

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL
PERFIL DE ONDAS P APLICANDO EL MÉTODO DE REFRACCIÓN
SÍSMICA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO PUEBLO DE HUAMÁN,
DISTRITO VÍCTOR LARCO.

ÁREA DE INVESTIGACIÓN:
GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

AUTORES:

BR. ANTHONY BRANDON ARAUJO FLORES
BR. JEISY YAHAIRA QUIROZ MAXIMILIANO

JURADO EVALUADOR:

PRESIDENTE : ENRIQUE FRANCISCO LUJAN SILVA
SECRETRARIO : JUAN PAUL HENRIQUEZ ULLOA
VOCAL : LUCIO SIGIFREDO MEDINA CARBAJAL

ASESOR:

ING. CÉSAR LEONIDAS CANCINO RODAS
CÓDIGO ORCID: 0000-0001-8626-010X

TRUJ2021ILLO - PERÚ

2021

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 2021/08/06

ACREDITACIONES

TÍTULO: Perfil de Ondas P Aplicando El Método De Refracción Sísmica En El Asentamiento Humano “Pueblo De Huamán”, Distrito Víctor Larco.

AUTORES:

Br. Araujo Flores, Anthony Brandon

Br. Quiroz Maximiliano, Jeisy Yahaira

APROBADO POR:

Ing. Enrique Francisco Luján Silva

PRESIDENTE

N° CIP 54460

Ing. Juan Paúl Henríquez Ulloa

SECRETARIO

N° CIP 118101

Ing. Lucio Sigifredo Medina Carbajal

VOCAL

N° CIP 76695

Ing. César Leonidas Cancino Rodas

ASESOR

N° CIP 77103

PRESENTACIÓN

Señores Miembro del Jurado:

Dando cumplimiento y conforme a las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos y Reglamento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, se pone a vuestra consideración el Informe del Trabajo de Investigación Titulado “Perfil de Ondas P Aplicando El Método De Refracción Sísmica En El Asentamiento Humano “Pueblo De Huamán”, Distrito Víctor Larco”, con la convicción de alcanzar una justa evaluación y dictamen.

Atentamente,

Trujillo, 20 de febrero de 2021.

Br. Araujo Flores, Anthony Brandon

Br. Quiroz Maximiliano, Jeisy Yahaira

DEDICATORIA

A mis amados padres:

WILSON Y MARIA

Gracias por el esfuerzo y sacrificio que han hecho para poder darme lo mejor y poder ser un profesional. A pesar de la distancia siempre estuvieron ahí para apoyarme, aconsejarme en los momentos más difíciles. Son mi fortaleza y motivación para seguir adelante y superarme día a día; Gracias por todo, los amo.

A mis queridos tíos:

PEDRO Y ROSA

Porque a pesar de la ausencia de mis padres, siempre me han tratado como un hijo. Gracias por los valores y consejos que me han dado en todo este tiempo. Por estar siempre a mi lado y brindarme su apoyo en los momentos más difíciles.

A mi querido hermano:

BRYAN

Siempre has sido mi protector, mi hermano mayor, quien estuvo conmigo durante los momentos difíciles. A pesar de nuestras eventuales discusiones sé que siempre contare contigo, te quiero hermano.

Br. Araujo Flores, Anthony Brandon

DEDICATORIA

A mis papitos, Esperanza Polo y Silverio Maximiliano por su paciencia, apoyo incondicional y porque desde niña supieron cómo guiarme e inculcarme los valores necesarios para lograr mis metas. Por haber creído siempre en mí y no abandonarme. Por amarme, cuidarme y guiarme como a una hija.

A mi madre, Vila Maximiliano por estar conmigo durante mi etapa universitaria, por todas tus palabras de aliento, por confiar en mí.

Finalmente, a mi compañero incondicional, Káiser, por acompañarme noches enteras, por estar conmigo en mis momentos más difíciles, así como en los felices, por llegar a mi vida y ser la luz de ella.

Br. Quiroz Maximiliano, Jeisy Yahaira

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, por la educación e infraestructura en nuestro desarrollo académico y abrírnos oportunidades en el campo laboral.

A nuestros profesores universitarios de ingeniería civil por sus enseñanzas y conocimientos en cada una de las materias brindadas en la carrera universitaria. En particular al Ing. José Sebastián Huertas Polo por su sabiduría, confianza y apoyo en el transcurso del proyecto de investigación.

A mi familia por enseñarme sus valores, consejos y motivación para poder ser un gran profesional.

Br. Araujo Flores, Anthony Brandon

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por ser de apoyo incondicional, especialmente a mis papitos, a mi madre y a mi tío, Juan Maximiliano por apoyarme en mis momentos más complicados y por creer en mí. Gracias tío por su apoyo.

Gracias a todos los docentes que durante la carrera profesional nos guiaron académicamente, en especial al Ing. José Sebastián Huertas Polo por su tiempo, paciencia y conocimientos brindados durante todo el desarrollo de este trabajo de investigación.

A nuestro jurado por su criterio de valoración y apoyo académico durante el desarrollo del trabajo de investigación.

Br. Quiroz Maximiliano, Jeisy Yahaira

RESUMEN

La presente tesis titulada **“PERFIL DE ONDAS P APLICANDO EL MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO PUEBLO DE HUAMÁN, DISTRITO DE VÍCTOR LARCO”** consiste en la aplicación del método de refracción sísmica en el Asentamiento Humano Pueblo de Huamán con el propósito de conocer el perfil del suelo de acuerdo a la propagación de ondas sísmicas.

Siendo el método de refracción sísmica un ensayo geofísico que permite conocer las ondas sísmicas longitudinales, más conocidas como las ondas P, por lo que permite encontrar el perfil de un suelo mediante los cambios de velocidad de las ondas antes mencionadas, debido a que las velocidades están en función de las propiedades dinámicas del suelo. Cabe mencionar que el método de refracción sísmica se basa en los principios básicos de rayos luz.

El procedimiento del método de refracción sísmica consiste en la generación de ondas sísmicas mediante la fuente de energía (martillo con peso variable de acuerdo a la profundidad de estudio), luego los geófonos captan las vibraciones las cuales son registradas por el sismógrafo, para finalmente la información ser procesada en el software SeisImager 2D.

Nuestro proyecto consta de 15 líneas sísmicas de 46m cada una, trabajadas en un área de 5.04 hectáreas en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”. Al obtener las ondas sísmicas se procesó la data en el módulo de Pickwin del Software SeisImager 2D, obteniendo los tiempos de llegada para el procesamiento de las dromocronas en el módulo de Plotrefa, el cual permitió identificar los diferentes estratos con sus respectivos rangos de velocidades.

De acuerdo a los resultados obtenidos siguiendo la norma ASTM D5777, se concluye que el primer estrato del área de estudio consta de un suelo de arena seca y suelo intemperizado hasta una profundidad máxima de 6.60m, el segundo estrato está formado por arena saturada hasta una profundidad máxima de 9.00m y el tercer estrato está formado por arena saturada hasta con arena seca a mayores profundidades, siguiendo de un suelo arenoso saturado en profundidades mayores, y a la vez existe áreas en donde hay presencia de agua. Por lo que se concluye que el suelo del asentamiento humano “Pueblo de Huamán” tiene presencia de agua a mayor profundidad.

ABSTRACT

This thesis entitled "**PROFILE OF P WAVES APPLYING THE METHOD OF SEISMIC REFRACTION IN THE HUMAN SETTLEMENT PUEBLO DE HUAMÁN, VÍCTOR LARCO DISTRICT**" consists of the application of the seismic refraction method in the Human Settlement Pueblo de Huamán with the purpose of knowing the soil profile according to the propagation of seismic waves.

The seismic refraction method being a geophysical test that allows us to know the longitudinal seismic waves, better known as P waves, so it allows finding the profile of a ground through the speed changes of the aforementioned waves, due to the fact that the speeds They are a function of the dynamic properties of the soil. It is worth mentioning that the seismic refraction method is based on the basic principles of light rays.

The seismic refraction method procedure consists of the generation of seismic waves through the energy source (hammer with variable weight according to the depth of study), then the geophones capture the vibrations which are registered by the seismograph, for finally the information will be processed in the SeisImager 2D software.

Our project consists of 15 seismic lines of 46m each, worked in an area of 5.04 hectares in the Human Settlement "Pueblo de Huamán". When obtaining the seismic waves, the data was processed in the Pickwin module of the SeisImager 2D Software, obtaining the arrival times for the processing of the dromochrons in the Plotrefa module, which allowed identifying the different strata with their respective ranges of speeds.

According to the results obtained following the ASTM D5777 standard, it is concluded that the first stratum of the study area consists of a dry sand soil and weathered soil up to a maximum depth of 6.60m, the second stratum is formed by saturated sand up to a maximum depth of 9.00m and the third stratum is formed by saturated sand to dry sand at greater depths, following a saturated sandy soil at greater depths, and at the same time there are areas where there is presence of water. Therefore, it is concluded that the soil of the human settlement "Pueblo de Huamán" has the presence of water at a greater depth.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	22
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	24
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	25
1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	25
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	25
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	25
2. MARCO DE REFERENCIA	26
2.1. ANTECEDENTES	26
2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	28
2.2.1. ONDAS SÍSMICAS	28
2.2.2. REFRACCIÓN SÍSMICA	38
2.3. MARCO CONCEPTUAL	63
2.4. HIPÓTESIS	64
2.5. VARIABLES E INDICADORES	64
2.5.1. VARIABLE	64
2.5.2. DIMENSIONES	64
2.5.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	65
3. METODOLOGÍA EMPLEADA	66
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	66

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	66
3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	66
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO	66
3.2.1. POBLACIÓN	66
3.2.2. MUESTRA	66
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	66
3.3.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	66
3.3.2. REFRACCION SISMICA	67
3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	67
3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	68
4. RESULTADOS	68
4.1. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	68
4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	68
4.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	68
4.2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS EN CAMPO.....	72
4.2.3. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	82
4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS	88
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	88
CONCLUSIONES.....	104
RECOMENDACIONES	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Delimitación del área de estudio	24
Tabla 2.1. Rango usual de velocidades de compresión	30
Tabla 2.2. Rango de velocidades para ondas P en suelos y rocas	30
Tabla 2.3. Longitud de la línea de tendido	43
Tabla 2.5.1. Dimensiones e indicadores de las variables	65
Tabla 4.1. Coordenadas UTM WGS84 del área de estudio.....	69
Tabla 4.2. Ensayos realizados de acuerdo a las fechas.....	75
Tabla 4.3. Parámetros de adquisición.....	81
Tabla 5.1. Resultados obtenidos de la línea LS-01.....	89
Tabla 5.2. Resultados obtenidos de la línea LS-02.....	90
Tabla 5.3. Resultados obtenidos de la línea LS-03.....	91
Tabla 5.4. Resultados obtenidos de la línea LS-04.....	92
Tabla 5.5. Resultados obtenidos de la línea LS-05.....	93
Tabla 5.6. Resultados obtenidos de la línea LS-06.....	94
Tabla 5.7. Resultados obtenidos de la línea LS-07.....	95
Tabla 5.8. Resultados obtenidos de la línea LS-08.....	96
Tabla 5.9. Resultados obtenidos de la línea LS-09.....	97
Tabla 5.10. Resultados obtenidos de la línea LS-10.....	98
Tabla 5.11. Resultados obtenidos de la línea LS-11.....	99
Tabla 5.12. Resultados obtenidos de la línea LS-12.....	100
Tabla 5.13. Resultados obtenidos de la línea LS-13.....	101
Tabla 5.14. Resultados obtenidos de la línea LS-14.....	102
Tabla 5.15. Resultados obtenidos de la línea LS-15.....	103
Tabla 1. Resultados obtenidos de las líneas sísmicas.....	104
Tabla 2. Coordenadas UTM WGS84 de BM's.....	115
Tabla 3. Coordenadas UTM WGS84 de estaciones	115
Tabla 4. Coordenadas UTM WGS84 del levantamiento topográfico	115
Tabla 5. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-01.....	138
Tabla 6. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-02.....	139
Tabla 7. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-03.....	140
Tabla 8. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-04.....	141
Tabla 9. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-05.....	142

Tabla 10. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-06.....	143
Tabla 11. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-07.....	144
Tabla 12. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-08.....	145
Tabla 13. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-09.....	146
Tabla 14. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-10.....	147
Tabla 15. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-11.....	148
Tabla 16. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-12.....	149
Tabla 17. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-13.....	150
Tabla 18. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-14.....	151
Tabla 19. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-15.....	152
Tabla 20. Valores de RMS	199

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1.</i> Área de estudio	24
<i>Figura 2.1.</i> Elementos de una onda	29
<i>Figura 2.2.</i> Propagación de una onda P.....	29
<i>Figura 2.3.</i> Propagación de la onda S	31
<i>Figura 2.4.</i> Propagación de la onda Love	32
<i>Figura 2.5.</i> Propagación de onda Rayleigh	32
<i>Figura 2.6.</i> Desplazamiento y profundidad normalizados de onda Rayleigh en semiespacio homogéneo	33
<i>Figura 2.7.</i> Principio Huygens en un medio homogéneo.....	35
<i>Figura 2.8.</i> Reflexión interna total proveniente de la fuente S	36
<i>Figura 2.9.</i> Principio de Fermat	36
<i>Figura 2.10.</i> Reflexión y refracción, Ley de Snell.....	37
<i>Figura 2.11.</i> Esquema de refracción sísmica y reflexión sísmica	39
<i>Figura 2.12.</i> Esquema conceptual de refracción sísmica	41
<i>Figura 2.13.</i> Diagrama de trayectoria de rayos	43
<i>Figura 2.14.</i> Ejemplo de registro en el sismógrafo de refracción sísmica	44
<i>Figura 2.15.</i> Curva tiempo-distancia.....	44
<i>Figura 2.16.</i> Ley de las velocidades aparentes.....	46
<i>Figura 2.17.</i> Principio de reciprocidad.....	47
<i>Figura 2.18.</i> Tiempo de intercepto en el origen	48
<i>Figura 2.19.</i> Principio del paralelismo.....	48
<i>Figura 2.20.</i> Refracción en dos estratos	49
<i>Figura 2.21.</i> Curva tiempo-distancia de dos estratos	49
<i>Figura 2.22.</i> A). Diagrama de rayos refractados. B). Curva de tiempo-distancia.....	51
<i>Figura 2.23.</i> A). Diagrama de rayos refractados. B). Curva de tiempo-distancia.....	53
<i>Figura 2.24.</i> Diagrama de rayos refractados	56
<i>Figura 2.25.</i> Dromocrona para el trazo de rayos emergentes.	57
<i>Figura 2.26.</i> Trazo de rayos emergentes	58
<i>Figura 2.27.</i> Diagrama de rayos refractados	59
<i>Figura 2.28.</i> Tiempos de marcha del refractor	60
<i>Figura 2.29.</i> Tiempos de marcha del refractor	61
<i>Figura 4.1.</i> Área de estudio	69

<i>Figura 4.2.</i> Vía de acceso a la zona de estudio	70
<i>Figura 4.3.</i> Topografía de la zona de estudio.....	71
<i>Figura 4.4.</i> Ubicación de zona de estudio	71
<i>Figura 4.5.</i> Geomorfología del distrito de Víctor Larco	72
<i>Figura 4.6.</i> Esquema simple de líneas sísmicas	76
<i>Figura 4.7.</i> Esquema de líneas sísmicas con curvas de nivel.....	76
<i>Figura 4.8.</i> Esquema de líneas sísmicas georeferenciado.....	77
<i>Figura 4.9.</i> Esquema de una línea sísmica y sus puntos de disparo.....	82
<i>Figura 4.10.</i> Registro sísmico LS-05-01 obtenido sin modificar.....	83
<i>Figura 4.11.</i> Selección de tiempos de arribo de la línea LS-05.....	84
<i>Figura 4.12.</i> Dromocronas de la línea sísmica LS-05.....	85
<i>Figura 4.13.</i> Dromocronas de la línea sísmica LS-06.....	85
<i>Figura 4.14.</i> RMS error de inversión de matriz de las dromocronas de la línea sísmica LS-05.....	86
<i>Figura 4.15.</i> Modelo inicial determinado por el método Time-term de la línea sísmica LS-05.....	87
<i>Figura 4.16.</i> Modelamiento tomográfico del perfil de la línea sísmica LS-05.....	87
<i>Figura 4.17.</i> Modelamiento de perfil sísmico con inversión final de la línea sísmica LS-05.....	88
<i>Figura 5.1.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-01.....	89
<i>Figura 5.2.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-02.....	90
<i>Figura 5.3.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-03.....	91
<i>Figura 5.4.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-04.....	92
<i>Figura 5.5.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-05.....	93
<i>Figura 5.6.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-06.....	94
<i>Figura 5.7.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-07.....	95
<i>Figura 5.8.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-08.....	96
<i>Figura 5.9.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-09.....	97
<i>Figura 5.10.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-10.....	98
<i>Figura 5.11.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-11.....	99
<i>Figura 5.12.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-12.....	100
<i>Figura 5.13.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-13.....	101
<i>Figura 5.14.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-14.....	102
<i>Figura 5.15.</i> Perfil sísmico de la línea sísmica LS-15.....	103

<i>Figura 1.</i> Registro sísmico de la línea LS-01-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	153
<i>Figura 2.</i> Registro sísmico de la línea LS-01-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	153
<i>Figura 3.</i> Registro sísmico de la línea LS-01-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	154
<i>Figura 4.</i> Registro sísmico de la línea LS-01-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	154
<i>Figura 5.</i> Registro sísmico de la línea LS-01-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	155
<i>Figura 6.</i> Registro sísmico de la línea LS-02-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	155
<i>Figura 7.</i> Registro sísmico de la línea LS-02-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	156
<i>Figura 8.</i> Registro sísmico de la línea LS-02-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	156
<i>Figura 9.</i> Registro sísmico de la línea LS-02-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	157
<i>Figura 10.</i> Registro sísmico de la línea LS-02-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	157
<i>Figura 11.</i> Registro sísmico de la línea LS-03-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	158
<i>Figura 12.</i> Registro sísmico de la línea LS-03-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	158
<i>Figura 13.</i> Registro sísmico de la línea LS-03-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	159
<i>Figura 14.</i> Registro sísmico de la línea LS-03-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	159
<i>Figura 15.</i> Registro sísmico de la línea LS-03-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	160
<i>Figura 16.</i> Registro sísmico de la línea LS-04-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	160
<i>Figura 17.</i> Registro sísmico de la línea LS-04-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	161

<i>Figura 18.</i> Registro sísmico de la línea LS-04-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	161
<i>Figura 19.</i> Registro sísmico de la línea LS-04-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	162
<i>Figura 20.</i> Registro sísmico de la línea LS-04-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	162
<i>Figura 21.</i> Registro sísmico de la línea LS-05-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	163
<i>Figura 22.</i> Registro sísmico de la línea LS-05-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	163
<i>Figura 23.</i> Registro sísmico de la línea LS-05-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	164
<i>Figura 24.</i> Registro sísmico de la línea LS-05-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	164
<i>Figura 25.</i> Registro sísmico de la línea LS-05-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	165
<i>Figura 26.</i> Registro sísmico de la línea LS-06-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	165
<i>Figura 27.</i> Registro sísmico de la línea LS-06-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	166
<i>Figura 28.</i> Registro sísmico de la línea LS-06-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	166
<i>Figura 29.</i> Registro sísmico de la línea LS-06-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	167
<i>Figura 30.</i> Registro sísmico de la línea LS-06-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	167
<i>Figura 31.</i> Registro sísmico de la línea LS-07-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	168
<i>Figura 32.</i> Registro sísmico de la línea LS-07-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	168
<i>Figura 33.</i> Registro sísmico de la línea LS-07-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	169
<i>Figura 34.</i> Registro sísmico de la línea LS-07-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	169

<i>Figura 35.</i> Registro sísmico de la línea LS-07-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	170
<i>Figura 36.</i> Registro sísmico de la línea LS-08-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	170
<i>Figura 37.</i> Registro sísmico de la línea LS-08-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	171
<i>Figura 38.</i> Registro sísmico de la línea LS-08-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	171
<i>Figura 39.</i> Registro sísmico de la línea LS-08-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	172
<i>Figura 40.</i> Registro sísmico de la línea LS-08-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	172
<i>Figura 41.</i> Registro sísmico de la línea LS-09-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	173
<i>Figura 42.</i> Registro sísmico de la línea LS-09-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	173
<i>Figura 43.</i> Registro sísmico de la línea LS-09-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	174
<i>Figura 44.</i> Registro sísmico de la línea LS-09-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	174
<i>Figura 45.</i> Registro sísmico de la línea LS-09-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	175
<i>Figura 46.</i> Registro sísmico de la línea LS-10-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	175
<i>Figura 47.</i> Registro sísmico de la línea LS-10-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	176
<i>Figura 48.</i> Registro sísmico de la línea LS-10-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	176
<i>Figura 49.</i> Registro sísmico de la línea LS-10-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	177
<i>Figura 50.</i> Registro sísmico de la línea LS-10-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	177
<i>Figura 51.</i> Registro sísmico de la línea LS-11-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	178

<i>Figura 52.</i> Registro sísmico de la línea LS-11-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	178
<i>Figura 53.</i> Registro sísmico de la línea LS-11-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	179
<i>Figura 54.</i> Registro sísmico de la línea LS-11-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	179
<i>Figura 55.</i> Registro sísmico de la línea LS-11-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	180
<i>Figura 56.</i> Registro sísmico de la línea LS-12-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	180
<i>Figura 57.</i> Registro sísmico de la línea LS-12-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	181
<i>Figura 58.</i> Registro sísmico de la línea LS-12-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	181
<i>Figura 59.</i> Registro sísmico de la línea LS-12-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	182
<i>Figura 60.</i> Registro sísmico de la línea LS-12-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	182
<i>Figura 61.</i> Registro sísmico de la línea LS-13-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	183
<i>Figura 62.</i> Registro sísmico de la línea LS-13-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	183
<i>Figura 63.</i> Registro sísmico de la línea LS-13-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	184
<i>Figura 64.</i> Registro sísmico de la línea LS-13-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	184
<i>Figura 65.</i> Registro sísmico de la línea LS-13-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	185
<i>Figura 66.</i> Registro sísmico de la línea LS-14-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	185
<i>Figura 67.</i> Registro sísmico de la línea LS-14-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	186
<i>Figura 68.</i> Registro sísmico de la línea LS-14-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	186

<i>Figura 69.</i> Registro sísmico de la línea LS-14-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	187
<i>Figura 70.</i> Registro sísmico de la línea LS-14-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	187
<i>Figura 71.</i> Registro sísmico de la línea LS-15-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).	188
<i>Figura 72.</i> Registro sísmico de la línea LS-15-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).....	188
<i>Figura 73.</i> Registro sísmico de la línea LS-15-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).	189
<i>Figura 74.</i> Registro sísmico de la línea LS-15-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).	189
<i>Figura 75.</i> Registro sísmico de la línea LS-15-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).	190
<i>Figura 76.</i> Dromocronas de la línea LS-01	191
<i>Figura 77.</i> Dromocronas de la línea LS-02.....	191
<i>Figura 78.</i> Dromocronas de la línea LS-03.....	192
<i>Figura 79.</i> Dromocronas de la línea LS-04.....	192
<i>Figura 80.</i> Dromocronas de la línea LS-05.....	193
<i>Figura 81.</i> Dromocronas de la línea LS-06.....	193
<i>Figura 82.</i> Dromocronas de la línea LS-07.....	194
<i>Figura 83.</i> Dromocronas de la línea LS-08.....	194
<i>Figura 84.</i> Dromocronas de la línea LS-09.....	195
<i>Figura 85.</i> Dromocronas de la línea LS-010.....	195
<i>Figura 86.</i> Dromocronas de la línea LS-11.....	196
<i>Figura 87.</i> Dromocronas de la línea LS-12.....	196
<i>Figura 88.</i> Dromocronas de la línea LS-13.....	197
<i>Figura 89.</i> Dromocronas de la línea LS-14.....	197
<i>Figura 90.</i> Dromocronas de la línea LS-15.....	198
<i>Figura 91.</i> Perfil sísmico de la línea LS-01.....	200
<i>Figura 92.</i> Perfil sísmico de la línea LS-02.....	201
<i>Figura 93.</i> Perfil sísmico de la línea LS-03.....	202
<i>Figura 94.</i> Perfil sísmico de la línea LS-04.....	203
<i>Figura 95.</i> Perfil sísmico de la línea LS-05.....	204

<i>Figura 96.</i> Perfil sísmico de la línea LS-06.....	205
<i>Figura 97.</i> Perfil sísmico de la línea LS-07.....	206
<i>Figura 98.</i> Perfil sísmico de la línea LS-08.....	207
<i>Figura 99.</i> Perfil sísmico de la línea LS-09.....	208
<i>Figura 100.</i> Perfil sísmico de la línea LS-10.....	209
<i>Figura 101.</i> Perfil sísmico de la línea LS-11.....	210
<i>Figura 102.</i> Perfil sísmico de la línea LS-12.....	211
<i>Figura 103.</i> Perfil sísmico de la línea LS-13.....	212
<i>Figura 104.</i> Perfil sísmico de la línea LS-14.....	213
<i>Figura 105.</i> Perfil sísmico de la línea LS-15.....	214

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las obras civiles con el paso del tiempo se convierten más innovadoras que mejoran la calidad de vida del hombre, es por ello, que, de acuerdo a ese avance innovador, los estudios complementarios y diseños deben ser realizados con más precisión o complementarse con distintos métodos. Cabe mencionar que lo fundamental en una obra civil es el estudio de suelos, puesto que a partir de ello se obtienen los parámetros básicos que nos permiten diseñar una estructura.

Actualmente, diferentes países, como Chile, El Salvador, Ecuador, entre otros, están aplicando y mejorando metodologías con el propósito de obtener información relevante de las condiciones del suelo, tal es el caso de los métodos modernos de la exploración geofísica (refracción sísmica, Dow-Hole, Up-Hole, MASW, etc.) a fin de zonificar de manera horizontal y vertical todo el suelo de interés antes de ejecutar sondeos mecánicos, puesto que los sondeos mecánicos, las calicatas, entre otros, definen al suelo a partir un sondeo representativo de su eje vertical. Los ensayos geofísicos son un complemento de los métodos convencionales de la exploración del suelo con el propósito de obtener información más detallada tanto horizontal como verticalmente. Dichos métodos geofísicos se basan en el análisis de las velocidades de ondas sísmicas y cuentan con equipos asistidos por softwares, de acuerdo a lo que menciona López, Mejía y Danilo (2008).

El Perú en el sector de construcción ha crecido en el último periodo, además, de acuerdo al Instituto de Economía y Desarrollo Empresarial (IEDEP), el sector de la construcción crecería de un 4.1% del 2019 a un 6.5% en el 2020 (Gestión, 2019). El cual implica que el análisis del suelo se desarrolle por métodos convencionales como se ha hecho hasta ahora, puesto que aún se desconoce la metodología de los ensayos geofísicos y sus facilidades. Las empresas que llevan a cabo ensayos geofísicos, como es el ensayo de refracción sísmica, son pocas, debido a su desconocimiento técnico.

Por otro lado, en La Libertad, el sector de la construcción se ha convertido en un papel importante para el desarrollo de la región, siendo Trujillo la ciudad con más

incremento de construcción. Debido al crecimiento de la construcción, se ha llevado a cabo ciertas investigaciones del suelo, tal es la micro zonificación sísmica del Centro Cívico de Trujillo, realizada por el Dr. Enrique Luján en el año 2011; el cual con lleva a realizar investigaciones acerca de los suelos de los distritos que conforman dicha provincia por su carencia de base de datos.

Como ya se había mencionado anteriormente, la base de un proyecto es el estudio de suelo, debido a que las condiciones del suelo permiten determinar los parámetros, tales como: la estratigrafía del sitio, compacidad del subsuelo de fundación, definición del tipo de cimentación a utilizar y su dimensionamiento, cota de fundación en la que se encuentra el suelo sano y firme, determinación de fallas, determinación del nivel freático, etc. Para obtener dichos parámetros se realizan ensayos de campo de manera directa, siendo los más comunes las calicatas. En ciertas ocasiones estos métodos no son tan eficientes debido a ciertas desventajas mencionadas por López et. al. (2008), tales como:

- Profundidad de reconocimiento limitada.
- Desmoronamiento en paredes de calicatas.
- El proceso de excavación cambiará las características de resistencia del terreno.
- Presencia de nivel freático.

Por lo cual, es necesario complementar con otros métodos, tal como la refracción sísmica, el cual es un ensayo indirecto. La refracción sísmica puede llegar a determinar de manera indirecta el estrato del suelo analizando así el tiempo de propagación de las ondas de compresión y determinando si el suelo es denso o no (Rivera, Piedra y Paripanca, 2016).

Por lo tanto, nuestra investigación se basa en la aplicación del Método de Refracción Sísmica para elaborar el perfil de ondas P, siendo el área de investigación el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”, Distrito Víctor Larco. El cual se realizará la investigación en un área de 5.05ha, delimitada por el norte por la Calle Rubén Darío; por el sur, por la calle D y E; por el este, por la Av. Prolongación César Vallejo; y por el oeste, por la Calle 18. El área de estudio se encuentra en un crecimiento de construcción de edificios con alturas mayores de 5

pisos, además se deduce que hay existencia de napa freática por la ubicación cercana al mar.

Con lo expuesto anteriormente, nuestro objetivo es obtener la estratigrafía del suelo mediante el método de refracción sísmica, de acuerdo a lo indicado en la Norma ASTM-5777 “Standar Guide for Using the Seismic Refraction method for Subsurface Investigation”, además de la presentación de la metodología del método de refracción sísmica con propósitos académicos y técnicos.

1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El área de estudio es el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán” ubicado en el Distrito Víctor Larco, provincia Trujillo, Región La Libertad (ver anexo 1), cuya delimitación es la siguiente:

Tabla 1.1. Delimitación del área de estudio

Punto cardinal	Calle/Avenida
Norte	Rubén Darío
Sur	Calle D y Calle E
Este	Av. Prolongación César Vallejo
Oeste	Calle 18

Fuente: Elaboración propia



Figura 1.1. Área de estudio

Fuente: Google Earth Pro

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los perfiles de ondas P aplicando el método de refracción sísmica en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”, Distrito Víctor Larco?

1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar los perfiles de ondas P aplicando el método de refracción sísmica en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”, Distrito Víctor Larco.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar el levantamiento topográfico del Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán” para obtener su planimetría.
2. Realizar 15 puntos del Ensayo de Refracción Sísmica en el área de estudio.
3. Procesar los datos obtenidos de los ensayos de refracción sísmica usando el Software PASI Gea24.
4. Clasificar las ondas P de acuerdo al rango de velocidades de la norma ASTM D-5777 “Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation”.
5. Elaborar los perfiles de ondas P del Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán” usando el Software Seisimager/2D.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Esta investigación se justifica académicamente porque permitirá tener un mejor dominio y conocimiento acerca de la propagación sísmica aplicada en el comportamiento del suelo, así como la metodología y aplicación del ensayo de refracción sísmica. Se pretende crear un documento base para futuras investigaciones a través de este método.

