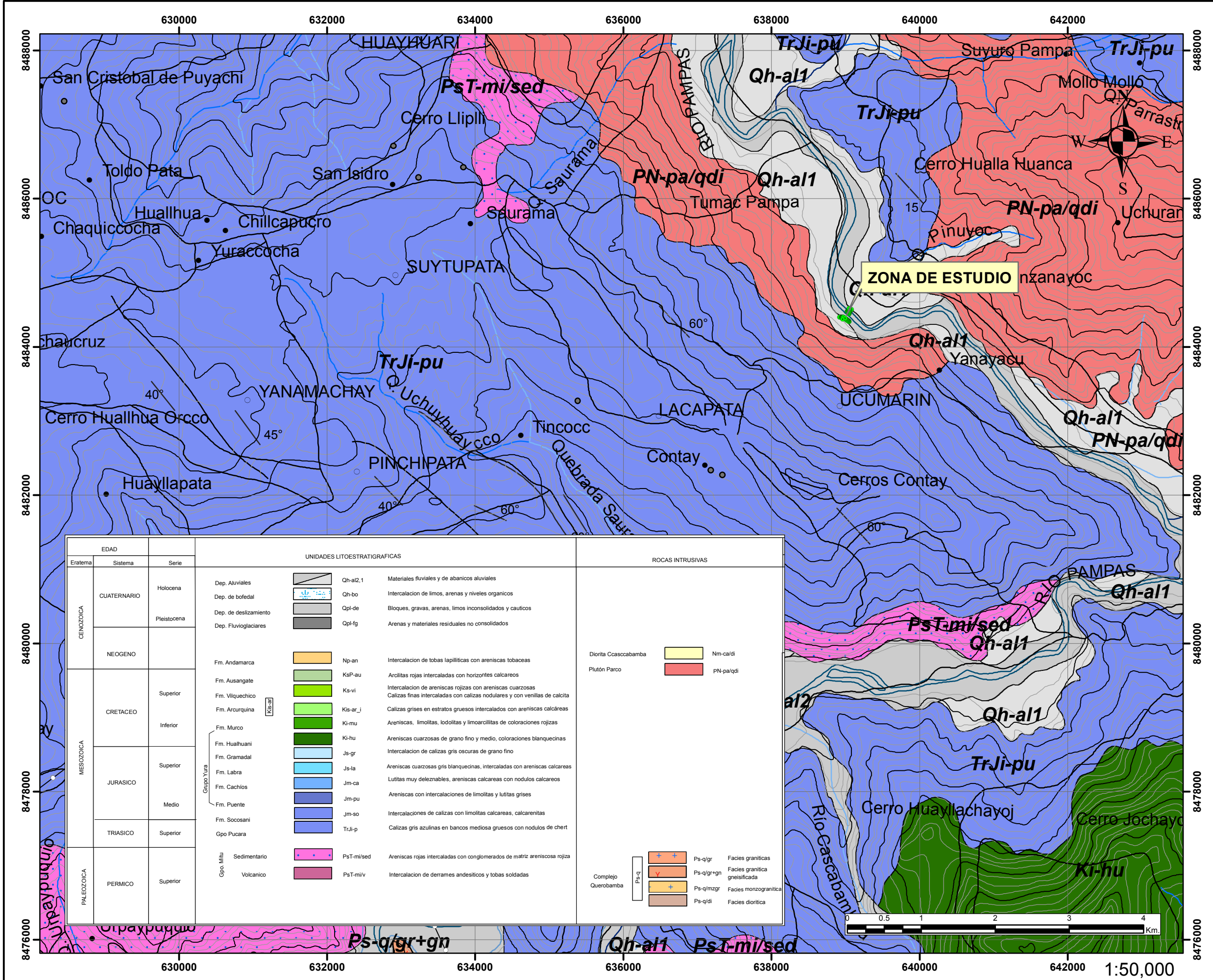
LAMINA:

P-02

FECHA : JUNIO, 2016

ESCALA : INDICADA





**SIMBOLOGIA**

- Curva de nivel - Primaria
- Curva de nivel - Secundario

**Vias**

- Cable Transmisor de fza. electrica
- Camino carrozable
- Camino de herradura
- Carretera afirmada, transitable
- Carretera asfaltada dos ó mas vias
- Linea telegráfica
- Rodadera



**CLIENTE:**

**TESIS:**  
MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA MASW - MAM Y PARÁMETROS ELÁSTICOS DEL PUENTE VEHICULAR INTERREGIONAL PAMPAS. AYACUCHO – APURIMAC. 2016