Por otro lado, esta investigación se justifica socialmente porque el Distrito de Víctor Larco no cuenta con información sobre las características del suelo, es por ello que esta investigación ayudará en la recopilación de datos para las construcciones futuras en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”, así como

en la toma de decisiones del sector público o privado respecto a los proyectos de importancia que se puedan considerar en el asentamiento, debido a que se conocerá el perfil del suelo y se sabrá si el suelo es compacto o no, y si existe la presencia de agua subterránea.

Por último, esta investigación se justifica de manera práctica debido a que la información recopilada permitirá crear una base de datos y el reconocimiento del terreno, que ayudarán a los profesionales que planteen nuevas edificaciones en el área de estudio. Así como también, incentivar al uso práctico del método de refracción sísmica complementando al sondeo geotécnico en distintos proyectos, y así analizar el suelo de manera vertical y longitudinal.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. ANTECEDENTES

- **Juan Fernando Avilés Tapia, Bryan Iván Barzallo Urgilés. 2016. *Caracterización de Suelos del Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca mediante Métodos Geofísicos.*** En su investigación tuvo por objetivo la caracterización geotécnica de tres lugares que forman parte de la ciudad de Cuenca, Ecuador, con los ensayos de refracción sísmica, el ensayo MASW, el ensayo ReMi y ESAC. En el cual concluyen que la consistencia del suelo varía de blanda a más dura y que a mayores valores de V_p , en cada línea levantada en campo corresponde a zonas donde la capacidad admisible es mayor, el cual da una clara idea de la resistividad que tiene el suelo. También concluye que los métodos de prospección geofísica resultan muy exactos a la hora de establecer profundidades de los estratos, mientras que el método SPT, permite determinar las características de cierto estrato, a cierta profundidad, o a la profundidad a la
- cual se realice la perforación. Además, por efectos prácticos, realizar estudios de prospección geofísica o sísmica de refracción, resulta mucho más eficaz, puesto que son métodos no invasivos, y, por lo tanto, menos costosos. Esta tesis aportará a nuestro trabajo de investigación teóricamente con los conceptos básicos de propagación de ondas sísmicas, así como el modelo de desarrollo de los ensayos de refracción sísmica, junto con la interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos.

- **Luis Armando Ali Murillo. 2016. *Métodos de Prospección Geofísica Aplicados a la Investigación Geotécnica para Estudio del Recrecimiento de una Presa de Relaves en el Distrito de Ovolo.*** En su investigación tuvo por objetivo determinar la velocidad de propagación de las ondas P (V_p) y ondas S (V_s) mediante ensayos de refracción sísmica, MASW, MAM y MASW 2D. Determinó la estratigrafía del terreno con el ensayo de refracción sísmica con una longitud de línea de 72m a 84m, siendo 540m del ensayo de refracción sísmica; en el que concluye que un estrato superficial está conformado por un material de suelo muy denso, con velocidades de ondas P (V_p) que van desde 500 m/s hasta 900 m/s y posee un espesor que varía entre 0.7 m a 4.3 m. El segundo estrato correspondería a un suelo muy denso a roca fracturada, con velocidades de ondas P (V_p) entre 900 m/s a 1800m/s y posee un espesor que varía entre 6.5 m a 25.7 m que fue el límite de profundidad de exploración en esta zona. Esta tesis aportará a nuestro trabajo de investigación con la metodología de los ensayos de refracción sísmica, junto con la interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos.
- **Saulo Yoel López Montalbán. 2016. *Ensayos Geofísicos para la Exploración de Suelos en Estructuras Patrimoniales.*** El objetivo principal de esta investigación fue comprender y aplicar los ensayos geofísicos como métodos no invasivos para el uso geotécnico en la exploración de suelos de obras patrimoniales en el cual se determinó el perfil del suelo y las velocidades de onda de corte (V_s) para estimar el módulo de corte y elasticidad. La investigación concluyó en que los métodos geofísicos demostraron ser una buena alternativa de solución para la exploración de suelo en las obras patrimoniales con fines geotécnicos, debido a sus resultados aceptables, su naturaleza no destructiva y el poco tiempo que toma el trabajo en campo. En la Huaca de la luna se obtuvieron resultados comparables en lo que se refiere al perfil estratigráfico, que está comprendida por arena medio densa de 5.5 m de espesor, seguido por una arena muy densa de 6 a 13 metros aproximadamente y que están soportados por dos estratos rígidos que podrían ser roca erosionada y en el fondo roca fresca. Esta investigación nos permitirá tener un análisis en la variación de la velocidad de onda de compresión en relación al perfil estratigráfico que se presenta en la cimentación de la estructura patrimonial.

2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1. ONDAS SÍSMICAS

Mendoza (2015) menciona que en un medio geológico las ondas son llamadas ondas sísmicas y estas a su vez se dividen en superficiales y ondas de cuerpo. Por lo tanto, los ensayos geofísicos sísmicos se basan en la propagación sísmica siendo las ondas compresionales (Ondas P) y ondas de corte (Ondas S) en un medio el cual es considerado como elástico para el nivel de deformaciones provocado (Ali, 2016). La provocación de las ondas sísmicas puede producir una perturbación al detonar una carga y/o generar una vibración.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, las ondas sísmicas son consideradas como una pequeña cantidad de energía elástica de deformación el cual viaja a través del suelo desde la fuente de energía a velocidades que dependen tanto de las densidades del medio por el cual viajan como del módulo de elasticidad de este (Lazcano, 2007).

2.2.1.1. Elementos de una onda

Los elementos de una onda son:

- **Amplitud (A):** altura de la onda por encima del nivel de referencia.
- **Período (T):** tiempo entre las repeticiones consecutivas, en segundos.
- **Frecuencia (f):** número de onda por unidad de tiempo, en Hz.
- **Longitud de onda (λ):** la distancia entre las repeticiones consecutivas de la onda, en metros.
- **Número de onda:** número de onda por unidad de distancia.
- **Fase (θ):** el desplazamiento en unidades de fracciones del ciclo a partir de un punto dado en la onda.
- **Velocidad (V):** el número de ondas que pasan por el mismo punto por unidad de tiempo.

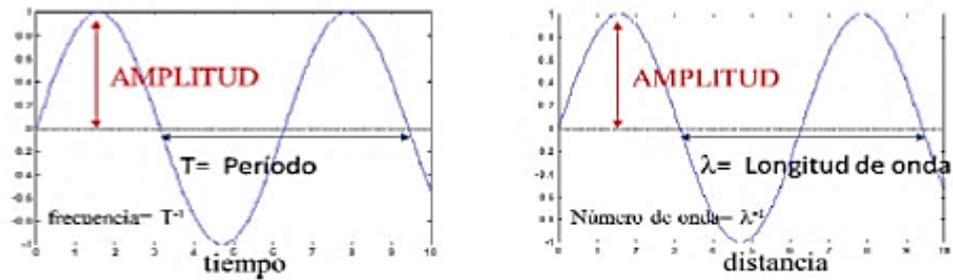


Figura 2.1. Elementos de una onda

Fuente: Curso de Interpretación sísmica Campo Escuela Colorado, 2011
(citado en Avilés y Barzallo, 2016)

2.2.1.2. Ondas de cuerpo

Las ondas de cuerpo vienen a ser aquellas que viajan a través del interior del planeta, incluso se adentran a grandes profundidades (Ali, 2016). A su vez dentro de ellas se encuentran las ondas P y ondas S.

a) Ondas P

Las ondas P también son llamadas ondas longitudinales o compresionales, son aquellas que el sentido de la propagación coincide con el sentido de la propagación (López, 2016). Dicho movimiento es semejante a un resorte comprimido, que, si lo soltamos, este se va a extender en la dirección indicada por la flecha (figura 2.2), y va a comprimir al material que está junto a él. Esta comparación refleja exactamente cómo es que las ondas P pueden hacer vibrar a las partículas del suelo produciendo compresión y dilatación según como lo indica López et. al. (2008).

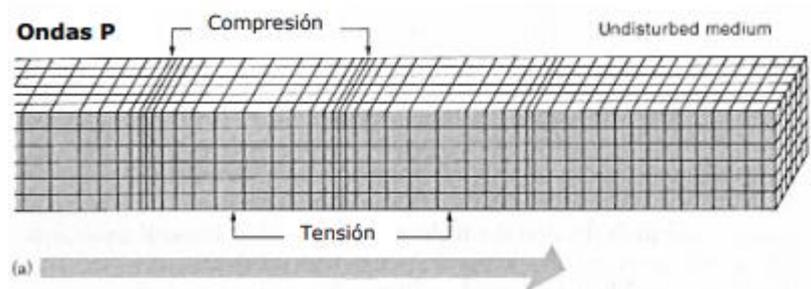


Figura 2.2. Propagación de una onda P

Fuente: Lazcano, 2007

Lazcano (2007) menciona que las ondas P viajan a una velocidad entre 70% y 140% más que las ondas S. Por lo tanto, son las de mayor velocidad y más fáciles de generar y registrar. Por otro lado, Jakovsky (como se citó en Manilla, 2003) indica valores de acuerdo al tipo de material del suelo, como se indica en la tabla 2.1:

Tabla 2.1. Rango usual de velocidades de compresión

Material	Velocidad de compresión (m/s)
Material superficial (capa da alteración de suelos y rocas)	305 a 610
Grava, arena y arcillas (secas y húmedas)	468 a 915
Arena húmeda	610 a 1830
Areniscas y lutitas	1830 a 4270
Caliza	2140 a 6100
Granito	4580 a 5800
Rocas metamórficas	3050 a 7020

Fuente: Jakovsky (1950) (citado en Manilla, 2003)

Por otro lado, la ASTM D5777 establece el rango de velocidades para ondas P en suelos y rocas.

Tabla 2.2. Rango de velocidades para ondas P en suelos y rocas

Material	Velocidad (m/s)
Suelo intemperizado	240 a 610
Grava o arena seca	460 a 915
Arena saturada	1220 a 1830
Arcilla saturada	910 a 2750
Agua	1430 a 1665
Agua de mar	1460 a 1525
Arenisca	1830 a 3960
Esquisto, arcilla esquitosa	2750 a 4270

Material	Velocidad (m/s)
Tiza o Yeso	1830 a 3960
Caliza	2134 a 6100
Granito	4575 a 5800
Rocas metamórficas	3050 a 7020

Fuente: ASTM D-5777

b) Ondas S

Las ondas S también son llamadas ondas transversales u ondas de corte, las partículas se mueven perpendicularmente al sentido de la propagación por efecto del esfuerzo de corte (Avilés y Barzallo, 2016). Dicho movimiento es semejante a una cuerda si se mueve hacia arriba y hacia abajo desde sus extremos como se muestra en la figura 2.3, de tal manera la onda viaja perpendicularmente a la dirección del desplazamiento.

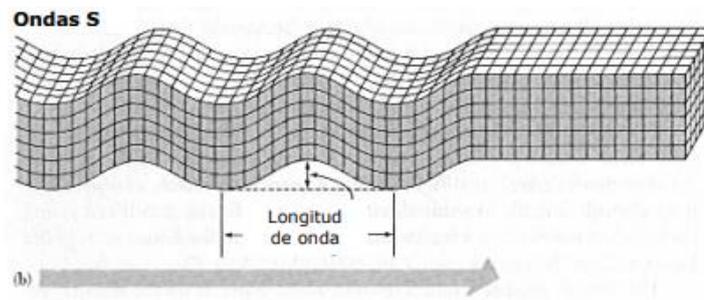


Figura 2.2.3. Propagación de la onda S

Fuente: Lazcano (2007)

2.2.1.3. Ondas Superficiales

Las ondas superficiales son aquellas ondas que viajan por la superficie del terreno y tienen a ser las más lentas que las ondas de cuerpo; sin embargo, causan más daño cuando hay un terremoto (Paulido y Rodríguez, 2015).

a) Ondas Love

Estas ondas tienen una propagación similar que las ondas S, el cual hacen vibrar a las partículas de manera horizontal en sentido perpendicular a la propagación, pero no existe el movimiento vertical. Además, las ondas love

solo ocurren en donde un medio de ondas S de baja velocidad choca con una onda S de mayor velocidad (Aviles y Barzallo, 2016).

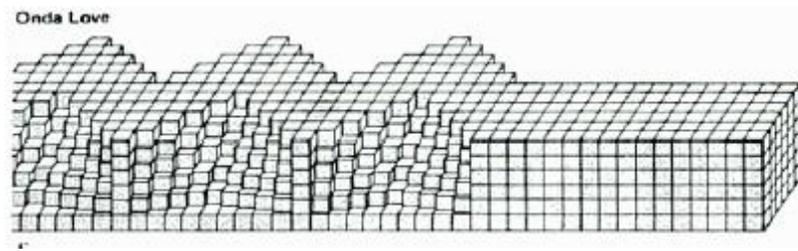


Figura 2.4. Propagación de la onda Love

Fuente: Bolt, 1976 (citado en Pulido y Rodríguez, 2015)

b) Ondas Rayleigh

Las Ondas Rayleigh se forman en la superficie y desplazan a las partículas según una trayectoria elíptica retrograda (movimiento elíptico horizontal y vertical simultáneamente) (Pulido y Rodríguez, 2015). Por otro lado, las ondas Rayleigh son las causantes de las sacudidas sentidas durante un terremoto, por ello, son las responsables de los daños estructurales.

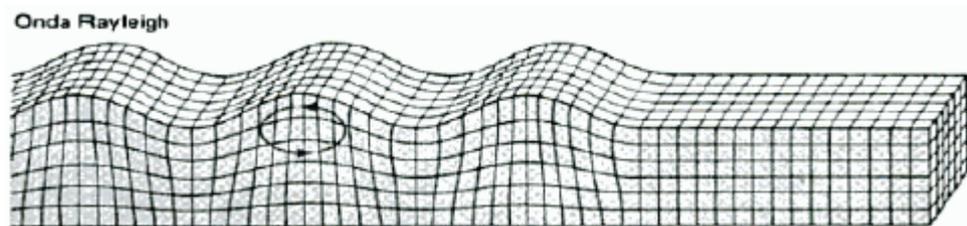


Figura 2.5. Propagación de onda Rayleigh

Fuente: Bolt, 1976 (citado en Paulido y Rodríguez, 2015)

Foti (2000) menciona que el desplazamiento de las partículas decrece exponencialmente con la profundidad; por lo tanto, la propagación afecta solo a la capa de suelo de profundidad que es igual a la longitud de onda ($z=\lambda$), además que las características mecánicas de los suelos inferiores no influyen en la propagación de las ondas Rayleigh.

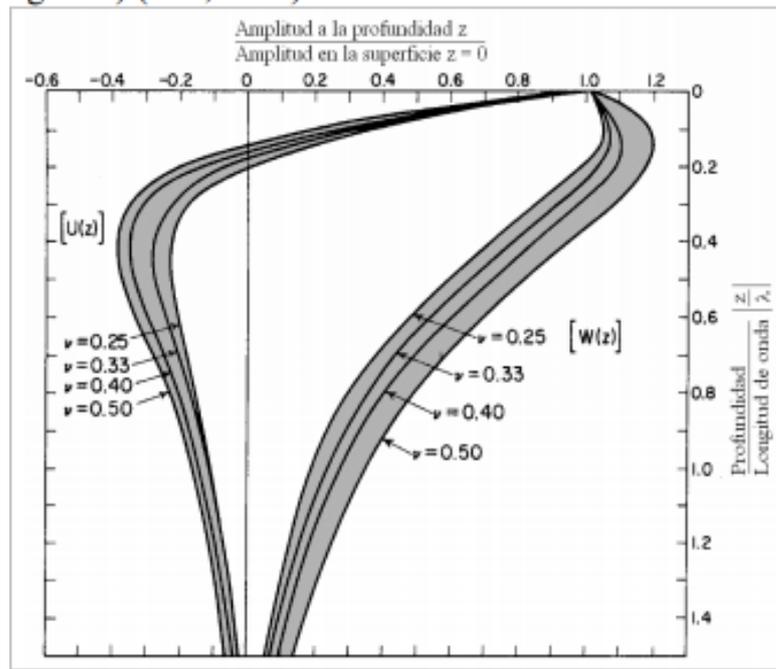


Figura 2.2.6. Desplazamiento y profundidad normalizados de onda Rayleigh en semiespacio homogéneo

Fuente: Stokoe y Santamarina, 2000 (citado en Czelada, 2009)

2.2.1.4. Constantes elásticas dinámicas

Las constantes elásticas dinámicas permiten la relación entre las velocidades de ondas P y S, siendo las siguientes que menciona Alva (2013):

a) Módulo de corte (G)

Viene a ser la relación entre la tensión y la deformación de corte por lo que es una medida de la dureza del material.

$$G = \rho V_s^2 \quad (2.1)$$

$$\rho = 0.2 V_p^{0.25} \quad (2.2)$$

b) Relación de Poisson (μ)

Se considera como la medida de la contracción lateral del material, por lo que es la relación entre las deformaciones unitarias transversal y longitudinal.

$$\mu = \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{2 \left[\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 1\right]} \quad (2.3)$$

c) Módulo de elasticidad (E)

Definido como el esfuerzo por unidad de deformación.

$$E = 2(1 + \mu)G \quad (2.4)$$

Sheriff (1991) indica que teóricamente en un medio elástico isótropo la velocidad de ondas P viene a estar dada por:

$$V_P = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}G}{\rho}} \quad (2.5)$$

Mientras que la velocidad de las ondas S viene a estar dada por:

$$V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (2.6)$$

2.2.1.5. Principios generales

Para poder estudiar la propagación de ondas de volumen en el terreno se aplican conceptos básicos de propagación de rayos de luz como el principio de Huygens, principio de Fermat y la ley de Snell (Dobrin, 1975).

d) Principio de Huygens

Cantos (1973) menciona que este principio establece que cada punto alcanzado por un frente de ondas actúa como origen de un nuevo frente de ondas que se extiende en todas las direcciones. Para ello se describen dos casos:

- **Si el medio es homogéneo**, entonces en cualquier momento t , el frente de ondas es esférico; un poco más tarde en el tiempo $t + \Delta t$, cada frente de onda producirá pequeños frentes de ondas esféricos con un radio de

$C \cdot \Delta t$, donde C es la velocidad del medio. En el tiempo $t + \Delta t$, el nuevo frente de ondas se convertirá en la envoltura de todos los pequeños frentes de onda y, por lo tanto, se convertirá en una esfera concéntrica con el frente de onda original.

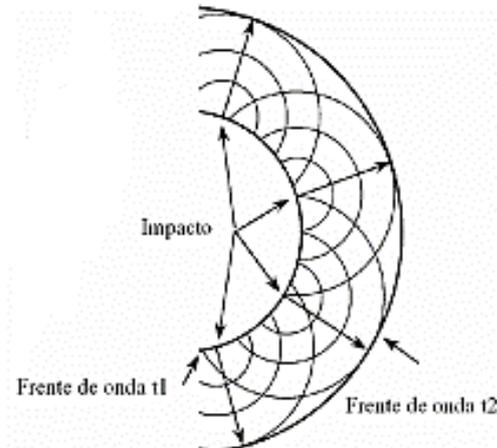


Figura 2.7. Principio Huygens en un medio homogéneo

Fuente: Czelada, 2009

- **Si el medio no es homogéneo**, cada elemento del frente de ondas se traslada de manera paralela a sí mismo durante el tiempo Δt , pero la velocidad a lo largo del frente de onda es diferente, por lo que el nuevo frente de ondas no será paralelo al primero.

Cabe mencionar que cuando el ángulo de incidencia θ_1 es mayor que el ángulo crítico no existe rayo refractado y se habla entonces de un fenómeno llamado “reflexión interna total”. Además, dicho fenómeno no puede ocurrir cuando una onda viaja inicialmente en un medio de menor índice de refracción (López et. al. 2008). El ángulo crítico se obtiene haciendo $\theta_i = 90^\circ$ en la ley de refracción:

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.7)$$

Donde:

– n_1 : índice de refracción del medio 1

– n_2 : índice de refracción del medio 2

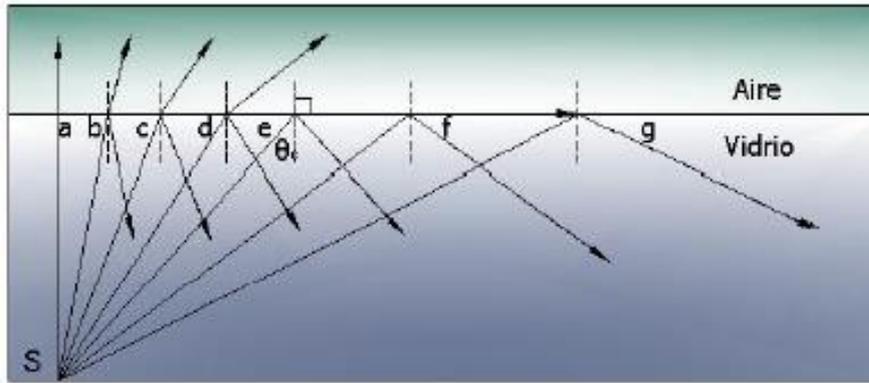


Figura 2.8. Reflexión interna total proveniente de la fuente S

Fuente: López et. al. 2008

e) Principio de Fermat

La geometría de la trayectoria seguida por los rayos está dada por el principio de Fermat, el cual menciona que un rayo luminoso que se propaga de un punto a otro seguirá una trayectoria, de modo que el tiempo empleado en recorrerla sea mínimo, máximo o constante (es decir, estacionario) en comparación con las trayectorias vecinas (González, 1966).

En un medio homogéneo los rayos serán líneas rectas; sin embargo, en un medio no homogéneo se tendrán velocidades distintas, por ello, los rayos serán curvas de tiempo mínimo (Cantos, 1973). Las velocidades en la propagación de las ondas a través de la tierra aumentan con la profundidad, por lo que la trayectoria seguida por el rayo vuelve su concavidad hacia la superficie.

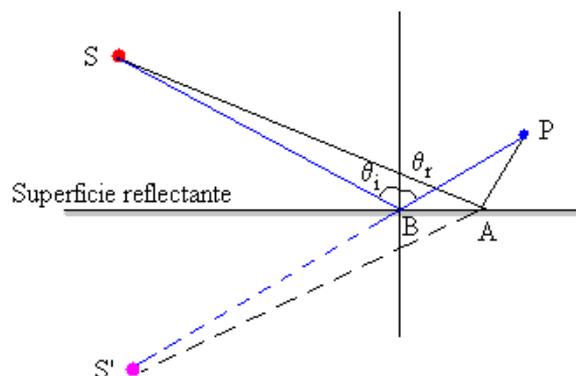


Figura 2.9. Principio de Fermat

f) Ley de Snell

Cantos (1973) menciona que si un rayo incidente longitudinal que se propaga de un medio n_1 a un medio n_2 , se refracta en el medio n_1 y también se refleja en este. Por lo tanto, de acuerdo a la ley de refracción, el rayo incidente, la normal y los rayos refractados están en un mismo plano, llamado plano de incidencias. El ángulo de refracción θ_2 depende de las velocidades en los medios n_1 y n_2 , y del ángulo de incidencia θ_1 , de acuerdo a la ley de Snell se tiene la siguiente ecuación (2.8):

$$\frac{\text{sen}(\theta_1)}{\text{sen}(\theta_2)} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.8)$$

Siendo V_1 y V_2 , las velocidades respectivas de los medios respectivamente.

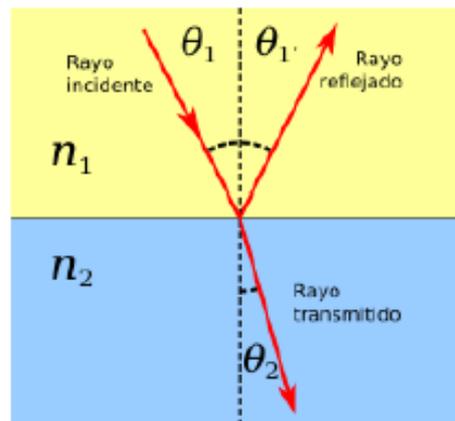


Figura 2.10. Reflexión y refracción, Ley de Snell

Fuente: Áviles y Barzallo, 2016

2.2.1.6. Fenómenos en la propagación de ondas

Además, cabe mencionar que el suelo es un medio no homogéneo por donde se propagan las ondas sísmicas, es por ello que los principales fenómenos que se producen son la refracción y reflexión. Sin embargo, hay otros fenómenos que menciona Cantos (1973):

a) Difracción:

Al ser mayor la longitud de onda, mayor será la difracción, por esta razón la difracción ocurre con más frecuencia en las ondas sísmicas que en las ondas luminosas. Dicho fenómeno ocurre principalmente en los ángulos de las fallas y en los estratos donde cambian de pendiente de manera brusca, por ello es que en algunos casos la difracción ha dado interpretaciones erróneas.

b) Dispersión:

Este fenómeno es definido como la variación de la velocidad de una onda con el cambio de la frecuencia. En la prospección sísmica no hay evidencia de que exista dispersión apreciable, excepto en las inmediaciones de la explosión debido a que la relación entre el esfuerzo y la deformación no es lineal, pero solo afectan a las ondas longitudinales y transversales.

c) Scattering:

Pequeñas ondas se forman y propagan energía en todas direcciones. Este fenómeno se produce cuando un frente de ondas choca con partículas libres u algunos objetos pequeños comparados con la longitud de la onda.

Los fenómenos antes mencionados causan la disminución de la energía sísmica y la pérdida debido a la absorción de la energía, creando así amortiguación. Si el impulso sísmico viaja a través de diferentes capas a absorción de las frecuencias altas será más rápida que la de las frecuencias bajas frecuencias (Rosales, 2001).

2.2.2. REFRACCIÓN SÍSMICA

2.2.2.1. Descripción general

De acuerdo a Lazcano (2007) la refracción sísmica consiste en colocar distintos geófonos a lo largo de la línea de tendido y a la vez un punto donde se generará la vibración. Los geófonos son conectados a un sismógrafo en donde se registra la llegada de las ondas, tal como se muestra en la figura 2.11. La velocidad de propagación de ondas es posible determinarla puesto que se conoce

la distancia entre la fuente de vibración y los geófonos, así como el tiempo, el cual es obtenido de los sismogramas.

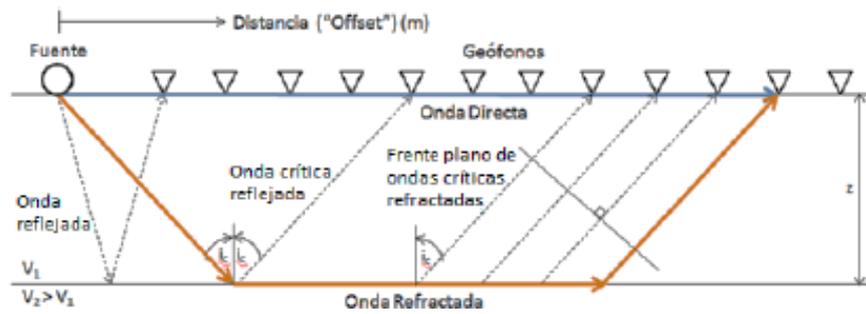


Figura 2.11. Esquema de refracción sísmica y reflexión sísmica

Fuente: Guarachi, 2013

Las ondas viajan a través de las diferentes capas que tiene el suelo y se reflejan y refractan hacia la superficie. El método de refracción sísmica supone que el espesor de cada capa presente es mayor que la longitud de onda de la energía incidente y que cada capa sucesiva es de mayor espesor que la anterior; además, con la refracción sísmica se determina la velocidad de ondas P. (Reynolds, 2011).

Cabe mencionar que la velocidad de propagación de ondas está en función de las propiedades dinámicas del suelo (Carrillo, 2018). Por lo tanto, se pueden correlacionar con numerosas propiedades geomecánicas, como las que menciona Ali (2016):

- La caracterización estratigráfica del suelo, determinación de los estratos.
- Definición de espesor de una capa alterada de roca.
- Definición de V_p para determinación de parámetros elásticos.
- Clasificación geomecánica de la roca,
- Determinación de la ubicación de la evaluación del riesgo de terremotos.
- Determinación de la capacidad de una roca de ser fracturada/movida por una maquinaria pesada.
- Evaluación de depósitos de gravas, arenas, arcillas y materiales de construcción.

En campo se obtienen las gráficas que son analizadas y capturadas para su inversión matemática a un modelo estratificado (2D), las cuales nos permiten

evaluar las propiedades físicas y la calidad de las capas del suelo, por medio de las velocidades de las ondas compresionales y los espesores de los estratos (Ali, 2018).

Tal como se había mencionado anteriormente, el método de refracción sísmica permite la llegada de las ondas P, las que viajan en trayectoria recta desde la fuente de energía hasta el sismógrafo. Sin embargo, Cavada (2000) menciona que también llegan las ondas cónicas, son aquellas ondas P refractadas críticamente, las cuales, aunque no siguen una trayectoria recta, viajan antes que cualquier otra onda porque viajan por una trayectoria de tiempo mínimo.

Cavada (2000) también habla acerca de los estratos, para ello menciona dos casos:

1. Si el estrato tiene espesor constante: si este fuera el caso, el frente de onda cónico aparenta propagarse por la superficie igual a la del segundo estrato, es decir, que la distancia de cruce entre una onda directa y una cónica proporciona información del espesor del primer estrato, siendo evidente que el espesor es mayor cuando mayor sea la distancia de cruce.
2. Si los estratos no son paralelos, es decir, presentan una inclinación relativa. En ese caso las velocidades de onda cónica calculadas para cada estrato a partir de una dromocrona, vienen a ser velocidades aparentes, siendo necesario efectuar dos registros de refracción sísmica para poder calcular las velocidades verdaderas. El primer registro se obtiene con la fuente en un extremo del tendido y después se obtiene el segundo con la fuente en el otro extremo, esta técnica es conocida como el doble disparo. Se harán dos tendidos con doble disparo, los tendidos deben ser cruzados en 90° , uno respecto al otro.

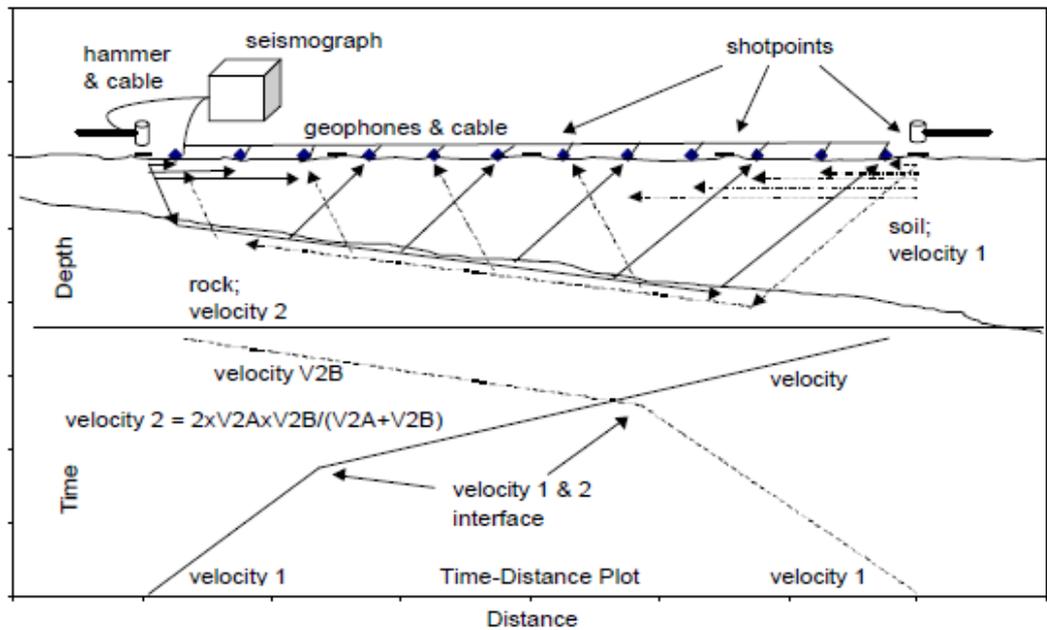


Figura 2.12. Esquema conceptual de refracción sísmica

Fuente: Rucker, 2000

Así como las facilidades que nos brinda el método de refracción sísmica, también hay ciertas limitaciones mencionadas por Ampuero y Sint (2004):

- Distintos tipos de suelos o rocas pueden tener velocidades de propagación semejantes.
- No es posible detectar estratos cubiertos con otros de mayor velocidad de propagación de ondas.
- La precisión con que se puede evaluar el espesor de los estratos es controlada por la distancia entre sensores (geófonos).
- La profundidad máxima está limitada por la longitud de tendido de refracción.
- Los resultados de los ensayos basados en medir la velocidad de ondas de compresión estarán limitados a su profundidad si es que existe agua subterránea.

2.2.2.2. Equipo utilizado

La ASTM-5777 detalla al equipo esencial que es utilizado para el ensayo de refracción sísmica, siendo compuesto por:

a. Fuente de energía

La ASTM-5777 menciona que la selección de fuente de energía depende la profundidad de investigación y de las condiciones geológicas, para ello considera lo siguiente:

- Para profundidades de investigación de 5 a 10m se puede utilizar un martillo de 4 a 7Kg. Será suficiente un martillo de 4 a 7kg utilizando las capacidades de mejora de la señal del sismógrafo y una placa metálica en la planta para mejorar el acoplamiento de energía del martillo.
- Para investigaciones más profundas en materiales secos y sueltos se requiere más energía sísmica. La fuente de proyectil se descarga en o por debajo de la superficie del suelo, se requiere un peso grande de 45 a 225kg que se deja caer.

b. Geófonos

Naranjo y Dranichnikov (2012) mencionan que los geófonos tienen la función de captar la vibración amplificada que se transmite a un sismógrafo central. La ASTM -5777 indica que la frecuencia de los geófonos varía del 8 al 14 Hz.

c. Cable de conexión de geófonos

El cable de conexión transporta las señales eléctricas que los geófonos transforman, la longitud extendida del cable de conexión es de 3 a 4 veces la profundidad de investigación.

d. Sismógrafo

El sismógrafo se encarga de recibir los impulsos eléctricos (voltaje) de los geófonos, amplificarlos y luego convertirlos de señales analógicas a señales digitales. Rosales (2001) describe la separación de geófonos de acuerdo a la cantidad de canales del sismógrafo, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.3. Longitud de la línea de tendido

Separación de geófonos (m)	12 canales	24 canales
1.5	16.5	34.5
2.0	22.0	46.0
2.5	27.5	57.5
3.0	33.0	69.0
3.5	38.5	80.5
4.0	44.0	92.0
4.5	49.5	103.5
5.0	55.0	115.0
5.5	60.5	126.5
6.0	66.0	138.0

Fuente: Rosales, 2001 (citado en López et. al. 2008)

2.2.2.3. Curva Tiempo-Distancia

Reynolds (2011) resume al ensayo de refracción sísmica en el que sus componentes (figura 2.13) generan las ondas P, la cual viajan en tres formas:

- Directamente a lo largo de la parte superior de la superficie del suelo.
- Por reflejo desde la parte superior del reflector.
- Por refracción crítica a lo largo de la parte superior de los refractores.

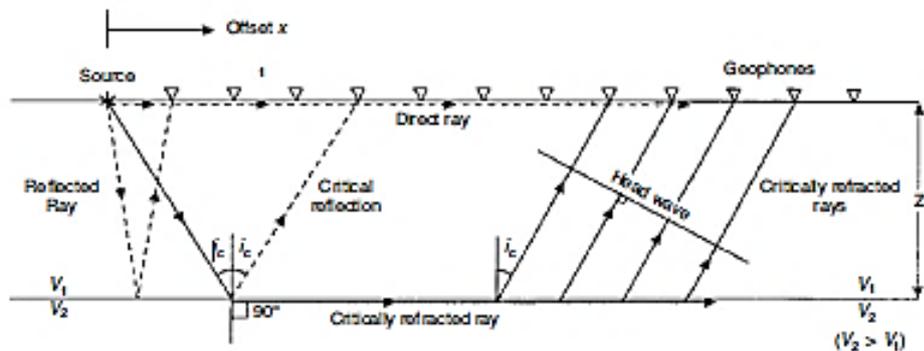


Figura 2.13. Diagrama de trayectoria de rayos

Fuente: Reynolds, 2011

La llegada de cada onda se detecta a lo largo de los geófonos y se registra se en el sismógrafo. El inicio de cada sismógrafo es identificado, de acuerdo a la figura 2.14 y se mide el tiempo de viaje asociado y se representa gráficamente en la curva de tiempo-distancia (figura 2.15).

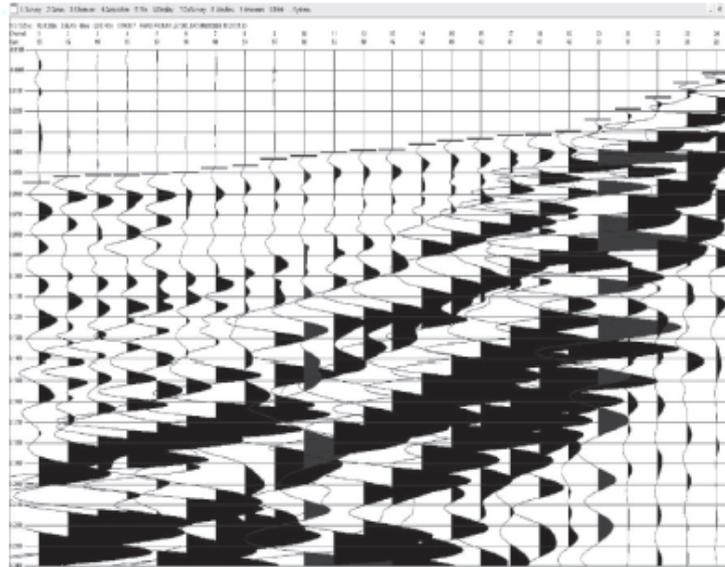


Figura 2.14. Ejemplo de registro en el sismógrafo de refracción sísmica

Fuente: Reynolds, 2011

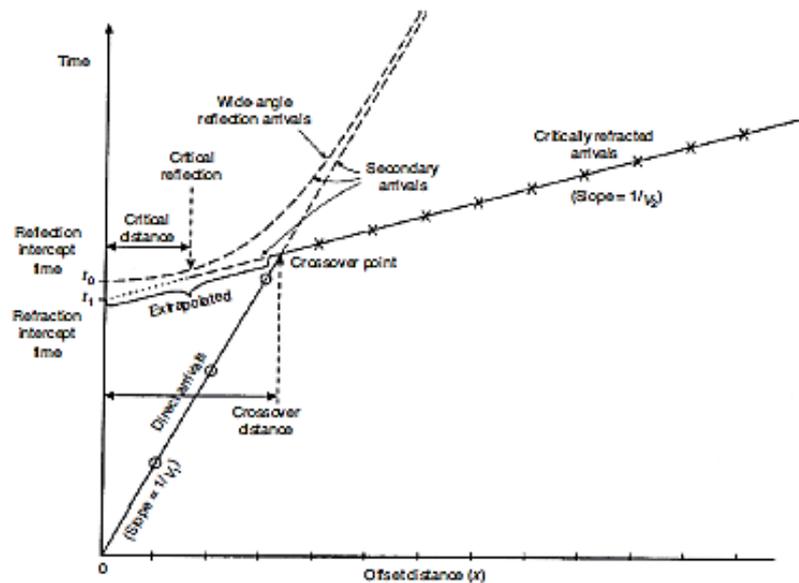


Figura 2.15. Curva tiempo-distancia

Fuente: Reynolds, 2011

Las curvas tiempo-distancia correspondientes a trayectorias refractadas son denominadas dromocronas. Por lo tanto, para la interpretación de estas curvas se procede a identificar las secciones que pertenecen a un mismo refractor mediante

el trazo de líneas que son ajustadas a los puntos que pertenecen a cada curva, cada línea recta define las diferentes velocidades, los quiebres que se obtengan serán usados para determinar los espesores de cada estrato (López et. al. 2008). La interpretación de las curvas permite obtener:

- La velocidad de propagación de las ondas P para cada estrato, así como identificar composiciones del material y sus propiedades dinámicas.
- El espesor de cada estrato.

Desde otro punto de vista, la interpretación también puede ser equivocada, por ello se debe tener en cuenta:

- Un cambio de pendiente de la curva tiempo-distancia no es necesariamente un cambio de refractor, sino que puede ser un cambio de pendiente, según menciona Cantos (1973).
- Si hay un estrato delgado de suelo cuya velocidad es menor que la del estrato superior, no hay refracción crítica, de modo que no existiría indicios de su presencia en las primeras llegadas en cada punto de la línea sísmica, tal como lo explica Sheriff y Geldart, (1991).
- Finalmente, según Sarria (1996), incluso si existe un estrato demasiado delgado, a pesar de tener velocidades mayores no alcanza a producir primeros arribos por el mismo hecho de ser tan delgada.

2.2.2.4. Principios generales

La óptica geométrica trata a los rayos como líneas, el cual se basa en suposiciones físicas como las que menciona Masuda (1981) (citado en López, 2016):

- En un medio homogéneo o por el vacío, los rayos viajan en líneas rectas.
- Si se considera que un rayo se devolviera, este lo haría siguiendo la misma trayectoria hasta llegar a su punto de origen.
- Los rayos pueden avanzar independientemente, por lo tanto, no hay interacción entre ellos.
- Los rayos siguen las leyes de reflexión y refracción.

Por ello, de acuerdo a estas suposiciones hay principios generales base para la interpretación de los datos de la refracción sísmica, estos son:

a. Ley de las velocidades aparentes

La ley de velocidades aparente se lleva a cabo cuando la velocidad con la que aparenta transmitirse una onda desde un cierto punto de una superficie es igual al cociente entre la velocidad superficial y el seno del ángulo de emergencia, tomados ambos en el mismo punto (Cantos, 1973).

De acuerdo a la figura 2.16, Cantos (1973) explica la ley de velocidades aparentes considerando un corte vertical del terreno y un frente de ondas GL que llega a la superficie en G. Si consideramos dos rayos infinitamente próximos llegando a dos geófonos G y G' cuya distancia es Δx . Sean GA y G'B los tiempos de llegada. La velocidad aparente de la onda G y G' será $V_a = \frac{\Delta x}{\Delta t}$. Además, al considerar que el frente de ondas se desplaza de L a G' en el tiempo Δt con la velocidad superficial V_0 , donde: $\frac{\Delta s}{\Delta t} = V_0$, pero como $\Delta s = \Delta x \text{sen}(\theta_0)$, se obtiene:

$$V_a = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\text{sen}(\theta_0) * \Delta t} = \frac{V_0}{\text{sen}(\theta_0)} \quad , \quad V_a > V_0 \quad (2.9)$$

La velocidad aparente en G vendrá a ser la tangente a la AB en el punto A, ya que: $V_a = \lim \frac{\Delta x}{\Delta t}$ cuando $\Delta t \rightarrow 0$, es decir: $V_a = \frac{dx}{dt}$

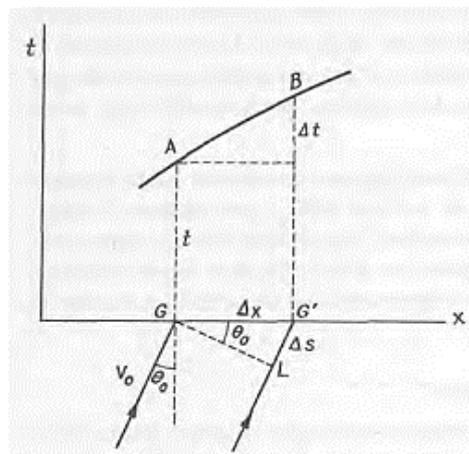


Figura 2.16. Ley de las velocidades aparentes

Fuente: Cantos, 1973

b. Principio de reciprocidad

El principio de reciprocidad indica que el tiempo de propagación de un punto A al punto B es el mismo del punto B al punto A (Cantos, 1973). De la figura 2.17, se entiende que las s H-I y K-J interceptan el eje del tiempo en el mismo valor, siendo:

$$T_{1a} = T_{1d} \tag{2.10}$$

$$T_{2a} = T_{2d} \tag{2.11}$$

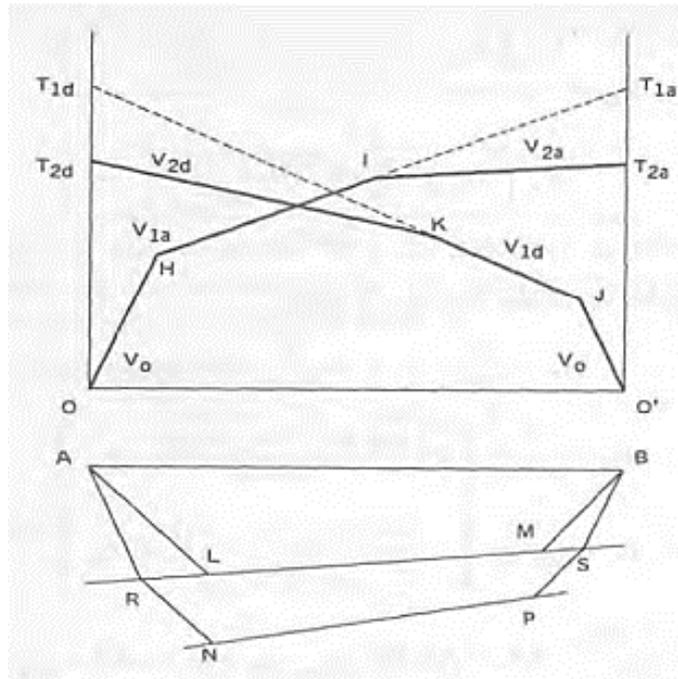


Figura 2.17. Principio de reciprocidad

Fuente: Cantos, 1973

c. Principio del intercepto en el origen

De acuerdo a la figura 2.18, supongamos que desde la superficie se efectúan dos tiros en O y se registra en los dos sentidos OA y OD, este principio dice que, si se prolongan las s correspondientes a y d hasta que corten al eje de tiempos Ot, los tiempos interceptados en el origen son iguales (Cantos, 1973).

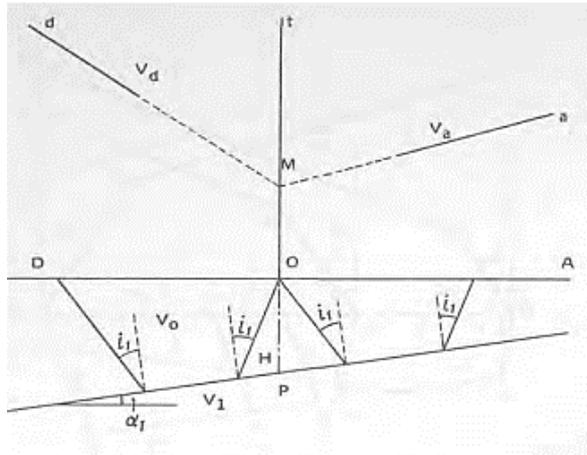


Figura 2.18. Tiempo de intercepto en el origen

Fuente: Cantos, 1973

d. Principio de paralelismo

Al conocer las dromocrinas correspondientes a dos puntos conjugados de tiro O y O' , el principio del paralelismo permite reconstruir la que se obtendría desde un punto de tiro intermedio cualquiera O_1 sin necesidad de efectuar un disparo (Cantos, 1973).

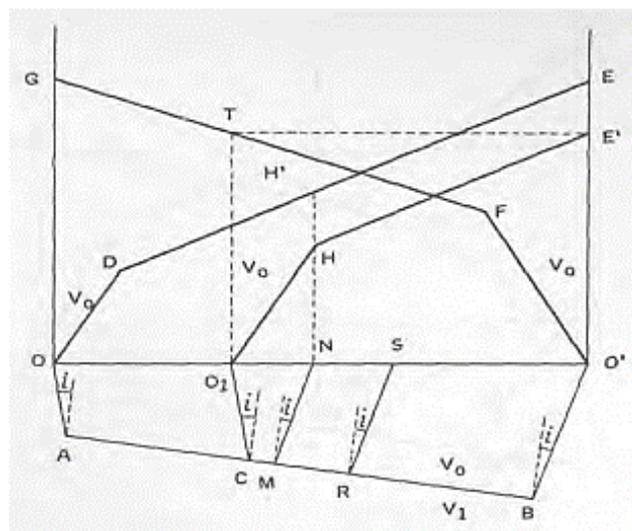


Figura 2.19. Principio del paralelismo

Fuente: Cantos, 1973

2.2.2.5. Metodologías de cálculo

De acuerdo a los principios, leyes y suposiciones se derivan los métodos de cálculo del ensayo de refracción sísmica. Sus métodos se diferencian por las

suposiciones que implican cada uno de ellos, por los modelos de suelo que estudian y por sus capacidades de aproximarse a la topografía real, así como al perfil de velocidades (López, 2016).

a. Método tiempo-intercepto

El método utiliza la pendiente de las dromocronas para calcular la velocidad de los refractores que se identifican en la curva tiempo-distancia, mientras que los puntos de intercepto de las dromocronas con el eje de ordenadas son utilizados para calcular las profundidades a los que se encuentran dichos refractores (López et. al. 2008).

• **Dos estratos**

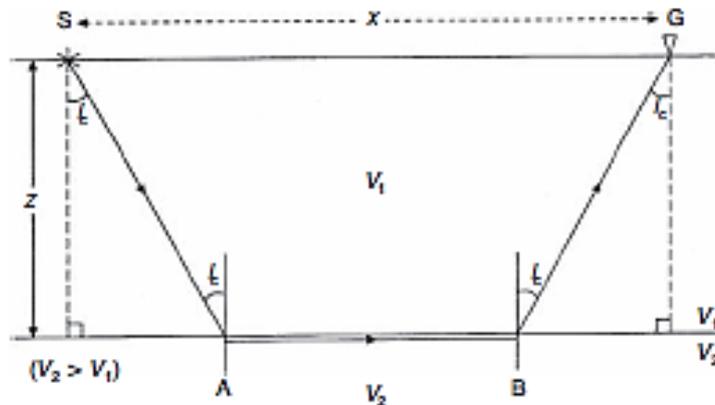


Figura 2.20. Refracción en dos estratos

Fuente: Reynolds, 2011

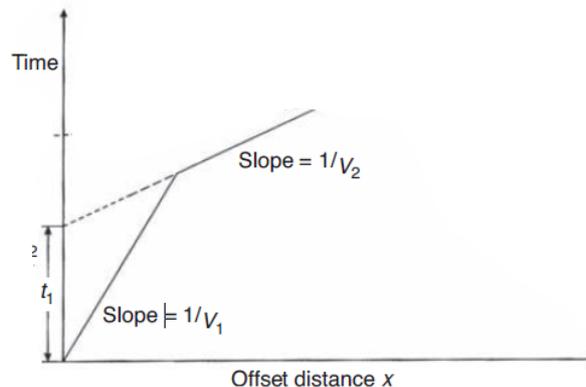


Figura 2.21. Curva tiempo-distancia de dos estratos

Fuente: Reynolds, 2011

De acuerdo a la figura 2.20 se puede ver que la trayectoria de rayos tomada por una señal originario de la fuente S viaja a A, donde se somete a un proceso crítico refracción y viaja hacia y finalmente más allá de la posición B. La onda principal que se origina en el refractor en B viaja a través de capa 1 donde es detectado por el geófono en G. El geófono está desplazado desde el tiro por una distancia x. El tiempo total de viaje tomado es la suma de los tiempos de viaje de tres componentes:

$$T_{SG} = T_{SA} + T_{AB} + T_{BC} \quad (2.12)$$

Donde:

$$T_{SA} = T_{BG} = \frac{z}{V_1 \cos i_c} \quad (2.13)$$

$$T_{AB} = \frac{x - 2z \tan i_c}{V_2} \quad (2.14)$$

El gráfico de tiempo-distancia para el caso de dos capas (Figura 2.21) se usa para calcular las velocidades de las dos capas, V_1 y V_2 , de los pendientes de los dos segmentos de línea recta (pendiente = $1 / V$). La extrapolación del segmento de lo críticamente refractado las llegadas al eje del tiempo dan un tiempo de intercepción t_i a partir del cual se puede calcular la profundidad del refractor (z), valores dados de V_1 y V_2 derivados de la distancia de tiempo gráfico.

Por lo que al reemplazar la ecuación 2.13 y 2.14 en la 2.12, se obtiene:

$$T_{SG} = \frac{1}{V_2} x + \frac{2z \cos i_c}{V_1} \quad (2.15)$$

El cual se observa que la ecuación 2.16 es la ecuación general de una recta, por lo tanto, la pendiente es $1/V_1$ y t_i es el tiempo intercepto de refracción, donde:

$$t_i = \frac{2z \cos i_c}{V_1} \quad (2.16)$$

De acuerdo a la Ley de Snell $i_c = V_1/V_2$, entonces se obtiene que:

$$T_{SG} = \frac{x}{V_2} + t_i \quad (2.17)$$

Donde:

$$t_i = \frac{2z(V_2^2 - V_1^2)}{V_1V_2} \quad (2.18)$$

Por lo tanto, la profundidad será:

$$z = \frac{t_i V_1 V_2}{2(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}} \quad (2.19)$$

Otra alternativa para determinar la profundidad (z) es por medio de la ecuación para la distancia de viaje:

$$z = \frac{x V_1 V_2}{2(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}} \quad (2.20)$$

- **Varios estratos**

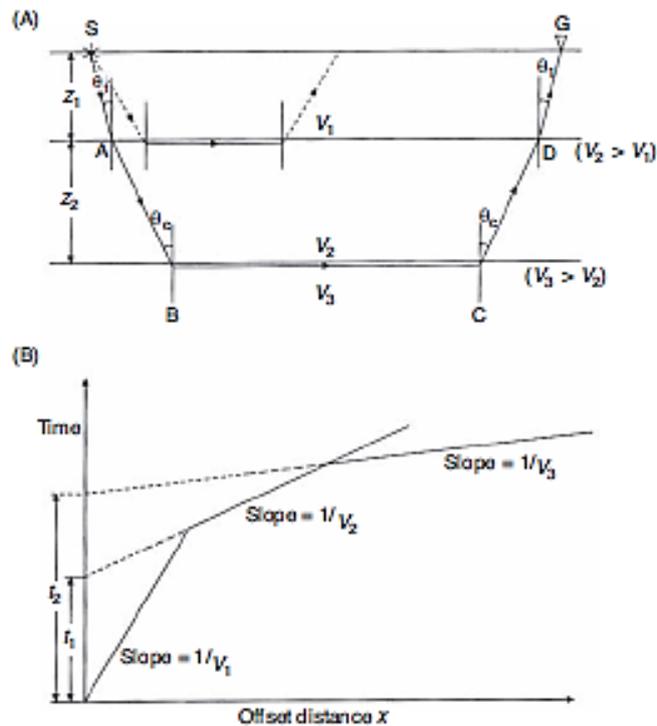


Figura 2.22. A). Diagrama de rayos refractados. B). Curva de tiempo-distancia

Fuente: Reynolds, 2011

Reynolds (2011) considera las siguientes ecuaciones:

$$z_1 = \frac{t_1 V_1 V_2}{2(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}} \quad (2.21)$$

$$z_2 = \frac{t_2 V_2 V_3}{2(V_3^2 - V_2^2)^{1/2}} - \frac{z_1 V_2 (V_3^2 - V_1^2)^{1/2}}{V_1 (V_3^2 - V_2^2)^{1/2}} \quad (2.22)$$

Por otro lado, López (et. al. 2008) considera las siguientes ecuaciones:

$$z_1 = \frac{t_2 V_1}{2 \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \right)} \quad (2.23)$$

$$z_2 = \frac{\left[t_3 - t_2 \frac{\cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_3} \right) \right)}{\cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \right)} \right] V_2}{2 \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \right)} \quad (2.24)$$

$$z_3 = \frac{\left[t_4 - t_3 \frac{\cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_4} \right) \right)}{\cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \right)} - \frac{2z_2 \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_4} \right) \right)}{V_2} \right] V_3}{2 \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{V_3}{V_4} \right) \right)} \quad (2.25)$$

b. Velocidades aparentes

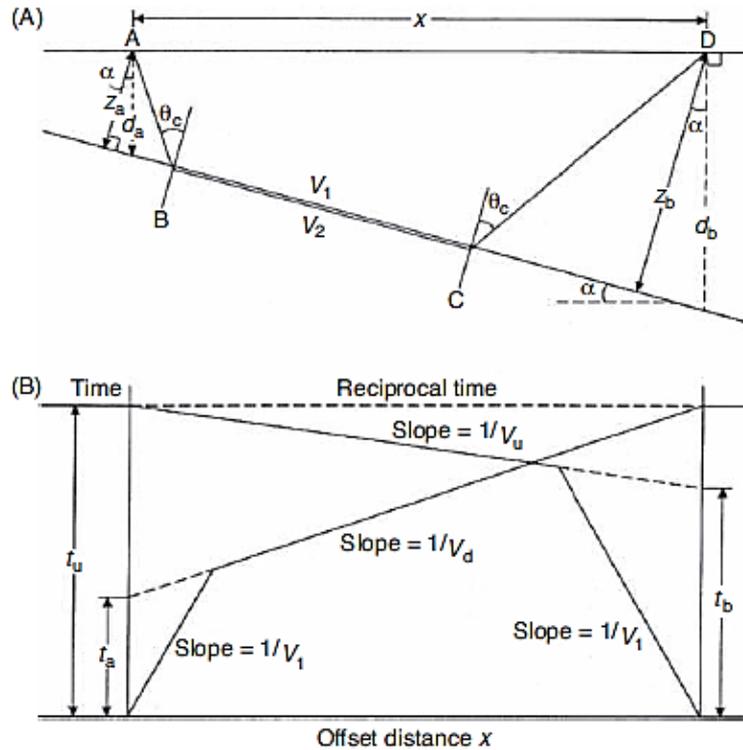


Figura 2.23. A). Diagrama de rayos refractados. B). Curva de tiempo-distancia

Fuente: Reynolds, 2011

De acuerdo a la figura 2.23 se puede observar que el refractor se encuentra en ángulo con respecto a la horizontal, por lo tanto, Reynolds (2011) menciona que se debe aplicar el concepto de velocidades aparentes, también debe tenerse en cuenta que los tiempos de viaje totales obtenidos de los disparos hacia adelante y hacia atrás deben ser iguales, el cual se denomina tiempos recíprocos. Debido a la inclinación, ya no es adecuado emprender hacia adelante el disparo, por lo que es necesario llevar adelante y retroceder para determinar todos los parámetros necesarios, sin embargo, si los tiempos totales de viaje no son los mismos, la selección de las primeras llegadas y las compensaciones de los geófonos deben ser revisados por errores.

Según la figura 2.23 el tiempo total de viaje de un refractor sumergido en un ángulo α se da por:

$$T_{ABCD} = \frac{x \cos \alpha}{V_2} + \frac{[(z_a + z_b) \cos i_c]}{V_1} \quad (2.26)$$

Donde:

- V_2 es la velocidad del refractor
- z_a y z_b son las distancias perpendiculares al refractor

El tiempo de viaje descendente t_d viene dado por:

$$t_d = \frac{x[\sin(\theta_c + \alpha)]}{V_1} + t_a \quad (2.27)$$

Donde:

$$t_a = \frac{2z_a \cos \theta_c}{V_1} \quad (2.28)$$

Y el tiempo de viaje ascendente t_u es dado por:

$$t_u = \frac{x[\sin(\theta_c - \alpha)]}{V_1} + t_b \quad (2.29)$$

Donde:

$$t_b = \frac{2z_b \cos \theta_c}{V_1} \quad (2.30)$$

De las ecuaciones 23 y 24 anteriores se puede escribir en términos de velocidad aparente de subida (V_u) y velocidad de bajada (V_d):

$$t_d = \frac{x}{V_d} + t_a \quad (2.31)$$

Donde:

$$V_d = \frac{V_1}{\sin(\theta_c + \alpha)} \quad (2.32)$$

Y la velocidad de bajada:

$$t_u = \frac{x}{V_u} + t_b \quad (2.33)$$

Donde:

$$V_u = \frac{V_1}{\sin(\theta_c - \alpha)} \quad (2.34)$$

Para ángulos de inmersión poco profundos, la relación aproximada entre velocidades verdaderas y aparentes está dada por:

$$V_2 \approx \frac{V_d + V_u}{2} \quad (2.35)$$

c. Frentes de onda

El método de los frentes de onda es un método gráfico que se apoya del Principio de Huygens, siendo apropiado para describir refractores ondulados. De acuerdo a la figura 2.24, se observa el refractor CD y dos puntos de disparo A y B, tomando a E como un punto cualquiera del refractor y a M y L como puntos de emergencia a E. Los tiempos de refracción desde A a M y de B a L, serán:

$$t_{AM} = t_{AC} + t_{CE} + t_{EM} \quad (2.36)$$

$$t_{BL} = t_{BD} + t_{DE} + t_{EL} \quad (2.37)$$

Por lo que al considerar las ecuaciones 30 y 31, el tiempo total será:

$$T = (t_{AM} - t_{EM}) + (t_{BL} - t_{EL}) \quad (2.38)$$

Es decir, que, al considerar los frentes de onda emergentes en E, a y b vienen a ser las perpendiculares a ME y LE en el medio de la velocidad V_0 , por lo que cada punto E del refractor será el lugar geométrico de los puntos de intersección de frentes de onda “a” y “b” de tal manera que la suma de sus tiempos t_A y t_B sea constante e igual al tiempo total interceptado T. Por lo que ahora se trazan los frentes de onda del medio de velocidad V_0 y a buscar a intersección de los que cuya suma de tiempos dé como resultado el tiempo T.