**PLANO:**  
**GEOLOGICO REGIONAL**

**UBICACION:**  
PAIS: PERÚ  
DEPARTAMENTO: AYACUCHO - APURIMAC  
PROVINCIA: VILCASHUAMAN - CHINCHEROS  
DISTRITO: SAURAMA - URANMARCA  
LUGAR: INCACHACA - CHACABAMBA

**ENCARGADOS:**  
TESISTA: ARTURO S. ZEVALLOS F.  
ASESOR: Ph.D. MOHAMED M. HADI M.

**LAMINA:** P - 03

**DATUM:** WGS 1984 UTM Zona 18S

**FECHA:** JUNIO, 2016  
**ESCALA:** INDICADA

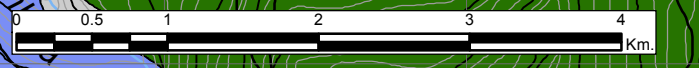
EDAD			UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS		ROCAS INTRUSIVAS		
Eratema	Sistema	Serie					
CENOZOICA	CUATERNARIO	Holocena	Dep. Aluviales	Qh-al2,1	Materiales fluviales y de abanicos aluviales		
		Pleistocena	Dep. de bofedal	Qh-bo	Intercalacion de limos, arenas y niveles organicos		
			Dep. de deslizamiento	Qpl-de	Bloques, gravas, arenas, limos inconsolidados y caulicos		
			Dep. Fluvioglaciares	Qpl-fg	Arenas y materiales residuales no consolidados		
MESOZOICA	NEOGENO		Fm. Andamarca	Np-an	Intercalacion de tobas lapilíticas con areniscas tobaceas		
			Fm. Ausangate	KsP-au	Arcillitas rojas intercaladas con horizontes calcareos		
	CRETACEO	Superior		Fm. Vilquechico	Ks-vi	Intercalacion de areniscas rojizas con areniscas cuarzosas	
				Fm. Arcuquina	Kis-ar_j	Calizas finas intercaladas con calizas nodulares y con venillas de calcita	
				Fm. Murco	Ki-mu	Calizas grises en estratos gruesos intercalados con areniscas calcáreas	
				Fm. Hualhuani	Ki-hu	Areniscas, limolitas, lodolitas y limoarcillitas de coloraciones rojizas	
		Inferior		Fm. Gramadal	Js-gr	Areniscas cuarzosas de grano fino y medio, coloraciones blanquecinas	
				Fm. Labra	Js-la	Intercalacion de calizas gris oscuras de grano fino	
				Fm. Cachios	Jm-ca	Areniscas cuarzosas gris blanquecinas, intercaladas con areniscas calcareas	
				Fm. Puente	Jm-pu	Lutitas muy deleznales, areniscas calcareas con nodulos calcareos	
JURASICO	Medio		Fm. Socosani	Jm-so	Areniscas con intercalaciones de limolitas y lutitas grises		
			Gpo Pucara	TrJi-p	Intercalaciones de calizas con limolitas calcareas, calcarenitas		
TRIASICO	Superior				Calizas gris azulinas en bancos mediosa gruesos con nodulos de chert		
PALEOZOICA	PERMICO	Superior	Sedimentario	PsT-mi/sed	Areniscas rojas intercaladas con conglomerados de matriz areniscosa rojiza		
			Volcanico	PsT-mi/v	Intercalacion de derrames andesiticos y tobas soldadas		