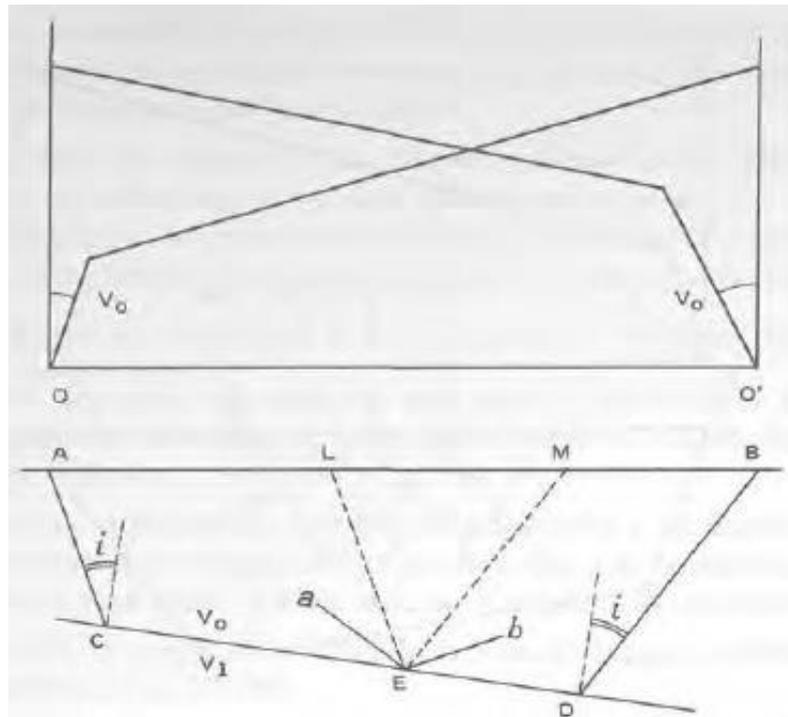


Figura 2.24. Diagrama de rayos refractados

Fuente: Cantos, 1973

Cantos (1973) menciona que los frentes de onda son los lugares geométricos de los puntos alcanzados por una sacudida sísmica en un mismo tiempo, además son normales a los rayos de cada punto. En la figura 2.25 se muestra la dromocrona del tiro en A, donde M es un punto cualquiera de AB, por lo que su tiempo será t_{ACEM} , según la figura 2.24.

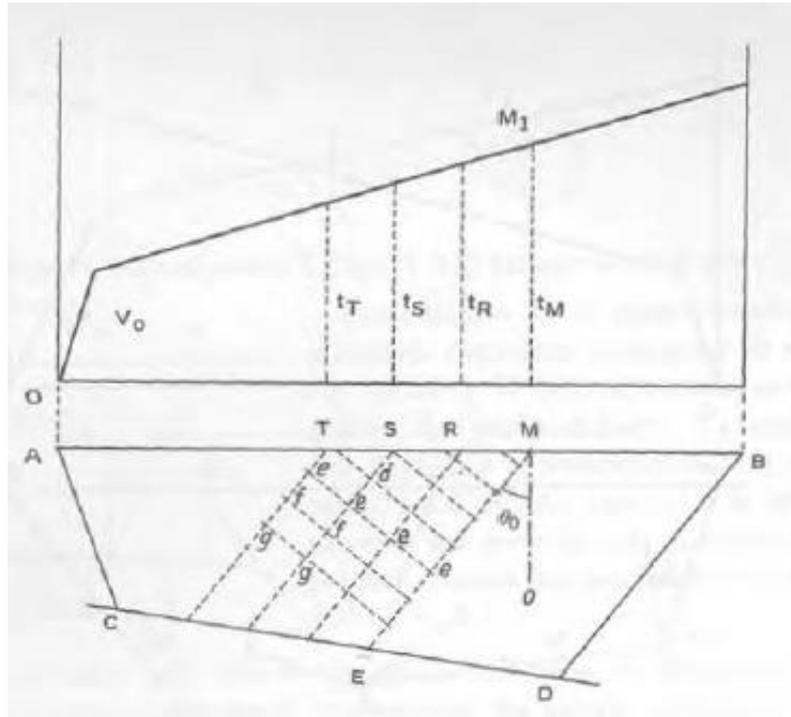


Figura 2.25. Dromocrona para el trazo de rayos emergentes.

Fuente: Cantos, 1973

Se pueden trazar para cada uno de los puntos T, S, R, M los rayos emergentes considerando la V_0 constante, por lo que las líneas serán rectas. De acuerdo a la figura 2.25, como es una recta la gráfica, todos los rayos emergentes serían paralelos y la velocidad aparente correspondiente al punto M es igual a V_0 .

Respecto a los puntos T, S, R y M se traza sobre cada uno de ellos una escala de tiempos tomando como partida los tiempos registrados y disminuyendo hacia abajo, en función de las distancias. Al unir los puntos "e" de iguales tiempos, se obtiene los frentes de onda correspondientes a dichos tiempos. Por lo que, en el caso, serán rectas perpendiculares a los sucesivos rayos emergentes y paralelas entre sí.

La ventaja del método de frente de onda es que se puede utilizar con cualquier ley de propagación de la velocidad, para eso basta obtener los rayos emergentes correspondientes a los sucesivos ángulos emergentes que se deducen para cada punto por la relación:

$$\theta_0 = \frac{V_0}{W} \quad (2.39)$$

En el cual, se traza para cada geófono del perfil y se procede de manera análoga, pero marcando tiempos a partir de los puntos T, S, R, etc. Con la ley de velocidad correspondiente. De este modo se obtendrán las curvas de los frentes de onda y los puntos del refractor corresponderán a la intersección de cada dos frentes de onda, de tal modo que la suma de tiempos sea igual al tiempo T (Cantos, 1973).

De la figura 2.26 se puede realizar la interpretación, donde se halla la velocidad aparente entre cada dos posiciones de geófonos:

$$W_a = \frac{G_1 G_2}{t_2 - t_1} \quad (2.40)$$

De la que se deduce el valor de θ_a , puesto que:

$$\text{sen}\theta_a = \frac{V_0}{W_a} \quad (2.41)$$

El rayo de emergencia "a" correspondiente al ángulo θ_a se traza en el punto medio de G_1 y G_2 .

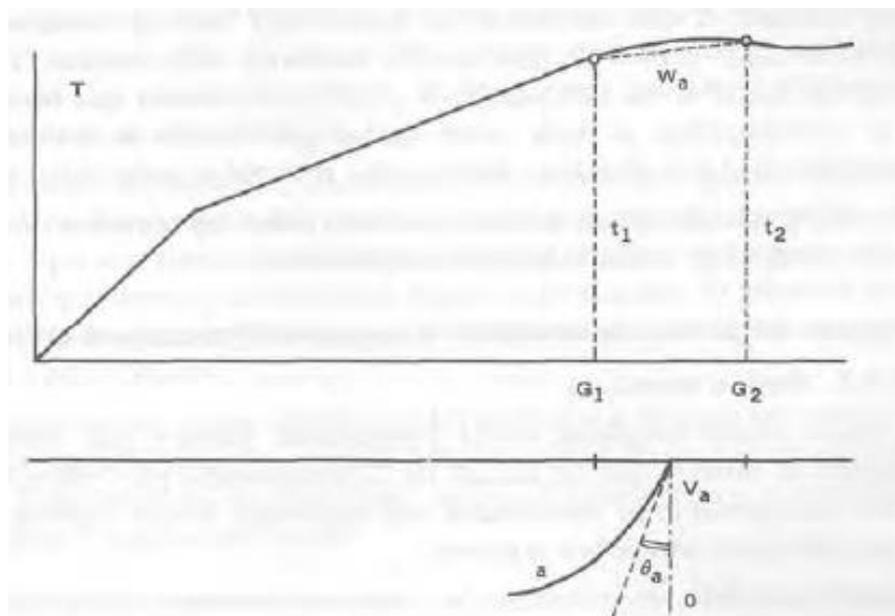


Figura 2.26. Trazo de rayos emergentes

Fuente: Cantos, 1973

Por lo general no se halla el valor de W_a cada dos puntos, más bien se procura aislar trozos de dromocronas rectos (de velocidad W_a constante).

d. Tiempo de retraso (delay times)

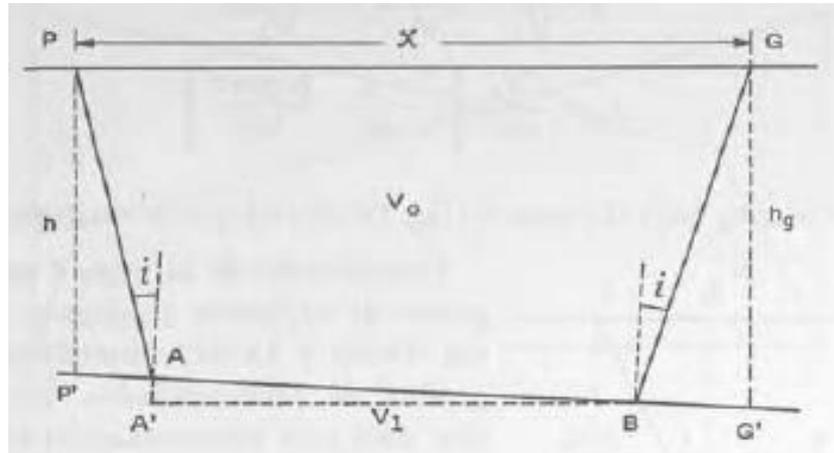


Figura 2.27. Diagrama de rayos refractados

Fuente: Cantos, 1973

El método se basa en lo que Gardner (citado en Cantos, 1973) menciona, en el cual solamente puede utilizarse en zonas en las que los refractores presenten un relieve poco pronunciado, para ello de acuerdo a la figura 2.27 observamos que el refractor AB es el refractor, sin embargo el refractor A'B viene a ser su proyección horizontal, por lo tanto, se puede interpretar como $AB \approx A'B$, con lo que el tiempo observado vendría a ser:

$$t = t_{PA} + t_{AB} + t_{BG} \approx t_{PA} + t_{A'B} + t_{BG} \quad (2.42)$$

De este modo, si se define los tiempos de retraso como la diferencia entre los tiempos de los recorridos PA o GB y su proyección aproximada P'A o BG', se tiene:

$$D_P = t_{PA} - t_{P'A} \quad (2.43)$$

$$D_G = t_{BG} - t_{B'G'} \quad (2.44)$$

Por lo tanto, D_P y D_G serán los delay times tanto en P como en G respectivamente. Además, se tiene la fórmula de los delay times, que dice

que el tiempo interceptado es igual a la suma de los delay times en los extremos del intervalo x , siendo en este caso:

$$t - \frac{x}{v_1} = D_P + D_G \quad (2.45)$$

Al deducir D_P teniendo en cuenta la figura 2.27:

$$D_P = t_{PA} - t_{P'A} \approx \frac{h}{V_0 \cos i} - \frac{htgi}{V_1} \quad (2.46)$$

De la ecuación 2.46 se llega a:

$$D_P \approx \frac{h \cos i}{V_0} \quad (2.47)$$

$$D_G \approx \frac{h_g \cos i}{V_0} \quad (2.48)$$

Por lo tanto, si se considera fijo al punto P, D_P será fijo aun cuando no se conozca. De acuerdo a la figura 2.28, como los tiempos extremos PABG y GBAP han de ser iguales, entonces de la figura 28 se tiene:

$$GM = PN = T - \frac{PG}{V_1} \quad (2.49)$$

Siendo:

$$T = t_{PABG} = t_{GBAP} \quad (2.50)$$

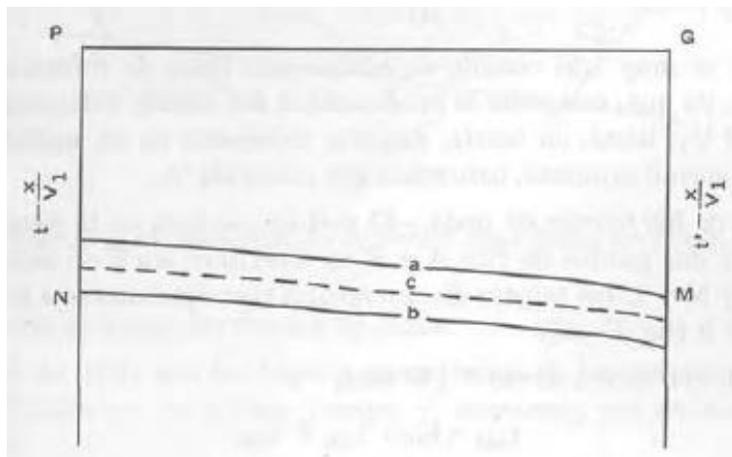


Figura 2.28. Tiempos de marcha del refractor

Fuente: Cantos, 1973

El método nos hace entender que la representación efectuada da la marcha del estrato en tiempos, pero no en profundidad, así como tiene defecto en la vertical de cada geófono al situar los puntos del estrato, debido a que están desplazados horizontalmente una cantidad GS , no es exacto como en el caso de un estrato aproximadamente horizontal como se muestra en la figura 2.29 (Cantos, 1973), se entiende:

$$GS = h_g t g i \quad (2.51)$$

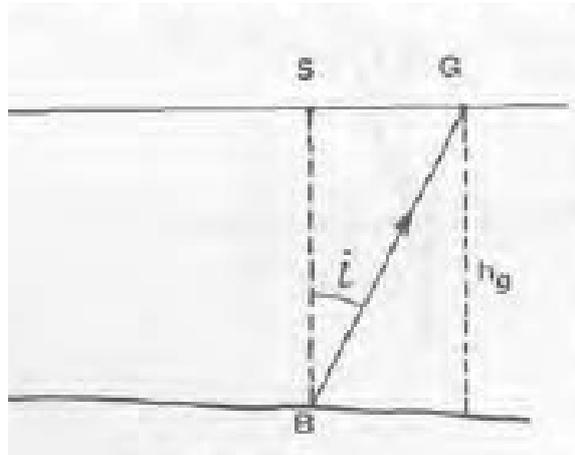


Figura 2.29. Tiempos de marcha del refractor

Fuente: Cantos, 1973

Otro inconveniente del método es que la gráfica del tiempo interceptado proporciona la suma de las delay times, mas no cada uno por separado permitiendo hallar la representación en profundidad. Sin embargo, Cantos (1973) menciona que para la representación en profundidades hay un procedimiento sencillo y más utilizado el cual consiste en hallar las profundidades h y h_g del refractor en los puntos de disparos conjugados, donde se considera el estrato horizontal, donde la V_1 se obtendría de las velocidades aparentes:

$$V_1 = \frac{2V_a V_d}{V_a + V_d} \cos \alpha_1 \quad (2.52)$$

Y para valores de α pequeños:

$$V_1 = \frac{2V_a V_d}{V_a + V_d} \quad (2.53)$$

Una vez que se conoce la profundidad “h” en un extremo, se puede calcular la profundidad en cada geófono, puesto que:

$$h_g = \frac{V_0}{\cos i} \left[t - \frac{x}{V_1} - \frac{h \cos i}{V_0} \right] \quad (2.54)$$

Lo que conlleva a situar h_g bajo el punto S como se muestra en la figura 2.29, con el propósito de verificar la ecuación 2.51.

Cabe mencionar que este método es demasiado útil cuando se realiza una línea sísmica partiendo de un sondeo, puesto que, conocida la profundidad del estrato refractor que interesa y su velocidad V_1 , teóricamente basta disparar solamente en un sentido para hallar la marcha del mismo (V_0) (Cantos, 1973).

e. Trazado de rayos

López (2016) indica que, para modelos geológicos complejos, de múltiples capas con refractores de topografía irregular, se emplea el método trazado de rayos, el cual es un método interactivo e iterativo que debe partir de un modelo de capas-velocidades y profundidades determinadas, que es calculado a partir de algunos de los métodos mencionados anteriormente, como es el tiempo de retardo, para empezar a calcular diferentes modelos a partir del trazado de rayos sísmicos desde los puntos de disparo. Cabe mencionar que el uso de las computadoras para el cálculo y análisis de las curvas t-x de la refracción sísmica se ha vuelto estratégico en los últimos años, por lo que el método más implementado en los programas especializados de computador es el trazado de rayos.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- **Consistencia:** facilidad relativa con la cual un suelo puede ser deformado.
- **Dromocrona:** Conjunto de puntos que pertenecen a un refractor.
- **Estrato típico:** Estrato de suelo con características tales que puede ser representativo de otros iguales o similares en un terreno dado.
- **Frecuencia:** número de ciclos que se producen durante una unidad de tiempo.
- **Fuente de energía:** punto de origen de las perturbaciones en el suelo para generar de ondas sísmicas, el cual consiste en un martillo y una placa metálica.
- **Nivel freático:** nivel superior del agua subterránea en el momento de la exploración.
- **Ondas longitudinales:** son aquellas que el sentido de la propagación coincide con el sentido de la propagación.
- **Ondas sísmicas:** pequeña cantidad de energía elástica de deformación el cual viaja a través del suelo desde la fuente de energía a velocidades que dependen tanto de las densidades del medio por el cual viajan como del módulo de elasticidad de este.
- **Ondas verticales:** las partículas se mueven perpendicularmente al sentido de la propagación por efecto del esfuerzo de corte.
- **Perfil estratigráfico:** perfil de descripción de los tipos de suelos donde se describe el color, el grado de contenido de humedad natural, módulo de finura y principales características físicas - mecánicas de cada una de las muestras.
- **Suelo compacto:** suelo con menor contenido de vacíos, el cual las partículas de este están en contacto unas con otras.
- **Trigger:** Cable conectado apropiadamente a la fuente sísmica, de tal manera que en el instante en que se golpea el suelo con el martillo o cuando la carga explosiva es detonada, el sistema de registro empieza a grabar.
- **Medio Isotrópico:** Las partículas presentan el mismo comportamiento y sus propiedades independientes de la dirección a la cual son medidas.
- **Reflexión:** Es un fenómeno que se da al cambio de dirección de una onda, al entrar en contacto con la superficie que separa 2 estratos con diferentes propiedades, regresando al estrato donde se originó.

- **Refracción:** Es un fenómeno que se da al cambio de dirección de una onda, al pasar de un estrato a otro con diferentes propiedades e índices refractivos.

2.4. HIPÓTESIS

La aplicación del método de refracción sísmica determina que los perfiles de onda P presentan arena seca en su primer estrato, arena medianamente saturada en el segundo estrato y arena sumamente saturada en el tercer estrato en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”, Distrito Víctor Larco.

2.5. VARIABLES E INDICADORES

2.5.1. VARIABLE

Perfil de ondas P.

2.5.2. DIMENSIONES

- Velocidad de onda de compresión.
- Altura de los estratos
- Altura del nivel freático

2.5.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 2.5.1. Dimensiones e indicadores de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD	INSTRUMENTO
Perfil de ondas P	Perfil de un suelo mediante los cambios de velocidad de las ondas P (ondas longitudinales) antes mencionadas puesto que las velocidades están en función de las propiedades dinámicas del suelo.	Ubicación de líneas sísmicas para realizar la refracción sísmica, clasificación de suelos mediante la ASTM D5777.	Velocidad de onda de compresión (V_p)	Distancia/Tiempo	m/s	Sismógrafo
			Altura de los estratos	Profundidad	m	Seisimager/2D
			Altura del Nivel freático	Profundidad	m	Seisimager/2D

3. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Aplicada.

3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Descriptiva.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

3.2.1. POBLACIÓN

Asentamiento Humano Pueblo de Huamán – Distrito de Víctor Larco.

3.2.2. MUESTRA

Nuestra muestra está delimitada por la Calle Rubén Darío, Calle D, Calle E, Av. Prolongación César Vallejo y la Calle 18, siendo el área de 5.05 hectáreas.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

A. EQUIPOS Y MATERIALES

- Estación total Topcon – GTS 3205 con aproximación de + 5 segundos.
- Prisma
- Radios comunicadores Motorola MT350PR
- GPS map 60 CSx

B. PROCEDIMIENTO

Realizar el levantamiento topográfico en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán” con un área de estudio de 5.05Ha con estación total y prisma, el cual los resultados fueron procesados en el software Auto civil 3d con el fin de conocer la situación actual de la topografía en el área de estudio, además de

conocer la cota en la que se colocará cada geófono. Se adjuntan puntos de levantamiento topográfico y planos (ver anexo 2 y 3).

3.3.2. REFRACCION SISMICA

A. EQUIPOS Y MATERIALES

- Sismógrafo de 24 canales marca GEA24
- Geófonos de 4.5 Hz
- Cable de refracción
- Fuente de energía de 16 lb
- Computadora portátil
- Plato metálico
- Batería de 12V
- Tigger

B. PROCEDIMIENTO

1. Determinar la longitud de tendido de la refracción sísmica para colocar los geófonos a una distancia de 2m.
2. Se preparará el equipo de refracción sísmica, ubicando los geófonos, la fuente de energía y el cable de conexión.
3. Se generará la perturbación a través de golpes con la fuente de energía para que los geófonos conviertan las vibraciones del suelo en una señal eléctrica que será registrada por un sismógrafo para cada línea sísmica.
4. La información registrada será procesada en una computadora portátil.

3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

De campo, porque la recolección de datos se hizo mediante ensayos de refracción sísmica, el cual son provenientes de la realidad y se utilizaron con el fin de cumplir los objetivos del trabajo de investigación.

3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

- Elaborar el plano topográfico con la ayuda de software tal es el AutoCAD Civil 3D.
- Procesar los datos obtenidos por la refracción sísmica con el software PASI Gea24.
- Realizar un pre-procesamiento de datos con el módulo Pickwin del software SeisImager 2D, en el que se selecciona las primeras llegadas de las ondas P.
- Procesar los datos finales de las líneas sísmicas con el módulo Plotrefa del software SeisImager 2D, en el que se generarán los modelos de la velocidad 2D.
- Clasificar los suelos de acuerdo al rango de velocidades de ondas P en los suelos de la norma ASTM D-5777.

4. RESULTADOS

4.1. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

Debido a que el objetivo principal es determinar el perfil de ondas P aplicando el método de refracción sísmica en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”, Distrito de Víctor Larco, debemos realizar en método de refracción sísmica considerando líneas sísmicas que abarquen la mayor área posible de la zona de estudio, para luego procesar la información en el software SeisImager 2D y conocer los rangos de velocidades de las ondas P.

4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.2.1.1. UBICACIÓN

El Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán” está ubicado en el Distrito de Víctor Larco, Provincia de Trujillo – La Libertad. Siendo las coordenadas UTM WGS84 del área de estudio N 9099471 y E 715631 de la zona 17, tal como se detalla en el Plano de Ubicación (ver anexo 1).



Figura 4.1. Área de estudio

Fuente: Google Earth Pro

El área de investigación se delimita por las coordenadas UTM WGS84, siendo:

Tabla 4.1. Coordenadas UTM WGS84 del área de estudio

Punto	Norte	Este	Cota
A	715763.428	9099402.087	23.526
B	715824.695	9099489.059	24.131
C	715612.305	9099563.434	23.115
D	715606.741	9099523.270	23.249
E	715541.416	9099543.853	22.608
F	715443.313	9099429.942	22.060
G	715580.908	9099380.138	22.667
H	715655.442	9099307.151	22.611

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2. VÍAS DE ACCESO

El sitio, por tratarse de un terreno descampado, cuenta con una buena accesibilidad, tanto para vehículos y peatones, por lo que tendrá un fácil ingreso del vehículo que transporta al personal y equipo para la ejecución del ensayo de refracción sísmica.

Al considerar como punto de partida al centro de estudios, la Universidad Privada Antenor Orrego, la vía de acceso más favorable fue la Av. Prolongación César Vallejo, volteando por la Av. Huamán y finalmente por la calle 28 de Julio.

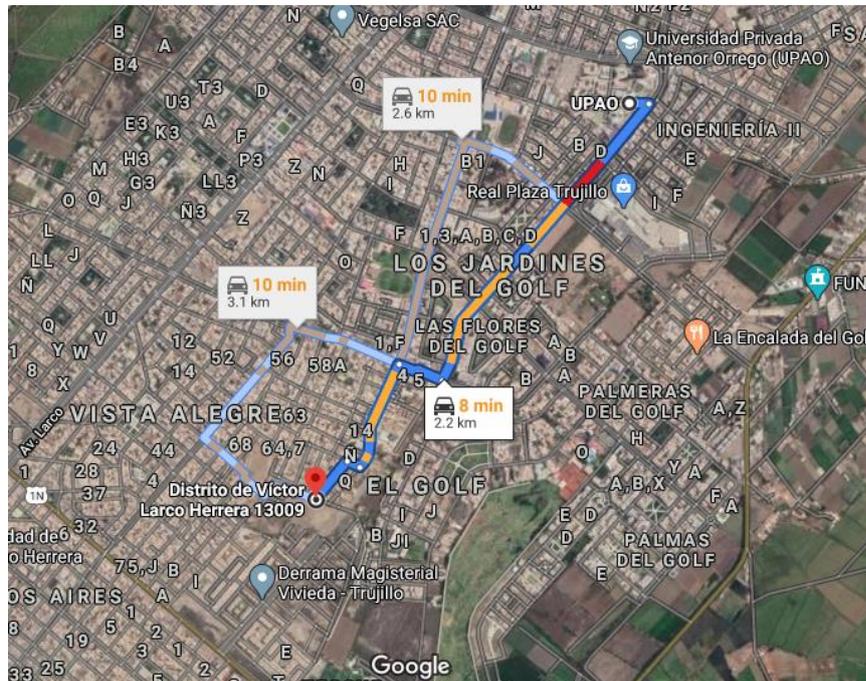


Figura 4.2. Vía de acceso a la zona de estudio

Fuente: Google Maps

La principal fuente de ruido en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán” es originado por los vehículos que transitan en la Panamericana norte, por lo que se planea realizar el ensayo de refracción sísmica donde el tránsito vehicular sea relativamente bajo. En la actualidad, nuestra área de estudio se tiene previsto construir estructuras como viviendas tipo quintas, parques, pavimentos y otros fines.

4.2.1.3. TOPOGRAFÍA

Se realizó el levantamiento, el cual se concluye que la topografía del área de estudio actualmente es semi-plana, tal como se muestra en el plano topográfico (ver anexo 3) y perfiles longitudinales de las líneas sísmicas (ver anexo 5). Además, presenta poca vegetación y cierta acumulación de basura, por ello se realizó limpieza en las áreas donde se consideraron los ensayos de refracción sísmica.

Se adjuntan los puntos topográficos en el anexo 2.



Figura 4.3. Topografía de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.4. GEOLOGÍA

De acuerdo al mapa geológico del Distrito Víctor Larco, realizado por el Instituto geológico, minero y metalúrgico (INGEMMET) se encontraron en las partes altas de la plataforma aluvial materiales como arenas limosas pardosas con gravas menores a ½” con formas sub angulosas de origen intrusivo.



Figura 4.4. Ubicación de zona de estudio

Fuente: INGEMENT, 2019

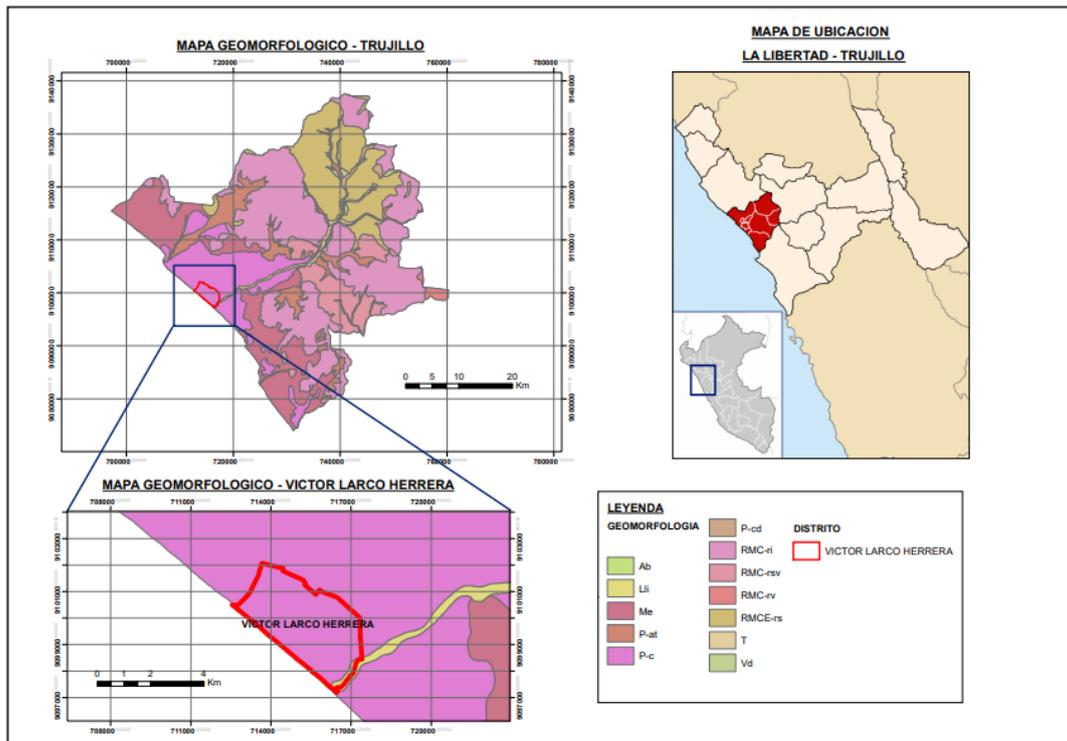


Figura 4.5. Geomorfología del distrito de Víctor Larco

Fuente: Elaboración propia usando el software Arcgis

De acuerdo a la elaboración del mapa geomorfológico del distrito de Víctor Larco se entiende que la mayor parte del suelo es Superficie plana adyacente a los cursos de zonas húmedas susceptible a inundación recurrente, ya sea estacional o excepcional.

Por lo que, debido al tipo de materiales que se encuentran en la superficie del asentamiento humano pueblo de Huamán, se utilizará un mazo de hierro de 16 lb como fuente de energía con la que se pueda alcanzar una profundidad de 20 a 30 m de propagación sísmica.

4.2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS EN CAMPO

4.2.2.1. EQUIPOS UTILIZADOS

El equipo que se utilizó en los ensayos de refracción sísmica fue:

- Sismógrafo de 24 canales.
- 24 geófonos verticales de 4.5Hz.
- Cable de tendido para conexión de geófonos.

- Cables de extensión del disparador de martillo o tigger.
- Placa de impacto de acero.
- Comba de 16 libras, adaptado con un switch disparador de martillo.
- Batería 12V.
- Cinta métrica de 100m.
- Yeso



Fotografía 4.1. Equipos empleados en campo para el ensayo de refracción sísmica

4.2.2.2. PERSONAL

El recurso humano que se consideró necesario para el ensayo de refracción sísmica fue:

- Técnico operador del sismógrafo.
- 1 ayudante para la colocación de geófonos.
- 1 motorista encargado de generar las ondas sísmicas.



Fotografía 4.2. Personal de campo requerido para ensayo de refracción sísmica.

4.2.2.3. TRABAJOS DE CAMPO

Como el área de estudio es de 5.05ha se ha considerado realizar tres líneas de refracción por cada hectárea, siendo el total de 15 puntos sísmicos. Además de ello, se han considerado dos tipos de parámetros principales para la toma de datos del ensayo de refracción sísmica, el primero se basa en el tendido de las líneas sísmicas y el segundo, en la toma de los datos sísmicos. De este modo, los ensayos se realizaron en dos fechas, siendo:

- La primera fecha fue el 27 de febrero de 2020, a las 6:00am hasta las 11:30am, en el cual consistió en la obtención de registros de 9 líneas o tendidos sísmicos cuyas longitudes fueron de 46m.
- La segunda fecha fue el 9 de marzo de 2020, a las 6:00am hasta las 9:30am, en el cual consistió en la obtención de registros de 6 líneas o tendidos sísmicos cuyas longitudes fueron de 46m.

Tabla 4.2. Ensayos realizados de acuerdo a las fechas

Línea	Longitud (m)	Cantidad de geófonos	Fecha
LS-01	46.00	24@2.00m	9/03/2020
LS-02	46.00	24@2.00m	9/03/2020
LS-03	46.00	24@2.00m	9/03/2020
LS-04	46.00	24@2.00m	9/03/2020
LS-05	46.00	24@2.00m	27/02/2020
LS-06	46.00	24@2.00m	27/02/2020
LS-07	46.00	24@2.00m	27/02/2020
LS-08	46.00	24@2.00m	27/02/2020
LS-09	46.00	24@2.00m	27/02/2020
LS-10	46.00	24@2.00m	27/02/2020
LS-11	46.00	24@2.00m	27/02/2020
LS-12	46.00	24@2.00m	27/02/2020
LS-13	46.00	24@2.00m	27/02/2020
LS-14	46.00	24@2.00m	27/02/2020
LS-15	46.00	24@2.00m	9/03/2020

Fuente: Elaboración propia

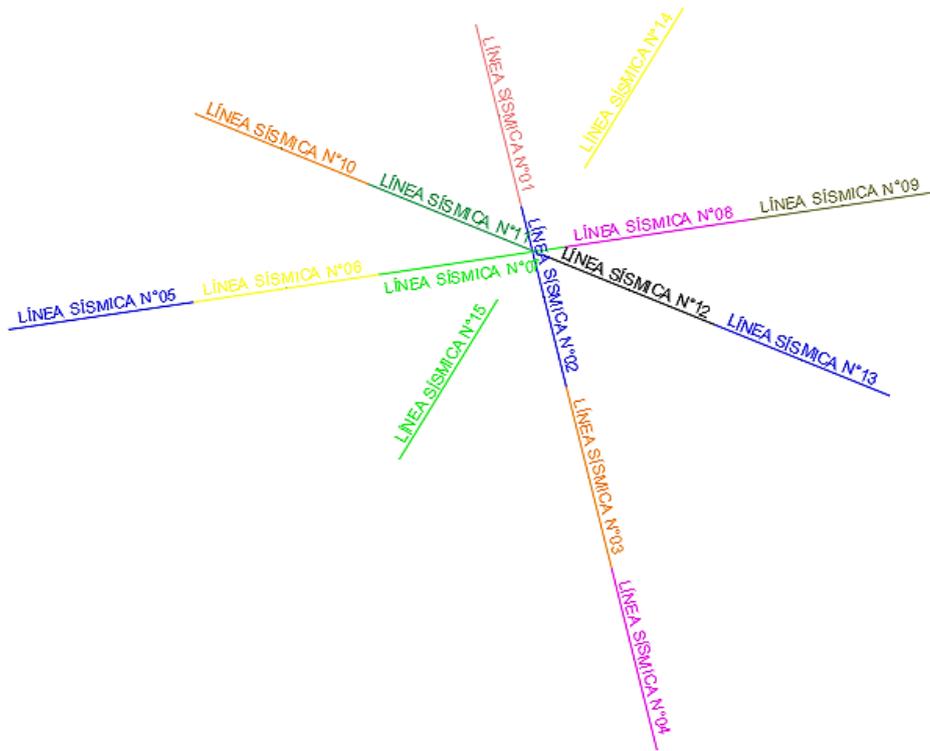


Figura 4.6. Esquema simple de líneas sísmicas

Fuente: Elaboración propia

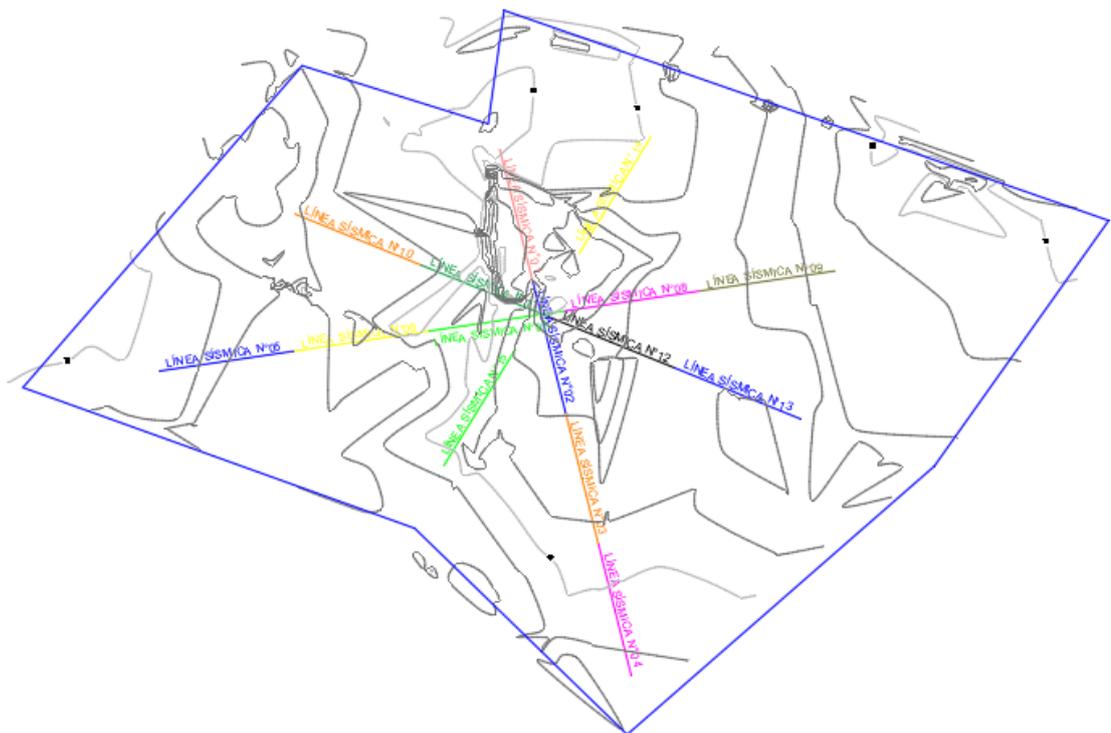


Figura 4.7. Esquema de líneas sísmicas con curvas de nivel.

Fuente: Elaboración propia

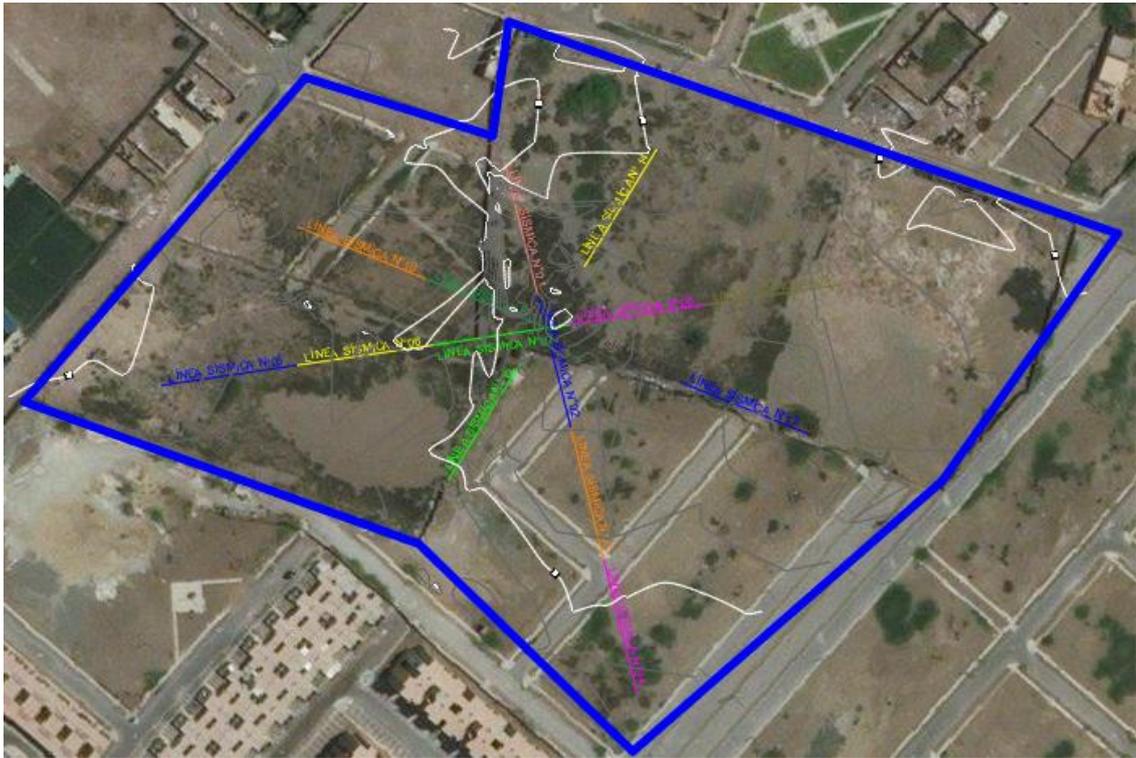


Figura 4.8. Esquema de líneas sísmicas georeferenciado.

Fuente: Elaboración propia

Las líneas sísmicas se distribuyeron tal como se muestra en el anexo 4. Para ello, se utilizaron 24 geófonos verticales de 4.5Hz separados a una distancia de 2m, considerando las longitudes de tendido de la tabla N° 2.3, según las recomendaciones de Rosales. Las longitudes de las líneas sísmicas fueron de 46m dando como resultado una profundidad de investigación de 13m. Los shots o puntos de disparo fueron 5, distribuidos tal como se muestra en el siguiente esquema:

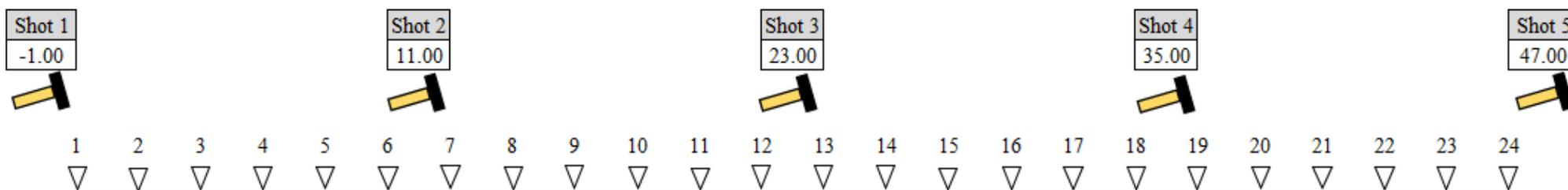
Refraccion Sismica

Distancia entre geofonos = 2.0 m
 Numero geofonos = 24
 Longitud de linea sismica = 46.00 m
 Longitud total de trabajo = 48.00 m

Posicion Shot 01 = -1.00 m
 Posicion Shot 02 = 11.00 m
 Posicion Shot 03 = 23.00 m

Posicion Shot 04 = 35.00 m
 Posicion Shot 05 = 47.00 m

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00	24.00	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00	40.00	42.00	44.00	46.00



Profundidad estudiada = 13.14 m

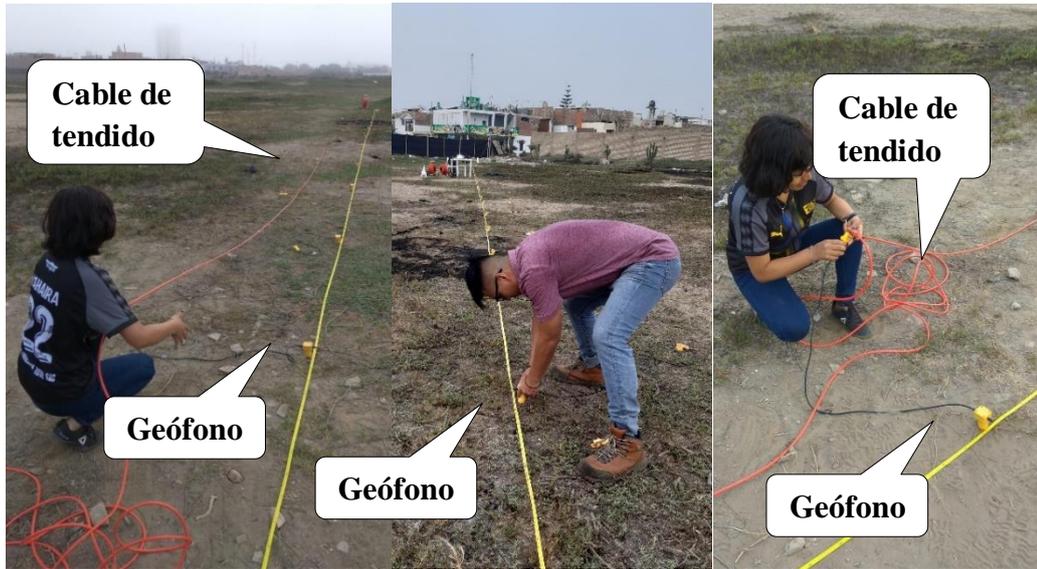
Luego de realizar la distribución de líneas sísmicas en el área de estudio de acuerdo al plano (ver anexo 6), se siguieron los siguientes pasos para la obtención de los registros:

1. Ubicación de geófonos utilizando la cintra métrica para tener una separación uniforme entre cada uno de ellos (ver fotografía 3).



Figura 4.3. Ejemplo de medición de cada línea sísmica con cintra métrica y ubicación de geófonos.

2. Tendido del cable de refracción considerando el punto de inicio y fin de cada línea sísmica, el cual a su vez se conecta con el sismógrafo. Además, se ubicaron los geófonos cada 2m conectándose al cable de tendido, tal como se muestra en la fotografía 4.



Fotografía 4.4. Tendido de cable de refracción (izquierda). Colocación de geófonos (centro). Conexión de geófonos al cable de refracción (derecha).

3. Despliegue de cable de extensión para disparador o tigger. Para ello se colocó en la fuente sísmica (comba) un dispositivo el cual marca el tiempo cero de registro (ver fotografía 5).



Fotografía 4.5. Tendido de cable de refracción (izquierda). Colocación de geófonos (centro). Conexión de geófonos al cable de refracción (derecha).

4. Conexión de cable de tendido, de tigger y portátil en el sismógrafo (ver fotografía 6).



Fotografía 4.6. Conexión de cable de refracción, tigger y portátil.

5. Configuración del Software PASI Gea24 de acuerdo a nuestros datos, siendo la distancia de geófonos y la ubicación de los puntos de disparo. Cabe mencionar que se tuvo en cuenta el segundo parámetro para la toma de datos del ensayo de refracción sísmica, el cual depende de cómo se encuentra el suelo. Al momento de colocar los geófonos se puede determinar las condiciones del suelo, dependiendo de la resistencia que ofrezca se tomará en cuenta los siguientes parámetros de adquisición:

Tabla 4.3. Parámetros de adquisición

Tipo de suelo	Intervalo ΔT (ms)	Toma de tiempo (S)
Compacto	62 – 0.125	1
Medio	0.125 – 0.250	1
Suave	0.250 – 0.500	1

Fuente: Portal, 2017

6. Adquisición de datos, para ello se golpea la placa de acero con la comba de 16lb en los puntos de disparo de acuerdo a la figura 4.9

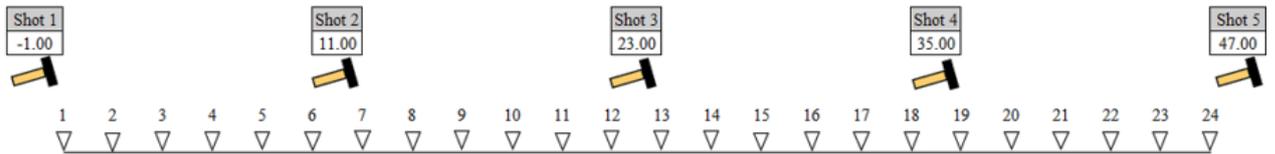


Figura 4.9. Esquema de una línea sísmica y sus puntos de disparo.

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 4.7. Generación de ondas sísmicas en los puntos de disparo con la fuente de energía (comba y placa de acero).

En el anexo 10 se muestra el panel fotográfico de las líneas sísmicas llevadas a cabo en el área de estudio, así como en el anexo 7 se muestran las características básicas tomadas en campo de cada línea sísmica, siendo las cotas de los geófonos con sus respectivas coordenadas.

4.2.3. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

4.2.3.1. PRE-PROCESAMIENTO

En la primera parte del procesamiento de la información de las líneas sísmicas consta con la toma de los datos del programa PASI Gea24. Luego de ello, en el módulo Pickwin del Software SeisImager 2D determinamos la calidad de las líneas sísmicas tomadas, ya que, debido al ruido, en algunos casos la información obtenida

no es tan nítida, por ello con este pre-procesamiento se trata de disminuir este ruido. Así como también indicamos en cada registro sísmico la coordenada del golpe. En el anexo 8 se muestran los registros sísmicos de las líneas sísmicas consideradas.

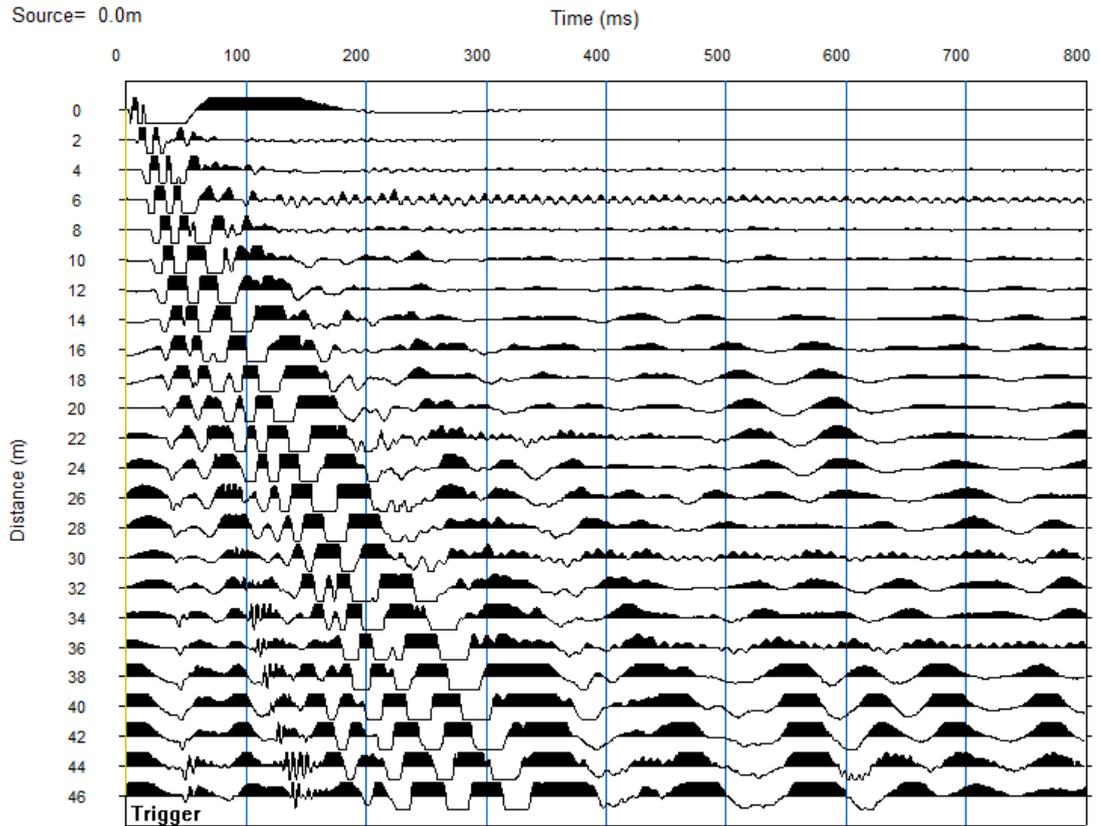


Figura 4.10. Registro sísmico LS-05-01 obtenido sin modificar.

4.2.3.2. TIEMPOS DE ARRIBO

Para el procesamiento de datos se han utilizado los 5 golpes que se han hecho por cada línea. De acuerdo a López (2016) para procesar los datos se suelen tomar el golpe central y los extremos, pero también se pueden tomar los 5 shots. Luego se procede a tomar los tiempos de arribo de la data en el módulo Pickwin, tal como se muestra en la figura:

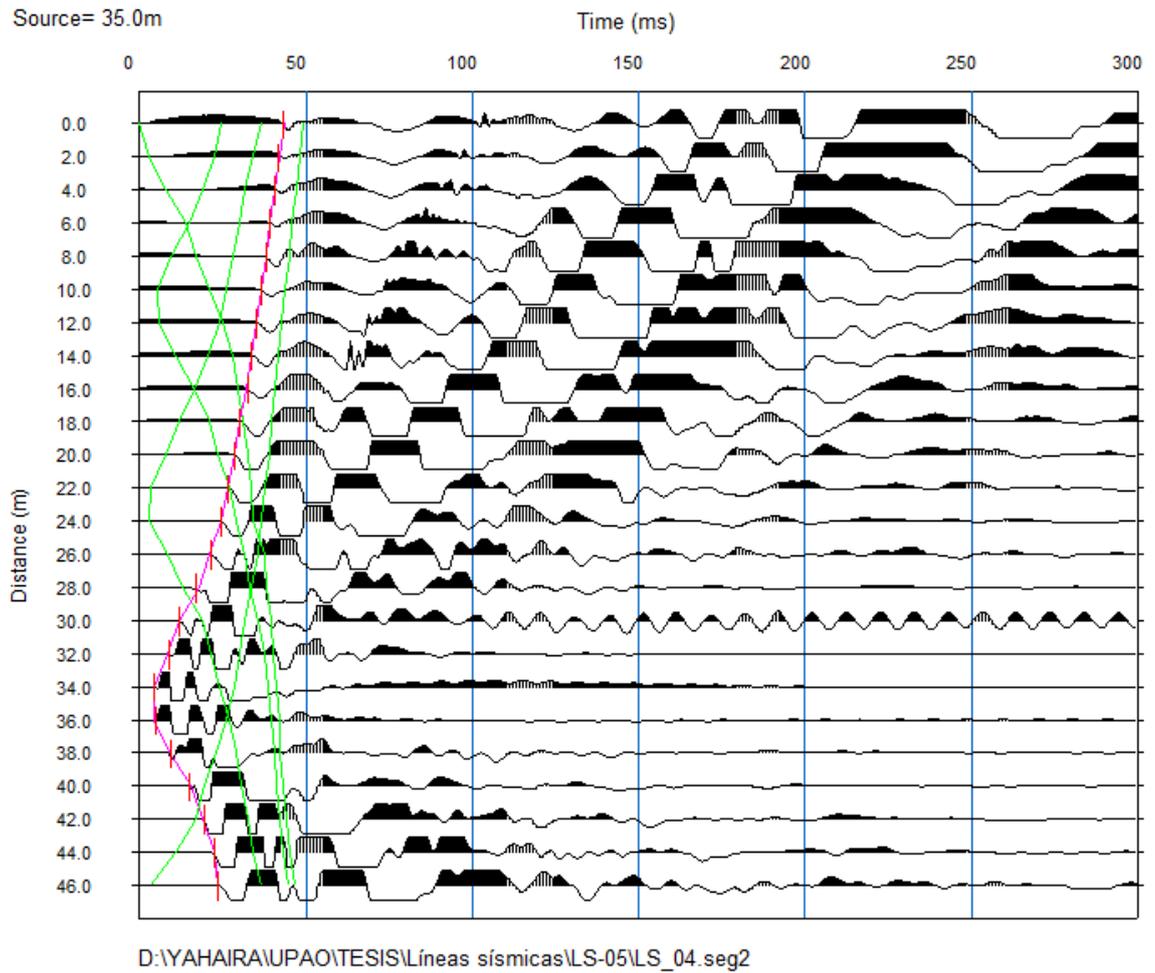


Figura 4.11. Selección de tiempos de arribo de la línea LS-05.

Este procedimiento se repite con la data completa de cada línea sísmica obteniendo como resultado las dromocronas.

4.2.3.3. CURVAS TIEMPO-DISTANCIA

Después de obtener los tiempos de arribo para cada geófono de cada registro sísmico, se genera el archivo el cual en el módulo de Plotrefa se obtienen las gráficas tiempo-distancia (curvas dromocrónicas), tal como se muestra en la figura 4.12:

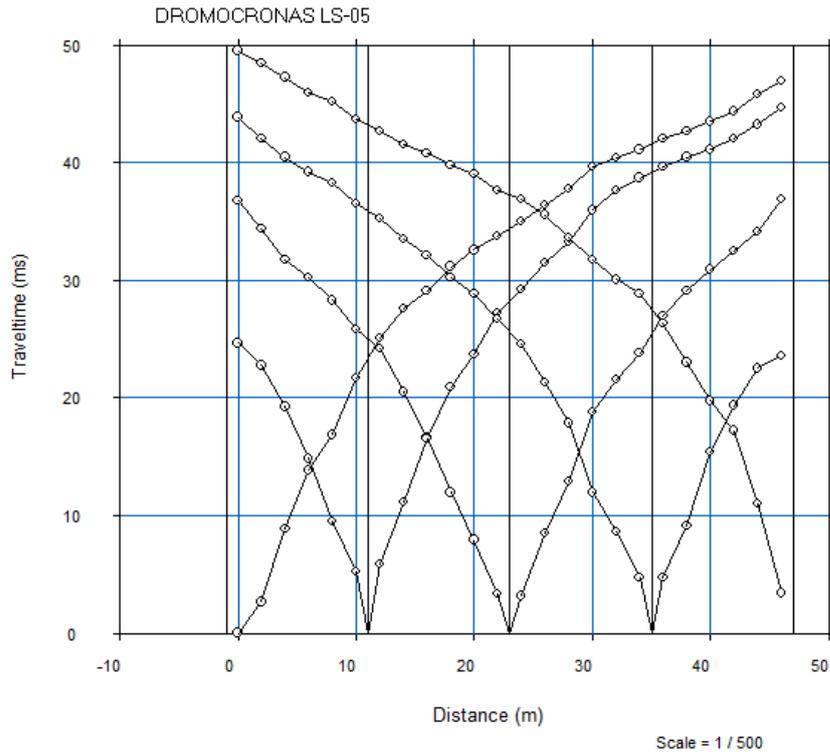


Figura 4.12. Dromocronas de la línea sísmica LS-05.

En esta parte se procede a la selección de las velocidades de onda P, así como también de la estratigrafía. Se aplican las capas de acuerdo a la selección de las velocidades en las dromocronas, tal como se observa en la figura 4.13:

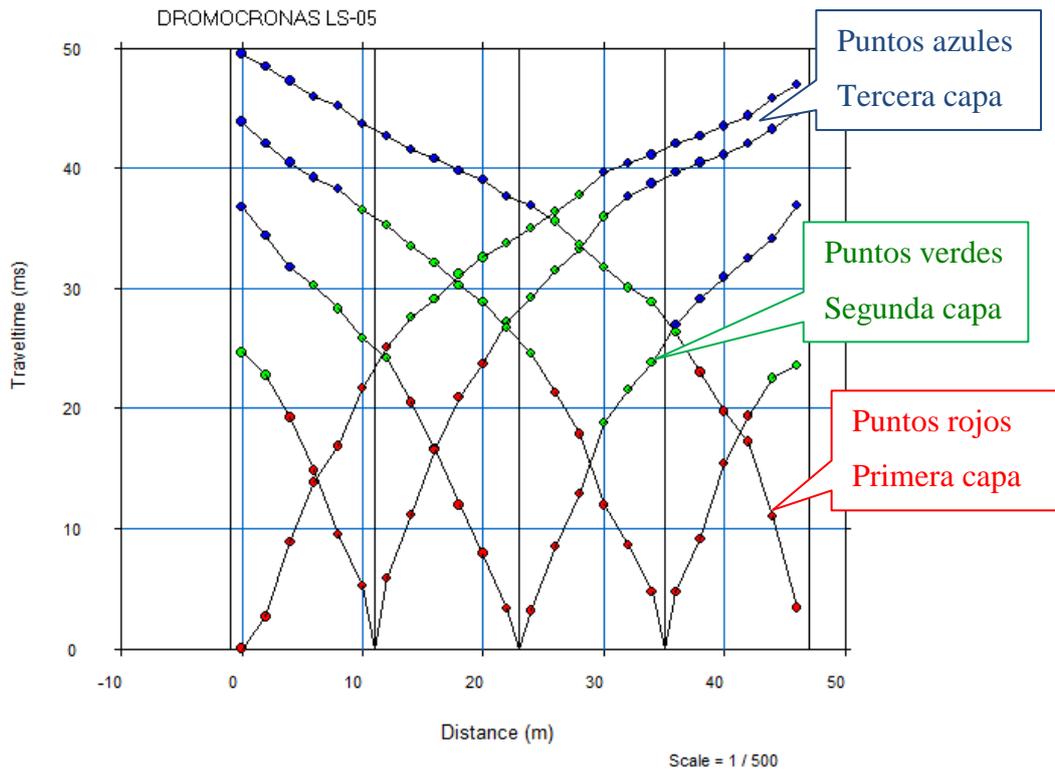


Figura 4.13. Dromocronas de la línea sísmica LS-06.