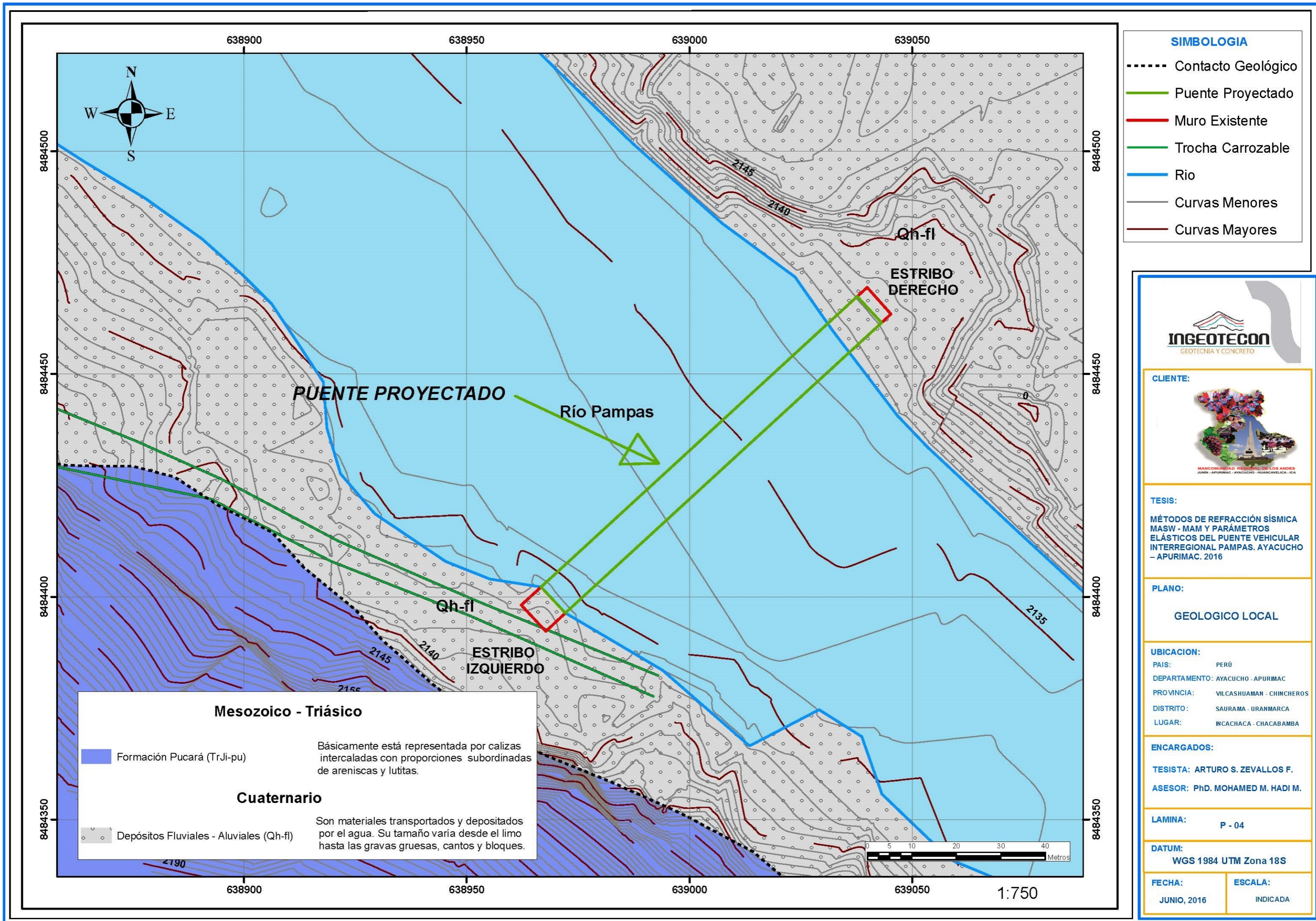
ROCAS INTRUSIVAS	
Diorita Cascabamba	Nm-ca/di
Plutón Parco	PN-pa/qdi

Complejo Querobamba		
Ps-q	Ps-q/gr	Facies graniticas
	Ps-q/gr+gn	Facies granitica gneisificada
	Ps-q/mzgr	Facies monzogranitica
	Ps-q/di	Facies dioritica







- SIMBOLOGIA**
- Contacto Geológico
  - Puente Proyectoado
  - Muro Existente
  - Trocha Carrozable
  - Rio
  - Curvas Menores
  - Curvas Mayores

**INGEOTECON**  
GEOTECNIA Y CONCRETO

**CLIENTE:**

MANCOMUNIDAD REGIONAL DE LOS ANDES  
JUNÍN - APURÍMAC - AYACUCHO - HUANCABALLA - ICA

**TESIS:**

MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA MASW - MAM Y PARÁMETROS ELÁSTICOS DEL PUENTE VEHICULAR INTERREGIONAL PAMPAS. AYACUCHO - APURÍMAC. 2016

**PLANO:**

GEOLOGICO LOCAL

**UBICACION:**

PAIS: PERÚ  
 DEPARTAMENTO: AYACUCHO - APURÍMAC  
 PROVINCIA: VILCASHUAMAN - CHINCHEROS  
 DISTRITO: SAURAMA - URANMARCA  
 LUGAR: INCACHACA - CHACABAMBA

**ENCARGADOS:**

TESISTA: ARTURO S. ZEVALLOS F.  
 ASESOR: Ph.D. MOHAMED M. HADI M.

**LAMINA:** P - 04

**DATUM:** WGS 1984 UTM Zona 18S

**FECHA:** JUNIO, 2016      **ESCALA:** INDICADA

**Mesozoico - Triásico**

Formación Pucará (TrJi-pu)

Básicamente está representada por calizas intercaladas con proporciones subordinadas de areniscas y lutitas.

**Cuaternario**

Depósitos Fluviales - Aluviales (Qh-fl)

Son materiales transportados y depositados por el agua. Su tamaño varía desde el limo hasta las gravas gruesas, cantos y bloques.



1:750