Se adjunta en el anexo 9 las curvas dromocrónicas de los registros sísmicos.

4.2.3.4. VELOCIDADES Y ESPESORES

Se adjunta la topografía obtenida en el levantamiento topográfico, dando uso al método Time-Term, el cual es una técnica de enfoque lineal de mínimos cuadrados con el propósito de determinar la mejor solución a las capas de una forma discreta, lo cual proporciona la secuencia de estratos determinados por la selección de datos (Portal, 2017).

Una vez que se hayan asignado las capas, como se mostró en la figura 4.13, se realiza la inversión de datos para la sección de velocidad. El RMS (root mean square) es aceptable cuando el error de inversión de matriz es de 1.5 o menos, si es más grande, es posible que se deba volver a examinar las selecciones y asignaciones de capas, en el anexo 10 se adjunta la tabla de los RMS obtenidos para cada línea sísmica.

Calculating time-term inversion : # of layers = 3
of travelttime data = 69 : # of unknown = 60 # of source = 5 # of receiver = 24

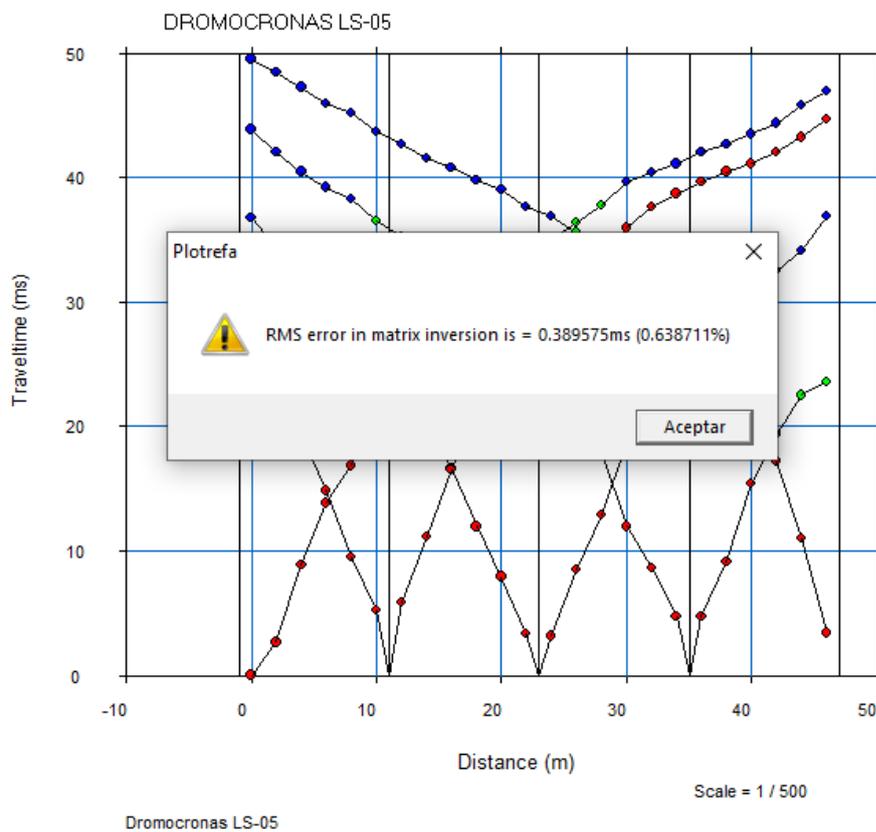


Figura 4.14. RMS error de inversión de matriz de las dromocronas de la línea sísmica LS-05.

Después de realizar la inversión de datos, se obtiene:

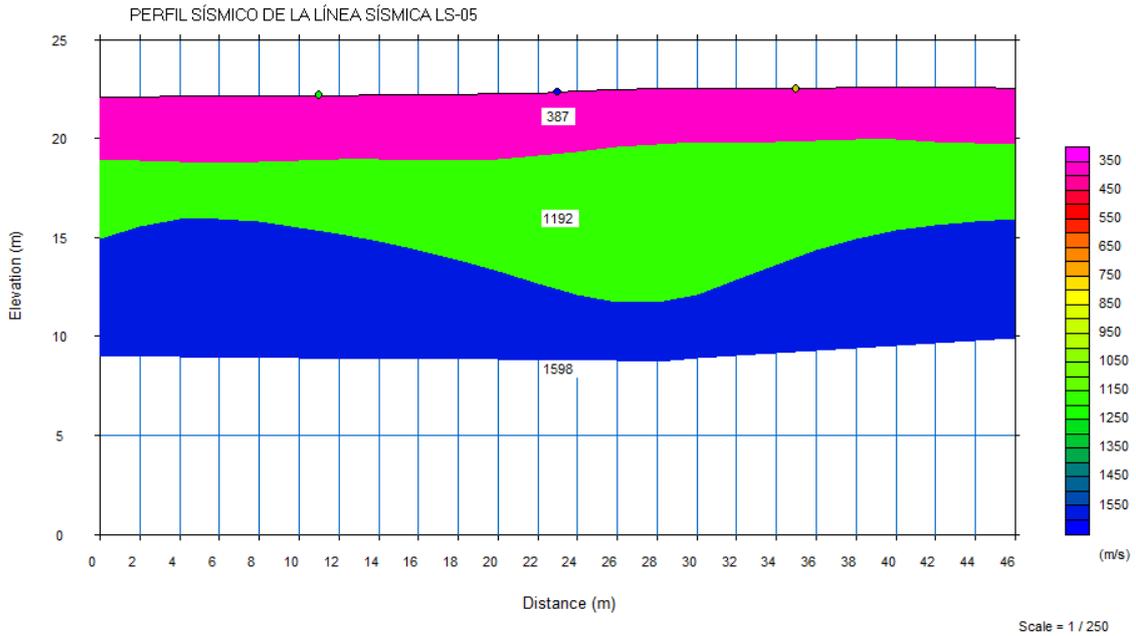


Figura 4.15. Modelo inicial determinado por el método Time-term de la línea sísmica LS-05.

Finalmente realizamos un proceso de inversión tomográfica para obtener un perfil sísmico más detallado, dicho método inicio con un modelo de velocidad inicial (figura 4.15) y rastrea a través de modelo con el objetivo de minimizar el error RMS entre lo observado y los tiempos de viaje calculados.

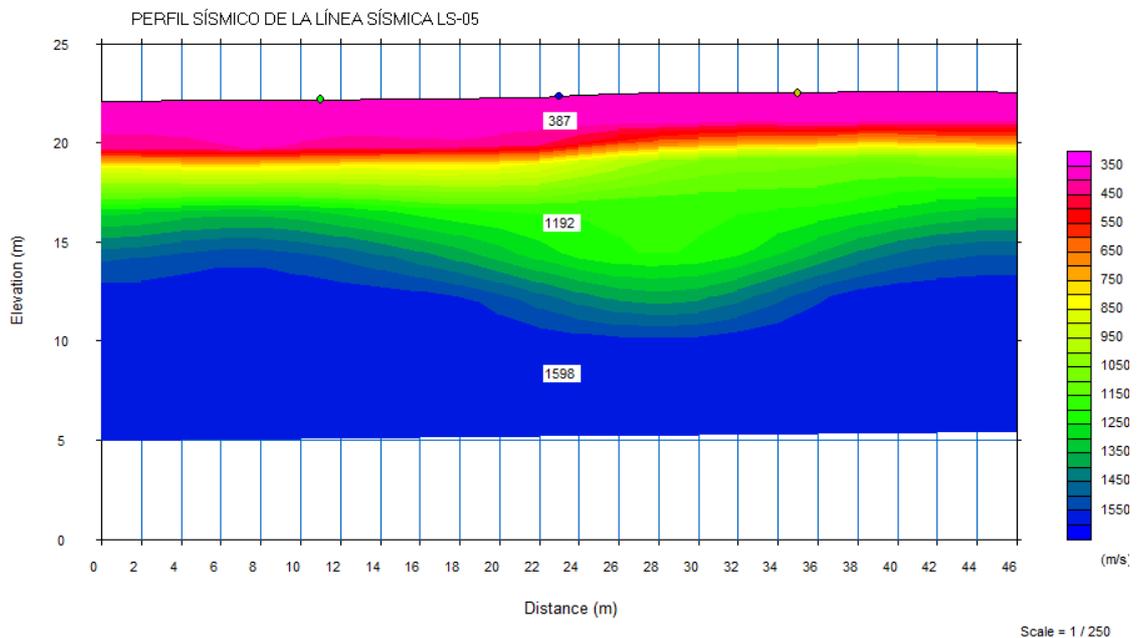


Figura 4.16. Modelamiento tomográfico del perfil de la línea sísmica LS-05.

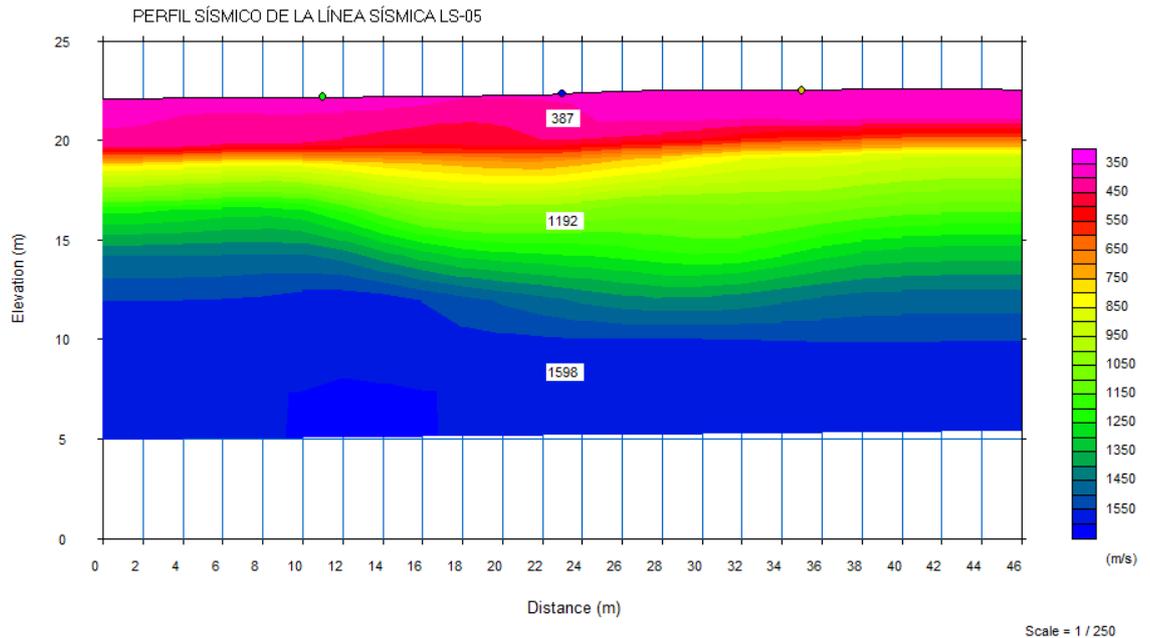


Figura 4.17. Modelamiento de perfil sísmico con inversión final de la línea sísmica LS-05.

Los resultados finales de las líneas sísmicas se adjuntan en el anexo 11.

4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS

En la hipótesis planteamos que la aplicación del método de refracción sísmica determina que los perfiles de ondas P presentan arena medianamente saturada en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”, Distrito Víctor Larco.

De acuerdo a la distribución de las líneas sísmicas se obtuvo que el primer estrato de los perfiles presenta arena seca de 0.95m a 6.60m de profundidad, el segundo estrato de los perfiles presenta arena medianamente saturada de 0.30m a 9.00m de profundidad, el tercer estrato de los perfiles presenta arena sumamente saturada de 0.80m a 11.25m, adicionalmente algunos perfiles dieron como resultado la presencia de agua en su tercer estrato. Por lo que la hipótesis no se cumple en su totalidad, puesto que al realizar el estudio se notó la presencia de agua en el tercer estrato.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- En el área de estudio de 5.04 hectáreas, se realizaron 590 m de ensayos de refracción sísmica distribuidos en 15 líneas, las longitudes de las líneas sísmicas

fueron de 46 m, los cuales permitieron obtener información hasta profundidades mayores a 15 metros.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-01 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: el primer estrato con valores de velocidad de onda longitudinal (V_p) entre 400m/s a 800m/s con un espesor variable de 1.20m a 5.10m, el cual está compuesto por arena seca, el segundo estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 800m/s a 1100m/s con un espesor variable de 0.45m a 4.20m, el cual está compuesto por arena seca, y el tercer estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1100m/s a 1220m/s con un espesor variable de 6.10m a 11.70m, el cual está compuesto por arena saturada.

Tabla 4.3.1. Resultados obtenidos de la línea LS-01

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_p (m/s)	Descripción
1	1.20 – 5.10	400 - 800	Arena seca
2	0.45 – 4.20	800 - 1100	Arena seca
3	6.10 – 11.70	1100 - 1220	Arena saturada

Fuente: Elaboración propia

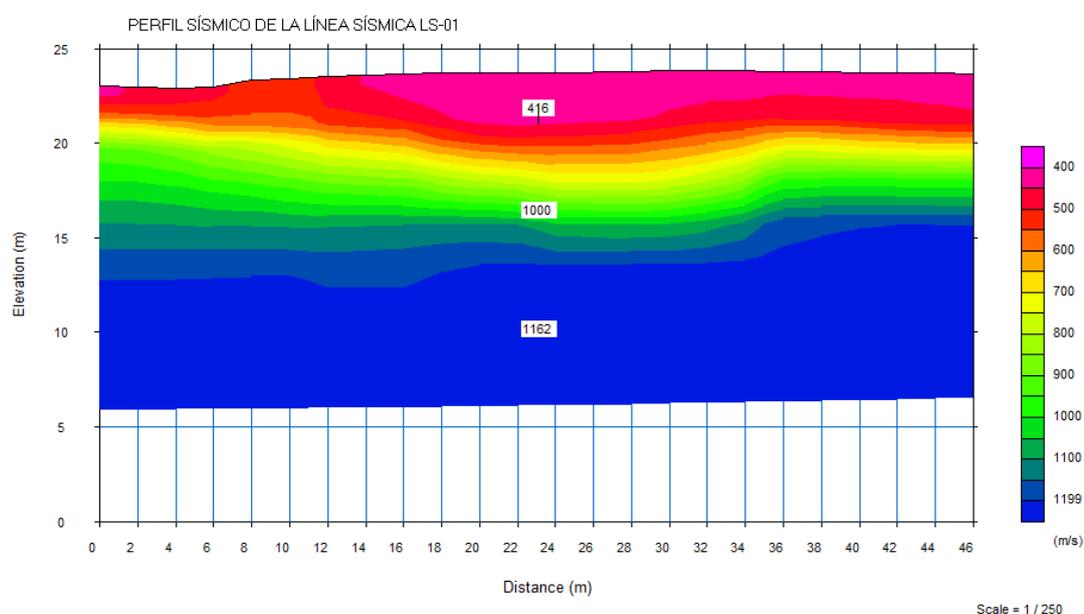


Figura 4.3.1. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-01.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-02 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: El primer estrato con valores de velocidad de onda longitudinal (V_p) entre 400m/s a 720m/s con un espesor variable de 0.90m a 5.10m, el cual está compuesto por arena seca, el segundo estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 720m/s a 1200m/s con un espesor variable de 0.70m a 9.20m, el cual está compuesto por arena seca y arena saturada a mayor profundidad de este estrato, y el tercer estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1200m/s a 1440m/s con un espesor variable de 3.80m a 9.30m, el cual está compuesto por arena saturada.

Tabla 4.3.2. Resultados obtenidos de la línea LS-02

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_p (m/s)	Descripción
1	0.90 – 5.10	400 - 720	Arena seca
2	0.70 – 9.20	720 - 1200	Arena seca, arena saturada
3	3.80 – 9.30	1200 - 1440	Arena saturada

Fuente: Elaboración propia

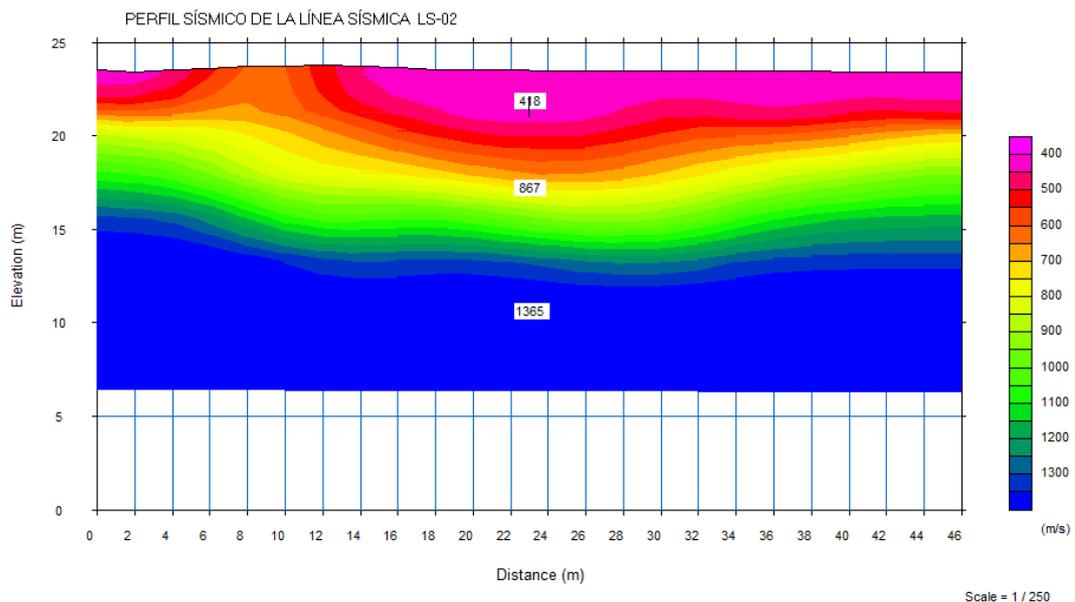


Figura 4.3.2. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-02.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-03 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: el primer estrato con valores de velocidad de onda

longitudinal (V_p) entre 360m/s a 700m/s con un espesor variable de 0.95m a 3.45m, el cual está compuesto por suelo intemperizado y arena seca a mayor profundidad de este estrato, el segundo estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 700m/s a 1400m/s con un espesor variable de 0.45m a 9.15m, el cual está compuesto por arena seca y arena saturada a mayor profundidad de este estrato, y el tercer estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1400m/s a 1500m/s con un espesor variable de 4.70m a 11.40m, el cual está compuesto por agua.

Tabla 4.3.3. Resultados obtenidos de la línea LS-03

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_p (m/s)	Descripción
1	0.95 – 3.45	360 - 700	Suelo intemperizado, arena seca
2	0.45 – 9.15	700 - 1400	Arena seca, arena saturada
3	4.70 – 11.40	1400 - 1500	Agua

Fuente: Elaboración propia

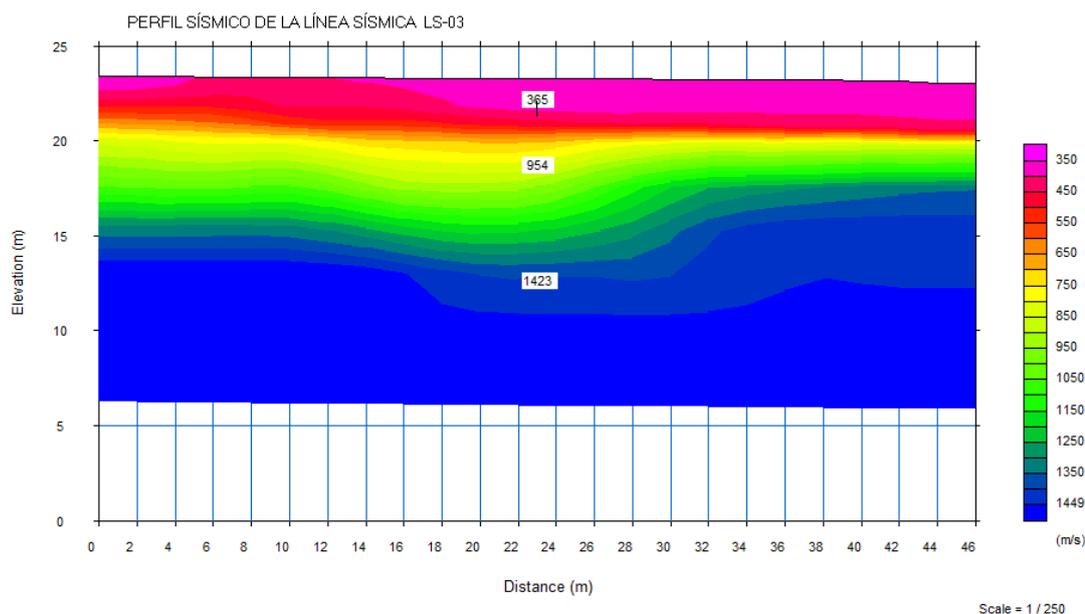


Figura 4.3.3. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-03.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-04 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: el primer estrato con valores de velocidad de onda longitudinal (V_p) entre 330m/s a 850m/s con un espesor variable de 2.00m a

3.20m, el cual está compuesto por suelo intemperizado y arena seca a mayor profundidad de este estrato, el segundo estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 850m/s a 1200m/s con un espesor variable de 0.30m a 7.90m, el cual está compuesto por arena seca y arena saturada a mayor profundidad de este estrato, y el tercer estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1200m/s a 1300m/s con un espesor variable de 4.85m a 12.35m, el cual está compuesto por arena saturada.

Tabla 4.3.4. Resultados obtenidos de la línea LS-04

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_p (m/s)	Descripción
1	2.00 – 3.20	330 - 850	Suelo intemperizado, arena seca
2	0.30 – 7.90	850 - 1200	Arena seca, arena saturada
3	4.85 – 12.35	1200 - 1300	Arena saturada

Fuente: Elaboración propia

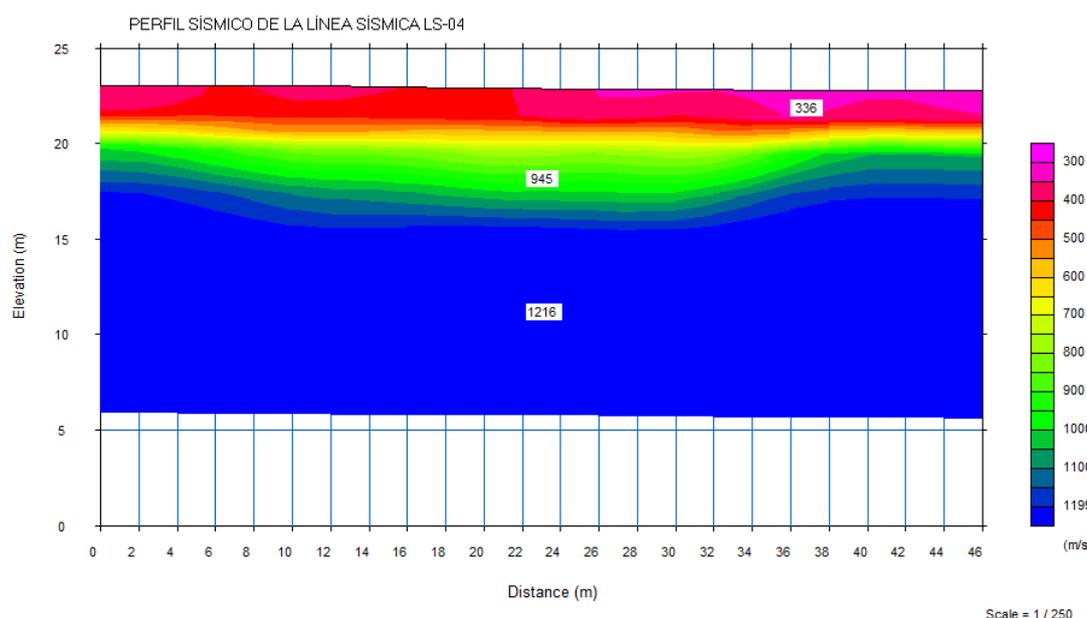


Figura 4.3.4. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-04.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-05 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: el primer estrato con valores de velocidad de onda longitudinal (V_p) entre 380m/s a 800m/s con un espesor variable de 2.50m a 3.45m, el cual está compuesto por suelo intemperizado y arena seca a mayor

profundidad de este estrato, el segundo estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 800m/s a 1400m/s con un espesor variable de 2.70m a 8.00m, el cual está compuesto por arena seca y arena saturada a mayor profundidad de este estrato, y el tercer estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1400m/s a 1610m/s con un espesor variable de 4.20m a 8.70m, el cual está compuesto por agua.

Tabla 4.3.5. Resultados obtenidos de la línea LS-05

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_p (m/s)	Descripción
1	2.50 – 3.45	380 - 800	Suelo intemperizado, arena seca
2	2.70 – 8.00	800 - 1400	Arena seca, arena saturada
3	4.20 – 8.70	1400 - 1610	Agua

Fuente: Elaboración propia

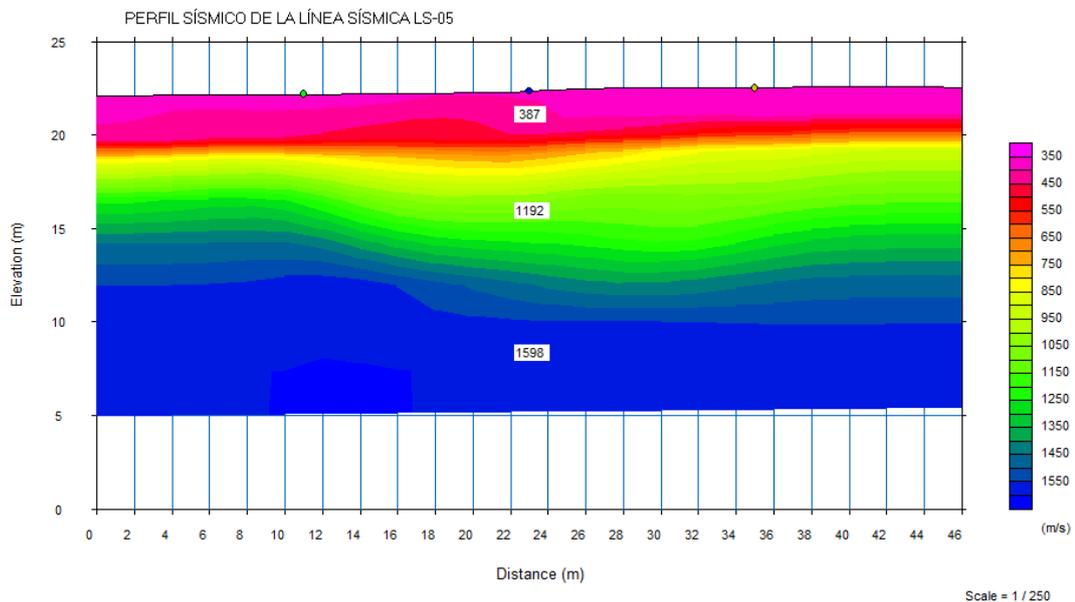


Figura 4.3.5. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-05.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-06 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: el primer estrato con valores de velocidad de onda longitudinal (V_p) entre 370m/s a 900m/s con un espesor variable de 2.35m a 4.05m, el cual está compuesto por suelo intemperizado y arena seca a mayor profundidad de este estrato, el segundo estrato presenta velocidades de onda

longitudinal (V_p) entre 1000m/s a 1300m/s con un espesor variable de 2.70m a 6.10m, el cual está compuesto por arena seca y arena saturada a mayor profundidad de este estrato y el tercer estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1300m/s a 1450m/s con un espesor variable de 5.75m a 8.75m, el cual está compuesto por arena saturada.

Tabla 4.3.6. Resultados obtenidos de la línea LS-06

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_p (m/s)	Descripción
1	2.35 – 4.05	370 - 900	Suelo intemperizado, arena seca
2	2.70 – 6.10	900 - 1300	Arena seca, arena saturada
3	5.75 – 8.75	1300 - 1450	Arena saturada

Fuente: Elaboración propia

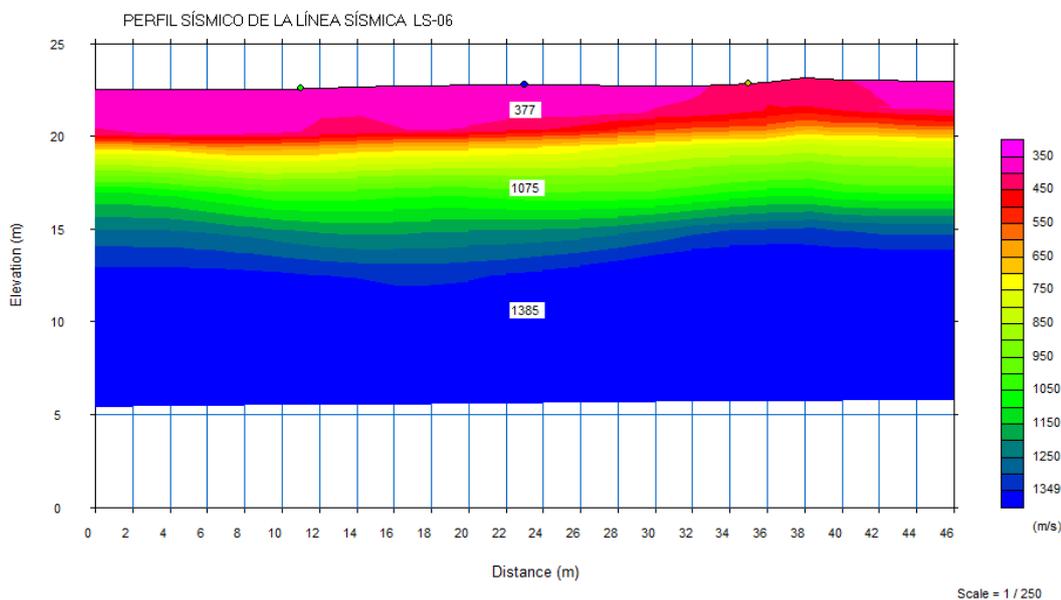


Figura 4.3.6. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-06.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-07 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: el primer estrato con valores de velocidad de onda longitudinal (V_p) entre 300m/s a 1200m/s con un espesor variable de 3.45m a 5.20m, el cual está compuesto por suelo intemperizado y arena seca a mayor profundidad de este estrato, el segundo estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1200m/s a 1800m/s con un espesor variable de 1.85m a

7.40m, el cual está compuesto por arena saturada, y el tercer estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1800m/s a 2180m/s con un espesor variable de 2.90m a 9.60m, el cual está compuesto por arenisca.

Tabla 4.3.7. Resultados obtenidos de la línea LS-07

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_p (m/s)	Descripción
1	3.45 – 5.20	300 – 1200	Suelo intemperizado, arena seca
2	1.85 – 7.40	1200 – 1800	Arena saturada
3	2.90 – 9.60	1800 - 2180	Arenisca

Fuente: Elaboración propia

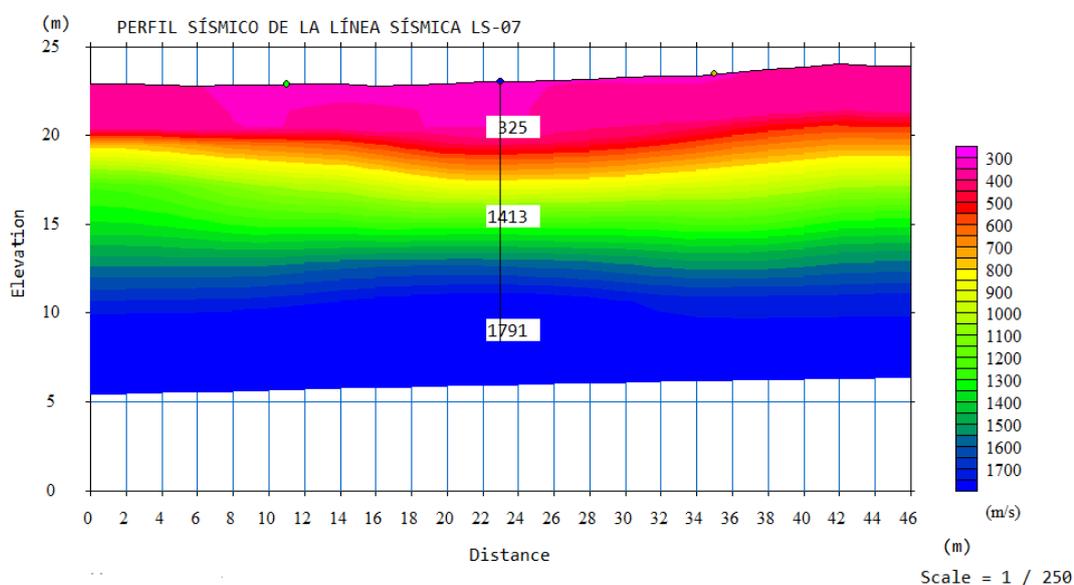


Figura 4.3.7. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-07.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-08 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: el primer estrato con valores de velocidad de onda longitudinal (V_p) entre 300m/s a 1200m/s con un espesor variable de 4.20m a 5.40m, el cual está compuesto por suelo intemperizado y arena seca a mayor profundidad de este estrato, el segundo estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1200m/s a 1800m/s con un espesor variable de 6.70m a 8.65m, el cual está compuesto por arena saturada, y el tercer estrato presenta

velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1800m/s a 2180m/s con un espesor variable de 1.60m a 3.60m, el cual está compuesto por arenisca.

Tabla 4.3.8. Resultados obtenidos de la línea LS-08

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_p (m/s)	Descripción
1	4.20 – 5.40	300 - 1200	Suelo intemperizado, arena seca
2	6.70 – 8.65	1200 - 1800	Arena saturada
3	1.60 – 3.60	1800 - 2180	Arenisca

Fuente: Elaboración propia

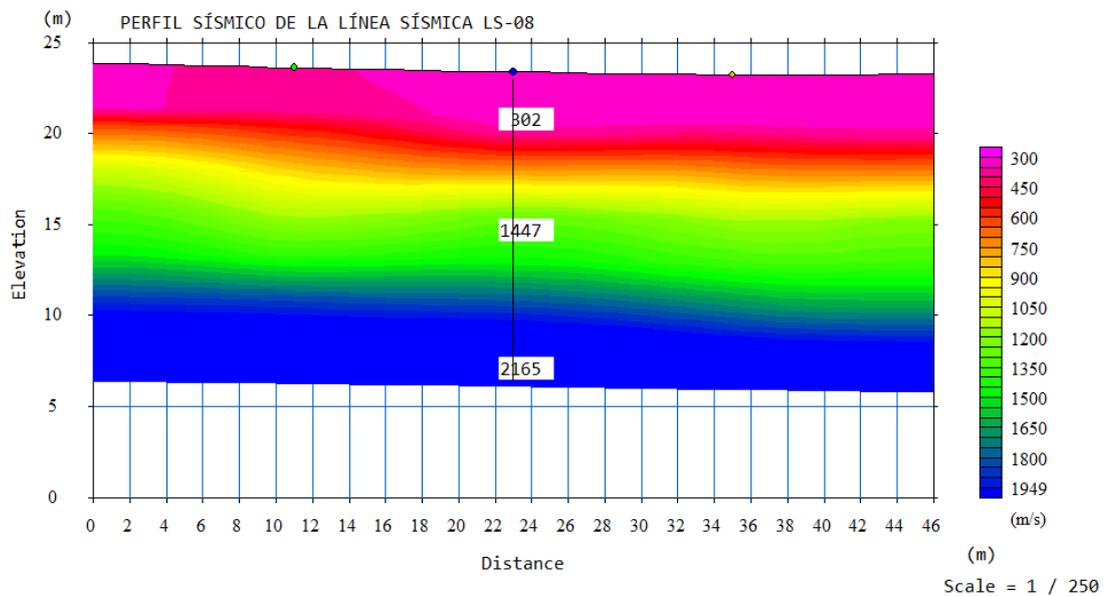


Figura 4.3.8. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-08.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-09 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: el primer estrato con valores de velocidad de onda longitudinal (V_p) entre 280m/s a 1000m/s con un espesor variable de 3.65m a 4.45m, el cual está compuesto por suelo intemperizado y arena seca a mayor profundidad de este estrato, el segundo estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1000m/s a 1750m/s con un espesor variable de 2.10m a 11.95m, el cual está compuesto por arena saturada, y el tercer estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1750m/s a 2210m/s con un espesor variable de 1.40m a 4.20m, el cual está compuesto por arenisca.

Tabla 4.3.9. Resultados obtenidos de la línea LS-09

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_P (m/s)	Descripción
1	3.65 – 4.45	280 - 1000	Suelo intemperizado, arena seca
2	2.10 – 11.95	1000 - 1750	Arena saturada
3	1.40 – 4.20	1750 - 2210	Arenisca

Fuente: Elaboración propia

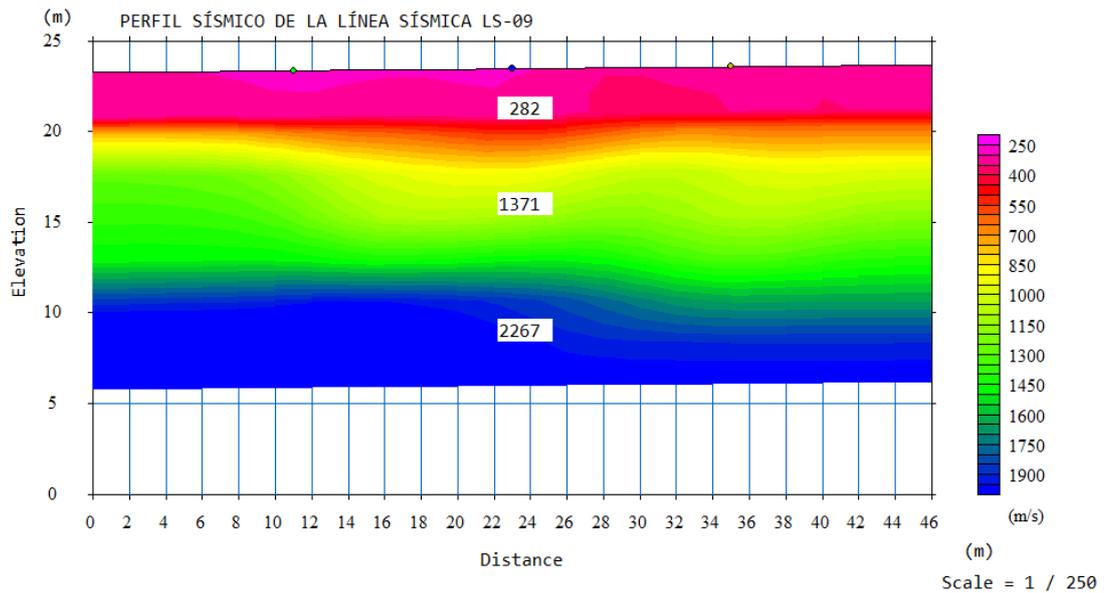


Figura 4.3.9. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-09.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-10 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: el primer estrato con valores de velocidad de onda longitudinal (V_p) entre 340m/s a 950m/s con un espesor variable de 1.15m a 6.60m, el cual está compuesto por suelo intemperizado y arena seca a mayor profundidad de este estrato, el segundo estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 950m/s a 1400m/s con un espesor variable de 0m a 9.70m, el cual está compuesto por arena seca y arena saturada a mayor profundidad de este estrato, y el tercer estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1400m/s a 1880m/s con un espesor variable de 2.65m a 8.30m, el cual está compuesto por arena saturada.

Tabla 4.3.10. Resultados obtenidos de la línea LS-10

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_P	Descripción
		(m/s)	
1	1.15 – 6.60	340 – 950	Suelo intemperizado, arena seca
2	0 – 9.70	950 - 1400	Arena seca, arena saturada
3	2.65 – 8.30	1400 - 1880	Arena saturada

Fuente: Elaboración propia

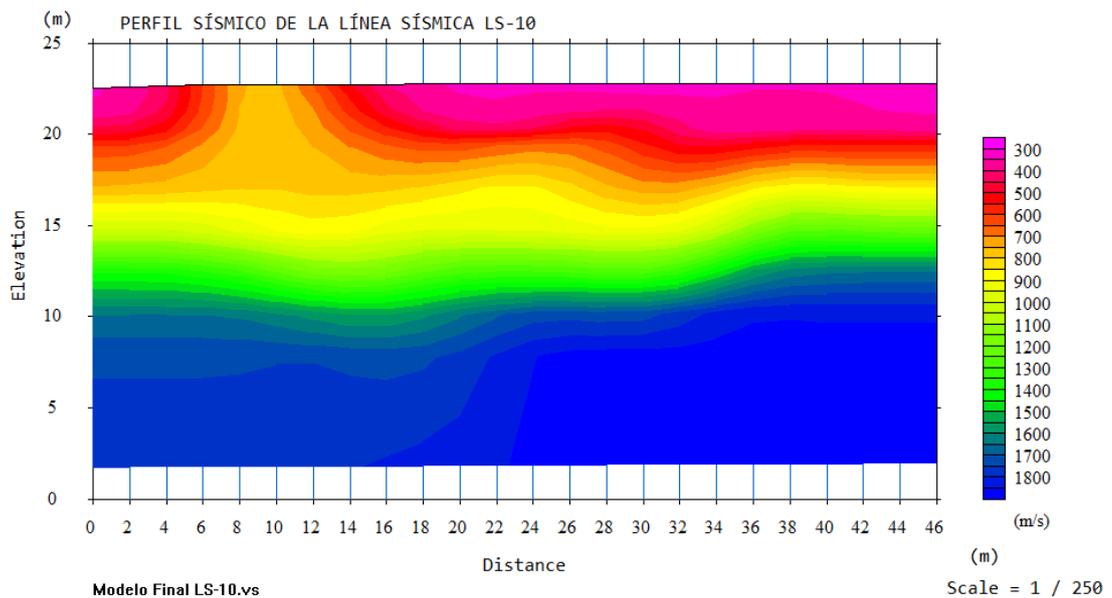


Figura 4.3.10. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-10.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-11 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: el primer estrato con valores de velocidad de onda longitudinal (V_p) entre 340m/s a 1050m/s con un espesor variable de 3.05m a 4.00m, el cual está compuesto por suelo intemperizado y arena seca a mayor profundidad de este estrato, el segundo estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1050m/s a 1250m/s con un espesor variable de 4.20m a 10.25m, el cual está compuesto por arena saturada, y el tercer estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1250m/s a 1880m/s con un espesor variable de 0.80m a 7.25m, el cual está compuesto por arena saturada

Tabla 4.3.11. Resultados obtenidos de la línea LS-11

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_p (m/s)	Descripción
1	3.05 – 4.00	340 – 1050	Suelo intemperizado, arena seca
2	4.20 – 10.25	1050 - 1250	Arena seca, arena saturada
3	0.80 – 7.25	1250 - 1880	Arena saturada

Fuente: Elaboración propia

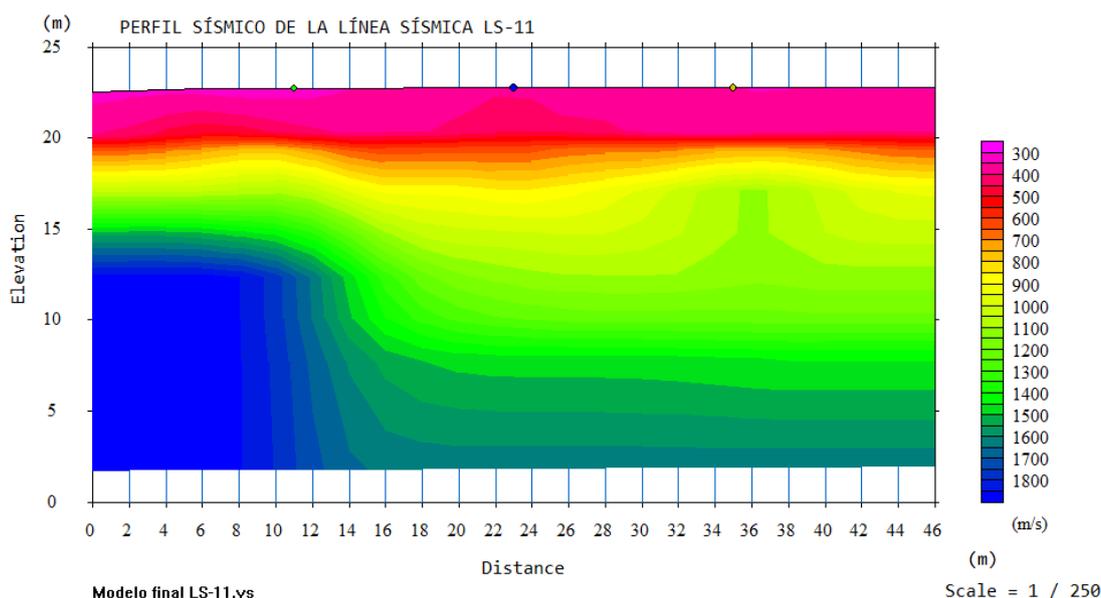


Figura 4.3.11. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-11.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-12 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: el primer estrato con valores de velocidad de onda longitudinal (V_p) entre 280m/s a 1100m/s con un espesor variable de 0.90m a 3.50m, el cual está compuesto por suelo intemperizado y arena seca a mayor profundidad de este estrato, el segundo estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1100m/s a 1350m/s con un espesor variable de 2.05m a 6.85m, el cual está compuesto por arena saturada, y el tercer estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1350m/s a 1420m/s con un espesor variable de 5.40m a 9.20m, el cual está compuesto por arena saturada.

Tabla 4.3.12. Resultados obtenidos de la línea LS-12

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_p (m/s)	Descripción
1	0.90 – 3.50	280 - 1100	Suelo intemperizado, arena seca
2	2.05 – 6.85	1100 – 1350	Arena saturada
3	5.40 – 9.20	1350 - 1420	Arena saturada

Fuente: Elaboración propia

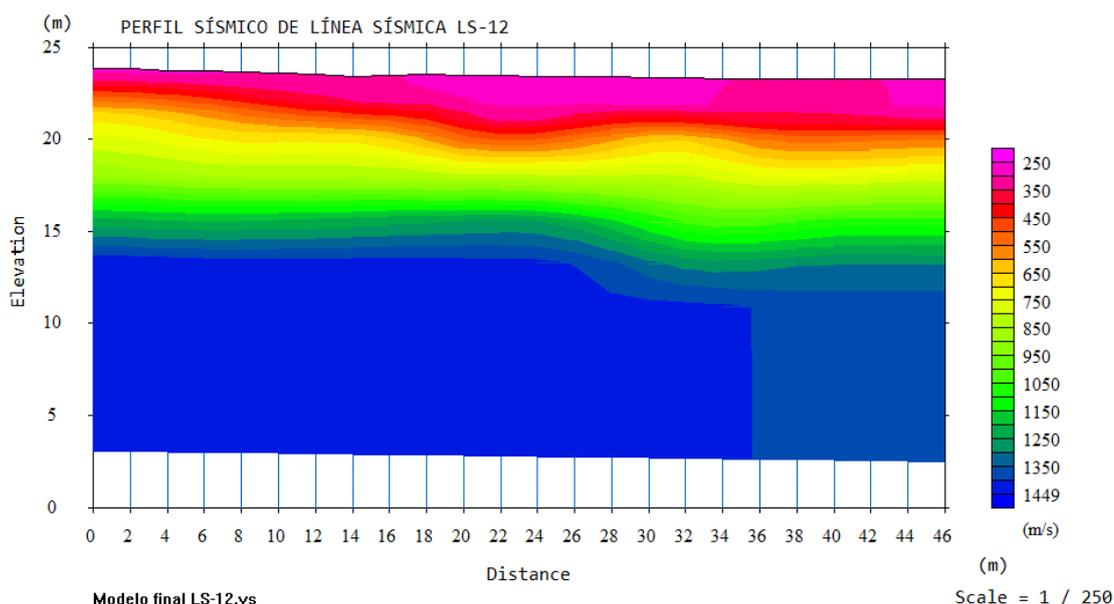


Figura 4.3.12. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-12.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-13 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: El primer estrato con valores de velocidad de onda longitudinal (V_p) entre 460m/s a 900m/s con un espesor variable de 2.00m a 5.00m, el cual está compuesto por arena seca, el segundo estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 900m/s a 1350m/s con un espesor variable de 3.30m a 9.30m, el cual está compuesto por arena seca y arena saturada a mayor profundidad de este estrato, y el tercer estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1350m/s a 1400m/s con un espesor variable de 3.20m a 6.75m, el cual está compuesto por arena saturada.

Tabla 4.3.13. Resultados obtenidos de la línea LS-13

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_p (m/s)	Descripción
1	2.00 – 5.00	460 – 900	Arena seca
2	3.30 – 9.30	900 – 1350	Arena seca, arena saturada
3	3.20 – 6.75	1350 – 1400	Arena saturada

Fuente: Elaboración propia

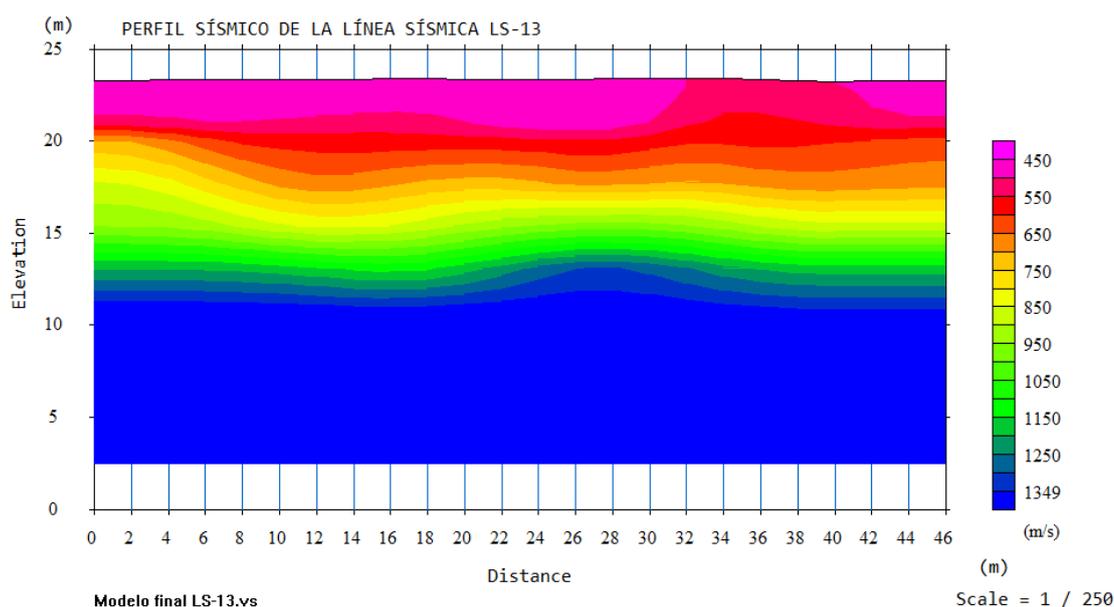


Figura 4.3.13. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-13.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-14 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: El primer estrato con valores de velocidad de onda longitudinal (V_p) entre 400m/s a 750m/s con un espesor variable de 0.00m a 3.60m, el cual está compuesto por arena seca, el segundo estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 750m/s a 1150m/s con un espesor variable de 2.15m a 8.80m, el cual está compuesto por arena seca y arena saturada a mayor profundidad de este estrato, y el tercer estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1150m/s a 1300m/s con un espesor variable de 5.40m a 9.30m, el cual está compuesto por arena saturada.

Tabla 4.3.14. Resultados obtenidos de la línea LS-14

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_p (m/s)	Descripción
1	0.00 – 3.60	400 - 750	Arena seca
2	2.15 – 8.80	750 - 1150	Arena seca, arena saturada
3	5.40 – 9.30	1150 - 1300	Arena saturada

Fuente: Elaboración propia

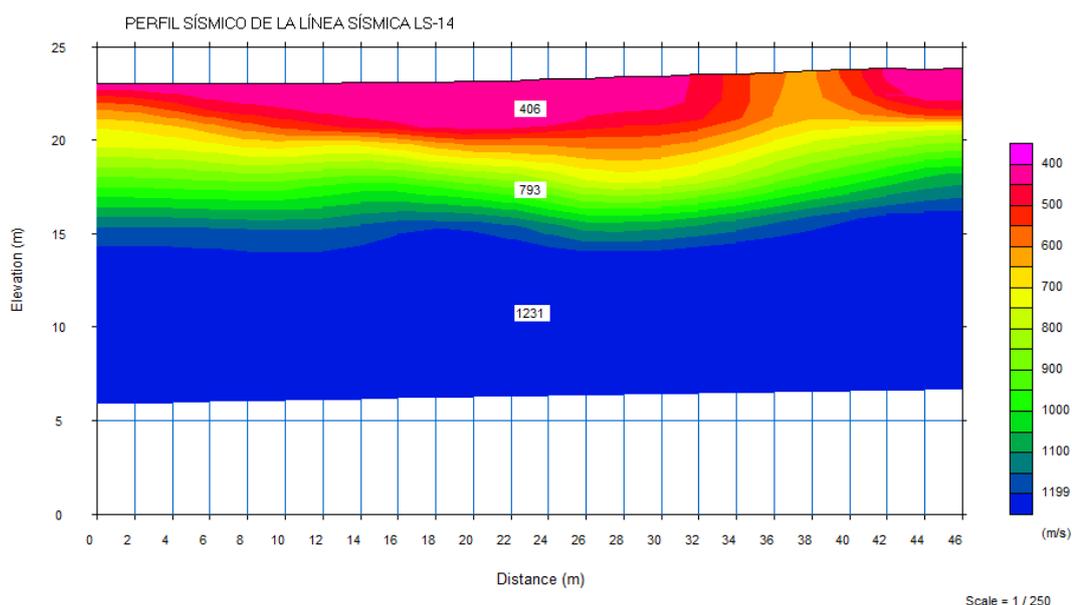


Figura 4.3.14. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-14.

- Se realizó el perfil sísmico de la línea LS-15 con una longitud de 46m, el cual presentó tres estratos sísmicos: el primer estrato con valores de velocidad de onda longitudinal (V_p) entre 380m/s a 800m/s con un espesor variable de 0.95m a 4.10m, el cual está compuesto por suelo intemperizado y arena seca a mayor profundidad de este estrato, el segundo estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 800m/s a 1400m/s con un espesor variable de 1.25m a 7.65m, el cual está compuesto por arena seca y arena saturada a mayor profundidad de este estrato, y el tercer estrato presenta velocidades de onda longitudinal (V_p) entre 1400m/s a 1600m/s con un espesor variable de 5.85m a 9.90m, el cual está compuesto por agua.

Tabla 4.3.15. Resultados obtenidos de la línea LS-15

Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_P (m/s)	Descripción
1	0.95 – 4.10	380 – 800	Suelo intemperizado, arena seca
2	1.25 – 7.65	800 – 1400	Arena seca, arena saturada
3	5.85 – 9.90	1400 – 1600	Agua

Fuente: Elaboración propia

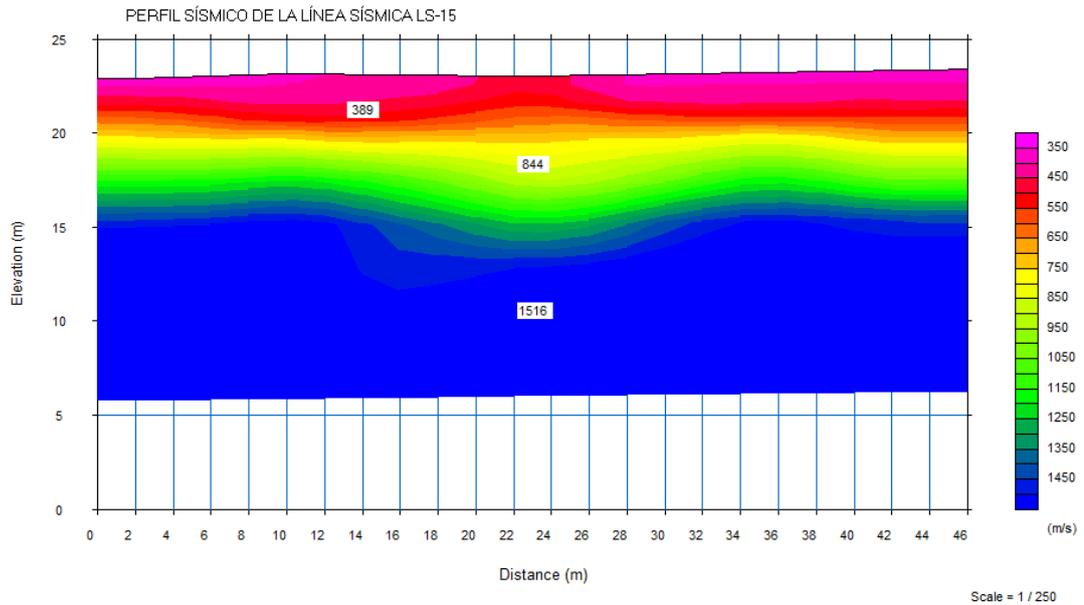


Figura 4.3.15. Perfil sísmico de la línea sísmica LS-15.

CONCLUSIONES

1. El objetivo del presente proyecto “PERFIL DE ONDAS P APLICANDO EL MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO PUEBLO DE HUAMÁN, DISTRITO VÍCTOR LARCO” consiste en la medición de la velocidad de propagación de las ondas P que nos permitió determinar el perfil sísmico estratigráfico del terreno.
2. El empleo de los métodos geofísicos sirve como complemento para los ensayos de métodos directo, debido a que tienen un grado de aproximación recomendable, por lo que se deduce que el propósito es zonificar de manera horizontal y vertical todo el suelo de interés antes de ejecutar sondeos mecánicos, con el propósito de obtener información más detallada tanto horizontal como verticalmente.
3. De acuerdo a la clasificación de la norma ASTM D5777 los resultados de los análisis realizados para las líneas sísmicas de refracción muestran suelos conformados por arena seca, suelo intemperizado, arena saturada y agua en algunos casos; por lo que se concluye que el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán” tiene un suelo arenoso.

Tabla 1. Resultados obtenidos de las líneas sísmicas

Línea sísmica	Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_P (m/s)	Descripción
LS-01	1	1.20 – 5.10	400 - 800	Arena seca
	2	0.45 – 4.20	800 - 1100	Arena seca
	3	6.10 – 11.70	1100 - 1220	Arena saturada
LS-02	1	0.90 – 5.10	400 - 720	Arena seca
	2	0.70 – 9.20	720 - 1200	Arena seca, arena saturada
	3	3.80 – 9.30	1200 - 1440	Arena saturada
LS-03	1	0.95 – 3.45	360 - 700	Suelo intemperizado, arena seca
	2	0.45 – 9.15	700 - 1400	Arena seca, arena saturada
	3	4.70 – 11.40	1400 - 1500	Agua

Línea sísmica	Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_P (m/s)	Descripción
LS-04	1	2.00 – 3.20	330 - 850	Suelo intemperizado, arena seca
	2	0.30 – 7.90	850 - 1200	Arena seca, arena saturada
	3	4.85 – 12.35	1200 - 1300	Arena saturada
LS-05	1	2.50 – 3.45	380 - 800	Suelo intemperizado, arena seca
	2	2.70 – 8.00	800 - 1400	Arena seca, arena saturada
	3	4.20 – 8.70	1400 - 1610	Agua
LS-06	1	2.35 – 4.05	370 - 900	Suelo intemperizado, arena seca
	2	2.70 – 6.10	900 - 1300	Arena seca, arena saturada
	3	5.75 – 8.75	1300 - 1450	Arena saturada
LS-07	1	3.45 – 5.20	300 – 1200	Suelo intemperizado, arena seca
	2	1.85 – 7.40	1200 – 1800	Arena saturada
	3	2.90 – 9.60	1800 - 2180	Arenisca
LS-08	1	4.20 – 5.40	300 - 1200	Suelo intemperizado, arena seca
	2	6.70 – 8.65	1200 - 1800	Arena saturada
	3	1.60 – 3.60	1800 - 2180	Arenisca
LS-09	1	3.65 – 4.45	280 - 1000	Suelo intemperizado, arena seca
	2	2.10 – 11.95	1000 - 1750	Arena saturada
	3	1.40 – 4.20	1750 - 2210	Arenisca
LS-10	1	1.15 – 6.60	340 – 950	Suelo intemperizado, arena seca
	2	0 – 9.70	950 - 1400	Arena seca, arena saturada

Línea sísmica	Estrato	Potencia (m)	Velocidad V_P (m/s)	Descripción
	3	2.65 – 8.30	1400 - 1880	Arena saturada
LS-11	1	3.05 – 4.00	340 – 1050	Suelo intemperizado, arena seca
	2	4.20 – 10.25	1050 - 1250	Arena seca, arena saturada
	3	0.80 – 7.25	1250 - 1880	Arena saturada
LS-12	1	0.90 – 3.50	280 - 1100	Suelo intemperizado, arena seca
	2	2.05 – 6.85	1100 – 1350	Arena saturada
	3	5.40 – 9.20	1350 - 1420	Arena saturada
LS-13	1	2.00 – 5.00	460 – 900	Arena seca
	2	3.30 – 9.30	900 – 1350	Arena seca, arena saturada
	3	3.20 – 6.75	1350 – 1400	Arena saturada
LS-14	1	0.00 – 3.60	400 - 750	Arena seca
	2	2.15 – 8.80	750 - 1150	Arena seca, arena saturada
	3	5.40 – 9.30	1150 - 1300	Arena saturada
LS-15	1	0.95 – 4.10	380 – 800	Suelo intemperizado, arena seca
	2	1.25 – 7.65	800 – 1400	Arena seca, arena saturada
	3	5.85 – 9.90	1400 – 1600	Agua

Fuente: Elaboración propia

- De acuerdo al tipo de suelo obtenido mediante la refracción sísmica, se deduce que el primer estrato de los perfiles de ondas P tiene una densidad seca hasta una profundidad máxima de 6.60m formado por arena seca y suelo intemperizado. Por lo que, al realizar la construcción de estructuras no se tendría problemas con la presencia de agua en las cimentaciones.

5. De acuerdo al tipo de suelo obtenido mediante la refracción sísmica, se deduce que el segundo estrato de los perfiles de ondas P tiene una densidad saturada hasta una profundidad máxima de 9.00m formado por arena saturada.
6. De acuerdo al tipo de suelo obtenido mediante la refracción sísmica, se deduce que el tercer estrato de los perfiles de ondas P tiene una densidad saturada hasta una profundidad máxima de 8.70m formado por arena saturada y existe la presencia de agua a una profundidad mínima de 4.70m.

RECOMENDACIONES

1. En relación al método de refracción sísmica se recomienda evitar las vibraciones externas del área de estudio puesto que pueden ser captadas por el sismógrafo a lo que llevará posibles errores en el ensayo.
2. Se recomienda elegir la cantidad de líneas sísmicas que abarquen la mayor parte del área de estudio con el propósito de estudiar lo más que se pueda el terreno y así evitar posibles contingencias.
3. El uso del programa SeisImager 2D está netamente orientado al método de refracción sísmica, por lo que se recomienda su aplicación en cualquier estudio donde se aplique el método de refracción sísmica.
4. Se recomienda realizar estudios de sondeo en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán” para determinar información geotécnica que permita complementar el resultado de los perfiles de ondas P.
5. Para fines académicos, se recomienda realizar el ensayo de MASW en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán” y aplicar las fórmulas de las constantes elásticas dinámicas de los suelos (módulo de corte, relación de Poisson, módulo de elasticidad).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, L. (2016). *Métodos de Prospección Geofísica Aplicados a la Investigación Geotécnica para Estudio del Recrecimiento de una Presa de Relaves en el Distrito de Oyolo* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Alva, J. (2013). *Aplicaciones de la geofísica en la ingeniería geotécnica* [Diapositiva de PowerPoint]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ampuero, A. y Sint, M. (2004). *Velocidades de onda medidas en Santiago con el ensayo de refracción sísmica*.
- ASTM D5777-18, Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org
- Avilés, J. y Barzallo, B. (2016). *Caracterización de Suelos del Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca mediante Métodos Geofísicos* (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Cantos, J. (1973). *Tratado de Geofísica Aplicada*. Madrid, España: ETSIM
- Carrillo, M. (2018). *Caracterización dinámica del suelo mediante exploración geofísica y modelo de interacción suelo estructura en el conjunto urbano multifamiliar Tlalpan* (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Cavada, J. (2000). *Guía de prospección sísmica por refracción*. Recuperado de: <http://www.geocities.ws/geofisicaucv/Archivos/refracc4.pdf>
- Cetraro, F. (2007). *Ingegneria geotecnica e geologia applicata*. Roma, Italia: EPC
- Dobrin, M. (1975). *Introducción a la prospección geofísica*. Ed. Omega, Barcelona, España.
- Foti, S. (2000). *Multistation Methods for Geotechnical Characterization using Surface Waves* (tesis de doctorado). Universidad de Génova, Génova, Italia.

- Geometrics (2009). *SeisImager/2D Manual*. Versión 3.3. Pickwin v. 4.0.1.5. Plotrefa v. 2.9.1.6. Recuperado de: https://geometrics.com/wp-content/uploads/2019/05/SeisImager2D_Manual_v3.3.pdf
- Gestión Economía (2019, 21 de octubre). *Sector Construcción crecería 4.1% en 2019 y 6.5% en 2020, según la CCL*. Recuperado de: <https://gestion.pe/economia/construccion-sector-construccion-creceria-41-en-2019-y-65-en-2020-segun-la-ccl-noticia/?ref=gesr>
- González, J. (1966): *Principios de Geofísica Exploratoria, Su Aplicación en los Estudios del Campo Geotérmico de Ahuachapan* (tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Jakovsky, J. (1950). *Exploration geophysics*. Trija Publishing Company.
- Lazcano, S. (2007). *Caracterización de suelos arenosos mediante análisis de ondas de superficie*. Recuperado de: <http://www.ai.org.mx/ai/archivos/coloquios/3/Caracterizacion%20de%20Suelos%20Arenosos%20Mediante%20Analisis%20de%20Ondas%20de%20Superficie.pdf>
- López, A. (2016). *Evaluación geofísica geotécnica del Proyecto Central de Hidroeléctrica Chilia, región Huánuco-Áncash* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- López, J., Mejía, J., & Danilo, N. (2008). *Aplicación del método de refracción sísmica para la determinación de velocidades de ondas P* (tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- López, S. (2016). *Ensayos Geofísicos para la Exploración de Suelos en Estructuras Patrimoniales* (tesis de maestría). Pontificada Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Manilla, A. (2003). *Geofísica aplicada en los proyectos básicos de ingeniería civil*. Pt. 229. Recuperado de: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt229.pdf>

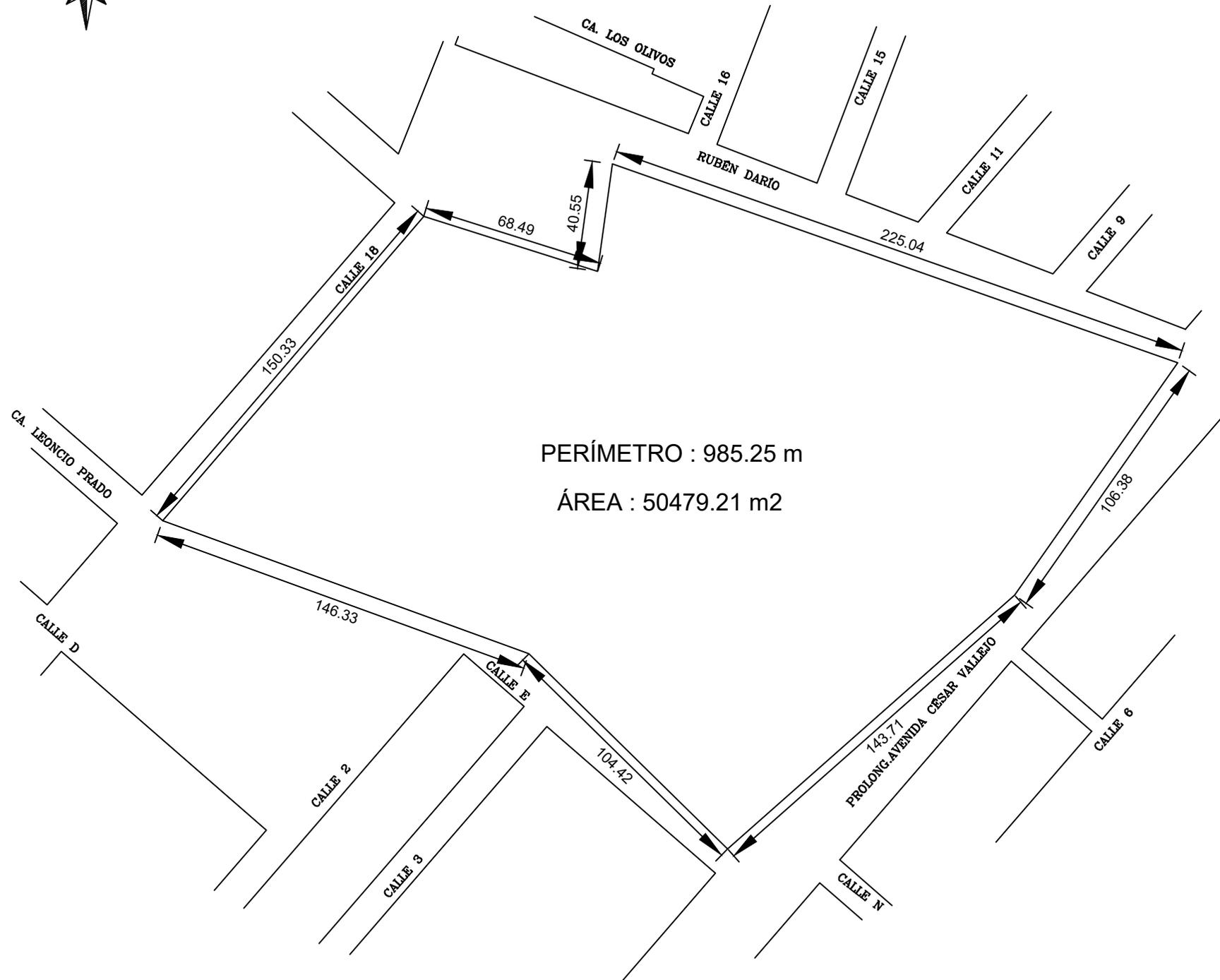
- Masuda, H. (1981). *Seismic Refraction Analysis for Engineering study*. Tokyo, Japón: Oyo technical note. TN-10.
- Mendoza, J. (2015). *Uso de refracción sísmica y análisis multicanal de ondas superficiales para la determinación de módulos elásticos en la finca Viento Blanco, San Vicente Pacaya, Escuintla* (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Cobán, Guatemala.
- Naranjo, H. y Dranichnikov, T. (2012). *Cálculo de capacidad portante basado en geofísica y método convencional*. Quito, Ecuador: ABYA YALA
- Portal, T. (2017). *Estudio geofísico por el método de refracción sísmico y MASW para el mejoramiento y ampliación de cinco puentes en la Región de Junín* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Pulido, J. y Rodríguez, M. (2015). *Caracterización del subsuelo utilizando el método geofísico de refracción por microtemores ReMi para segmento de la Avenida Circunvalar y Parque Central Simón Bolívar* (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Reynolds, J. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. 2da edición. Oxford, Inglaterra: Wiley-Blackwell.
- Rivera, M., Piedra, R., y Paripanca, Y. (2016) *Ensayos Geofísicos de Refracción Sísmica y de Medición de Ondas de Corte (MASW y MAM) para usos de cimentación en obras de edificaciones*. *Civilizate* (8), 50-55. Recuperado de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/view/18630>
- Rosales, C. (2001). *Comportamiento sísmico de los depósitos de suelos del área de Cañaveralejo, Cali, Colombia* (tesis de pregrado). Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.
- Sarria, A. (1996). *Métodos geofísicos con aplicaciones a la Ingeniería Civil*. Bogotá, Colombia: Uniandes.
- Steven, L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Washington D.C., Estados Unidos: Prentice Hall.

Sheriff, R. y Geldart, L. (1951). *Exploración sísmológica: Historia, teoría y obtención de los datos*. Vol. 1. Distrito Federal, México: Limusa.

Sheriff, R. (1991). *Exploración sísmológica*. Distrito Federal, México: Limusa.

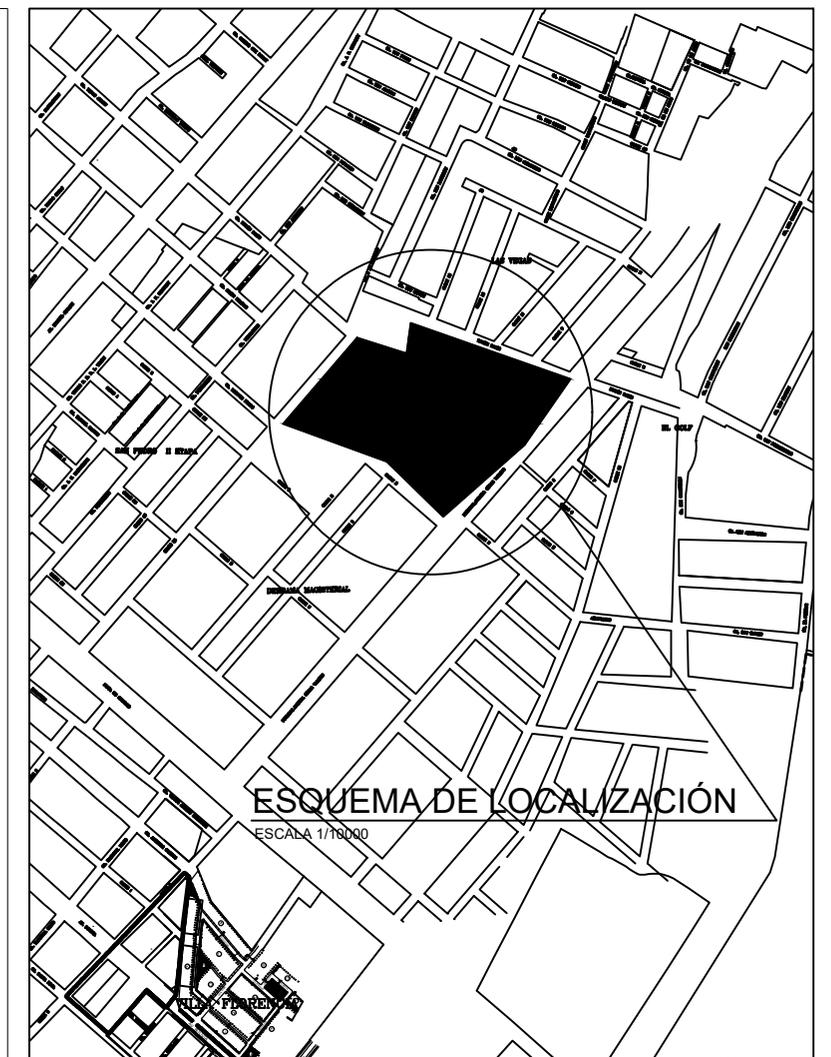
ANEXOS

ANEXO 1. Plano de ubicación



PERÍMETRO : 985.25 m
 ÁREA : 50479.21 m²

PLANO DE UBICACIÓN
 ESCALA 1/2000



ZONIFICACIÓN :	OU (OTROS USOS ESPECIALES)
ÁREA DE ESTRUCTURACIÓN URBANA	:
DEPARTAMENTO :	LA LIBERTAD
PROVINCIA :	TRUJILLO
DISTRITO :	VÍCTOR LARCO HERRERA
URBANIZACIÓN :	AH. PUEBLO DE HUAMAN
LIMITES :	
NORTE :	CALLE RUBÉN DARÍO
SUR :	CALLE "D" Y CALLE "E"
ESTE :	Prolong. AVENIDA CÉSAR VALLEJO
OESTE :	CALLE "18"

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	
TESIS: "PERFIL DE ONDAS P APLICANDO EL MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO PUEBLO DE HUAMÁN, DISTRITO VÍCTOR LARCO"	
AUTORES: BR. ANTHONY BRANDON ARAUJO FLORES BR. JEISY YAHAIRA QUIROZ MAXIMILIANO	LÁMINA No: PU-01 N°01/01
ASESOR: ING. CÉSAR LEONIDAS CANCINO RODAS	ESCALA: INDICADA
PLANO: PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN	FECHA: ABRIL - 2020



ANEXO 2. Levantamiento topográfico

Tabla 2. Coordenadas UTM WGS84 de BM's

Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
1	BM1	9099464.500	715629.800	24.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Coordenadas UTM WGS84 de estaciones

Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
2	E-1	9099435.400	715644.000	24.000
242	E-2	9099427.625	715433.520	21.954
380	E-3	9099534.069	715713.787	23.634

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Coordenadas UTM WGS84 del levantamiento topográfico

Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
1	BM1	9099464.500	715629.800	24.000
2	E-1	9099435.400	715644.000	24.000
3	H	9099435.645	715643.881	23.518
4	VER	9099437.440	715643.969	23.450
5	VER	9099436.988	715645.170	23.470
6	VER	9099439.671	715632.672	23.527
7	PSTA	9099437.931	715642.338	23.347
8	VER	9099438.914	715633.600	23.515
9	PSTA	9099437.997	715642.303	23.353
10	PSTA	9099440.507	715637.272	23.333
11	RS	9099434.537	715641.707	23.507
12	PSTA	9099406.853	715619.288	23.348
13	VER	9099407.479	715610.293	23.169
14	VER	9099403.050	715615.802	23.235
15	VER	9099402.103	715616.786	23.296
16	VER	9099408.761	715608.943	23.249

Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
17	PSTA	9099404.160	715614.534	23.129
18	VER	9099409.393	715607.887	23.323
19	PSTA	9099402.136	715613.189	23.150
20	PSTA	9099401.410	715613.118	23.165
21	VER	9099399.829	715600.082	23.266
22	VER	9099400.073	715601.767	23.239
23	PSTA	9099399.135	715614.171	23.158
24	VER	9099402.063	715605.726	23.140
25	RS	9099398.092	715603.734	23.276
26	PSTA	9099397.382	715607.426	23.110
27	PSTA	9099373.168	715646.194	23.003
28	PSTA	9099373.186	715647.939	23.010
29	RS	9099375.746	715631.167	23.174
30	PSTA	9099374.153	715649.395	23.002
31	VER	9099375.377	715648.026	23.172
32	VER	9099368.856	715639.668	23.178
33	VER	9099376.718	715647.095	23.190
34	VER	9099367.177	715639.811	23.156
35	VER	9099366.459	715640.653	23.162
36	VER	9099424.860	715687.045	23.390
37	VER	9099367.096	715639.787	23.169
38	VER	9099424.129	715687.924	23.430
39	PSTA	9099424.605	715690.600	23.421
40	BZ	9099423.327	715693.126	23.488
41	VER	9099337.733	715617.143	22.802
42	VER	9099338.525	715616.206	22.782
43	PSTA	9099421.355	715694.886	23.425
44	RS	9099419.777	715696.210	23.555
45	PSTA	9099334.944	715617.283	22.637
46	VER	9099421.041	715697.036	23.502
47	PSTA	9099331.702	715621.647	22.644
48	VER	9099330.649	715623.138	22.769

Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
49	VER	9099420.442	715698.152	23.583
50	VER	9099330.088	715624.127	22.787
51	MURO	9099424.336	715693.094	23.342
52	RS	9099339.019	715629.914	22.841
53	MURO	9099411.158	715733.198	23.591
54	RS	9099361.688	715648.442	23.068
55	VER	9099361.420	715649.679	23.083
56	VR	9099404.426	715745.963	23.353
57	PSTA	9099398.708	715751.467	23.394
58	PSTA	9099401.818	715745.559	23.406
59	PSTA	9099405.710	715738.702	23.292
60	VER	9099379.324	715716.322	23.342
61	PSTA	9099378.661	715717.269	23.346
62	VR	9099399.391	715763.145	23.526
63	TN	9099450.807	715805.249	23.905
64	TN	9099475.904	715792.599	23.935
65	PSTA	9099456.219	715801.365	23.933
66	TN	9099486.820	715799.526	23.998
67	PSTA	9099466.144	715806.701	24.010
68	PSTA	9099471.755	715802.865	23.997
69	VR	9099497.997	715795.154	24.345
70	VR	9099486.839	715823.730	24.131
71	MURO	9099499.996	715789.724	24.345
72	TN	9099500.540	715777.016	23.556
73	TN	9099496.382	715777.210	23.829
74	TN	9099496.333	715772.560	24.206
75	TN	9099484.173	715744.278	23.847
76	TN	9099501.938	715768.173	23.655
77	TN	9099498.609	715766.879	23.735
78	TN	9099497.909	715765.211	24.386
79	TN	9099482.642	715702.706	23.473
80	TN	9099504.891	715758.705	23.841

Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
81	TN	9099471.597	715666.011	23.550
82	TN	9099509.459	715755.733	23.855
83	MURO	9099514.149	715752.428	24.253
84	MURO	9099514.131	715752.336	24.263
85	TN	9099512.819	715745.368	24.073
86	TN	9099440.736	715616.330	23.431
87	CRC	9099446.038	715609.688	23.089
88	MURO	9099520.686	715735.911	23.672
89	TN	9099456.161	715617.989	23.087
90	TN	9099521.439	715726.700	23.715
91	TN	9099458.000	715616.780	23.869
92	TN	9099518.439	715725.425	23.752
93	TN	9099458.021	715613.100	24.108
94	TN	9099519.018	715722.501	23.687
95	TN	9099455.689	715611.785	23.046
96	TN	9099522.472	715723.241	23.729
97	TN	9099454.027	715606.439	22.945
98	TN	9099523.061	715725.173	23.678
99	TN	9099458.690	715604.474	22.740
100	TN	9099521.049	715725.814	24.201
101	TN	9099459.726	715607.081	23.128
102	TN	9099521.902	715724.067	24.231
103	TN	9099461.168	715611.549	23.864
104	TN	9099477.621	715609.909	23.901
105	TN	9099526.026	715708.053	23.450
106	TN	9099479.816	715606.224	23.610
107	TN	9099523.797	715704.293	23.406
108	TN	9099480.595	715603.810	23.984
109	TN	9099526.669	715701.265	23.441
110	TN	9099481.866	715600.841	22.747
111	TN	9099529.377	715703.102	23.462
112	TN	9099527.175	715703.683	24.040

Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
113	TN	9099525.764	715704.598	24.423
114	TN	9099502.135	715604.421	22.918
115	TN	9099525.946	715703.484	24.383
116	TN	9099501.349	715606.451	23.889
117	TN	9099532.726	715692.733	23.261
118	TN	9099532.602	715692.421	23.276
119	TN	9099501.144	715607.757	24.342
120	TN	9099529.870	715689.335	23.319
121	TN	9099502.021	715611.624	23.304
122	TN	9099533.076	715686.726	23.261
123	TN	9099503.177	715612.296	22.893
124	TN	9099497.395	715624.570	23.000
125	TN	9099539.457	715673.987	23.323
126	TN	9099495.884	715624.507	23.507
127	MURO	9099540.298	715672.604	23.330
128	TN	9099489.930	715636.025	23.664
129	TN	9099490.602	715636.913	23.294
130	TN	9099537.928	715667.095	23.128
131	TN	9099483.997	715643.802	23.614
132	TN	9099534.394	715668.690	23.253
133	TN	9099536.582	715672.885	23.328
134	TN	9099497.454	715651.907	23.116
135	TN	9099535.185	715669.652	23.641
136	TN	9099538.483	715669.675	23.722
137	TN	9099515.102	715659.187	22.990
138	TN	9099541.971	715666.693	23.145
139	MURO	9099546.046	715653.961	22.945
140	TN	9099549.846	715626.893	22.926
141	TN	9099541.972	715652.678	22.960
142	TN	9099546.971	715626.757	22.900
143	TN	9099547.584	715627.714	23.253
144	TN	9099554.275	715627.632	22.834

Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
145	TN	9099545.898	715629.109	22.958
146	VR	9099559.550	715610.764	23.115
147	TN	9099548.239	715630.641	23.398
148	TN	9099551.868	715609.794	22.752
149	TN	9099549.853	715629.293	23.373
150	TN	9099550.741	715628.114	22.997
151	VR	9099519.344	715605.515	23.249
152	VER	9099519.422	715605.506	23.249
153	VER	9099518.297	715605.144	23.243
154	TN	9099517.092	715622.214	22.965
155	VER	9099532.448	715568.292	22.960
156	TN	9099508.574	715607.101	23.038
157	VER	9099531.267	715567.919	22.932
158	TN	9099509.581	715602.388	22.928
159	TN	9099508.593	715601.926	22.939
160	RS	9099511.386	715596.943	23.104
161	VER	9099540.773	715540.793	22.664
162	VER	9099515.366	715581.412	22.863
163	VER	9099543.253	715539.580	22.703
164	VER	9099541.189	715537.893	22.734
165	VER	9099514.714	715582.418	23.061
166	VER	9099539.396	715539.949	22.747
167	VER	9099540.956	715540.899	22.702
168	VER	9099541.736	715537.576	22.538
169	VER	9099517.387	715571.630	22.917
170	VR	9099539.415	715540.031	22.608
171	VER	9099518.455	715570.816	23.001
172	VR	9099536.052	715533.541	22.507
173	VER	9099519.669	715570.529	23.014
174	VER	9099535.393	715533.856	22.678
175	VER	9099522.502	715571.861	22.824
176	VER	9099534.062	715533.265	22.625

Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
177	VER	9099532.885	715532.673	22.640
178	VER	9099521.034	715573.392	22.833
179	VER	9099533.433	715531.508	22.650
180	VER	9099518.362	715574.024	22.922
181	VER	9099534.377	715527.969	22.539
182	VER	9099534.348	715527.963	22.565
183	CRC	9099532.557	715568.424	22.879
184	VER	9099532.913	715529.525	22.593
185	VER	9099532.131	715530.366	22.633
186	CRC	9099522.536	715596.795	23.026
187	VER	9099521.921	715522.009	22.500
188	BZ	9099522.151	715580.572	22.918
189	RS	9099521.265	715568.765	23.000
190	VER	9099522.502	715521.113	22.541
191	MURO	9099495.411	715551.944	22.804
192	ESQ	9099517.188	715518.320	22.480
193	MURO	9099486.071	715544.352	22.712
194	ESQ	9099510.491	715537.053	22.411
195	ESQ	9099515.087	715540.932	22.455
196	MURO	9099481.404	715540.488	22.561
197	ESQ	9099521.920	715521.955	22.489
198	TN	9099521.353	715525.780	22.374
199	VER	9099468.095	715531.215	22.514
200	VER	9099468.816	715530.324	22.626
201	TN	9099523.749	715528.595	22.357
202	BZ	9099464.148	715534.403	22.594
203	TN	9099527.542	715530.329	22.527
204	VER	9099465.924	715541.120	22.551
205	TN	9099530.431	715532.036	22.528
206	VER	9099465.033	715541.951	22.544
207	TN	9099529.048	715529.232	22.656
208	TN	9099462.044	715534.014	22.888

Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
209	TN	9099523.619	715525.194	22.533
210	TN	9099460.369	715533.843	22.396
211	VER	9099509.120	715511.613	22.440
212	VER	9099509.933	715510.749	22.436
213	ESQ	9099493.879	715524.962	22.222
214	TN	9099510.319	715515.951	22.248
215	ESQ	9099498.456	715528.678	22.341
216	TN	9099506.719	715522.602	22.306
217	TN	9099507.621	715536.212	22.320
218	TN	9099498.599	715521.609	22.321
219	TN	9099501.978	715513.236	22.236
220	VER	9099486.741	715493.542	22.292
221	VER	9099487.714	715492.486	22.202
222	TN	9099498.838	715509.462	22.323
223	TN	9099498.833	715509.479	22.299
224	TN	9099489.931	715514.965	22.444
225	TN	9099466.816	715475.408	21.899
226	TN	9099478.062	715515.246	22.524
227	TN	9099453.348	715463.109	21.867
228	TN	9099467.184	715524.451	22.454
229	TN	9099440.870	715453.264	21.918
230	TN	9099460.978	715528.339	22.337
231	TN	9099462.462	715530.052	22.341
232	TN	9099463.163	715534.063	22.567
233	VR	9099424.741	715442.821	22.060
234	TN	9099461.986	715536.653	22.556
235	TN	9099460.418	715542.363	22.690
236	TN	9099458.718	715544.979	22.622
237	TN	9099457.230	715543.050	22.622
238	TN	9099458.754	715538.238	22.534
239	TN	9099460.181	715534.897	22.418
240	TN	9099459.923	715530.933	22.395

Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
241	TN	9099460.203	715528.990	22.345
242	E-2	9099427.625	715433.520	21.954
243	TN	9099460.231	715528.958	22.346
244	TN	9099461.305	715530.982	22.701
245	TN	9099461.969	715531.810	22.655
246	CRC	9099414.767	715473.117	22.238
247	TN	9099461.031	715535.135	22.731
248	TN	9099461.429	715536.085	22.825
249	CRC	9099409.846	715487.570	22.293
250	TN	9099461.402	715536.204	22.815
251	TN	9099416.350	715491.891	22.130
252	TN	9099459.815	715541.321	23.140
253	TN	9099458.832	715541.170	23.114
254	TN	9099412.910	715502.136	22.278
255	TN	9099458.343	715543.278	22.953
256	TN	9099412.931	715502.097	22.256
257	TN	9099411.887	715503.777	22.643
258	TN	9099452.364	715545.653	22.585
259	TN	9099451.507	715550.544	22.607
260	TN	9099411.734	715504.246	22.594
261	TN	9099454.413	715553.486	22.665
262	TN	9099451.596	715561.346	22.662
263	TN	9099450.375	715560.780	23.000
264	TN	9099391.021	715538.207	22.597
265	TN	9099449.958	715561.592	23.027
266	TN	9099399.564	715544.064	22.450
267	TN	9099448.661	715562.144	22.870
268	TN	9099445.971	715567.809	22.757
269	TN	9099427.259	715581.587	22.486
270	TN	9099445.911	715567.875	22.762
271	TN	9099443.400	715574.643	22.786
272	TN	9099444.090	715579.012	22.899

Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
273	VR	9099376.014	715580.802	22.667
274	TN	9099444.437	715576.557	23.154
275	TN	9099445.719	715575.818	23.152
276	TN	9099443.388	715588.242	22.826
277	TN	9099445.593	715599.556	22.985
278	TN	9099446.845	715602.820	22.764
279	VR	9099446.106	715609.743	23.067
280	TN	9099428.872	715606.078	23.122
281	TN	9099423.484	715601.891	23.208
282	CRC	9099423.666	715600.776	23.042
283	EMZ	9099543.296	715539.574	22.654
284	EMZ	9099549.929	715528.601	22.697
285	EMZ	9099538.988	715518.199	22.594
286	TN	9099420.948	715605.440	23.062
287	TN	9099417.091	715610.500	23.249
288	TN	9099408.282	715605.625	23.273
289	TN	9099410.233	715600.013	23.091
290	CRC	9099410.922	715595.457	23.151
291	TN	9099392.442	715595.086	22.811
292	TN	9099371.913	715581.251	22.640
293	TN	9099369.589	715577.395	22.699
294	CRC	9099367.033	715577.328	22.705
295	CRC	9099365.267	715582.729	22.872
296	CRC	9099361.022	715584.387	22.809
297	EMZ	9099550.369	715677.638	23.252
298	EMZ	9099546.528	715688.353	23.434
299	EMZ	9099537.075	715715.643	23.706
300	EMZ	9099533.601	715727.882	23.692
301	TN	9099361.442	715586.840	23.053
302	TN	9099363.230	715587.383	22.678
303	TN	9099488.899	715679.568	23.266
304	CRC	9099356.777	715589.734	22.673

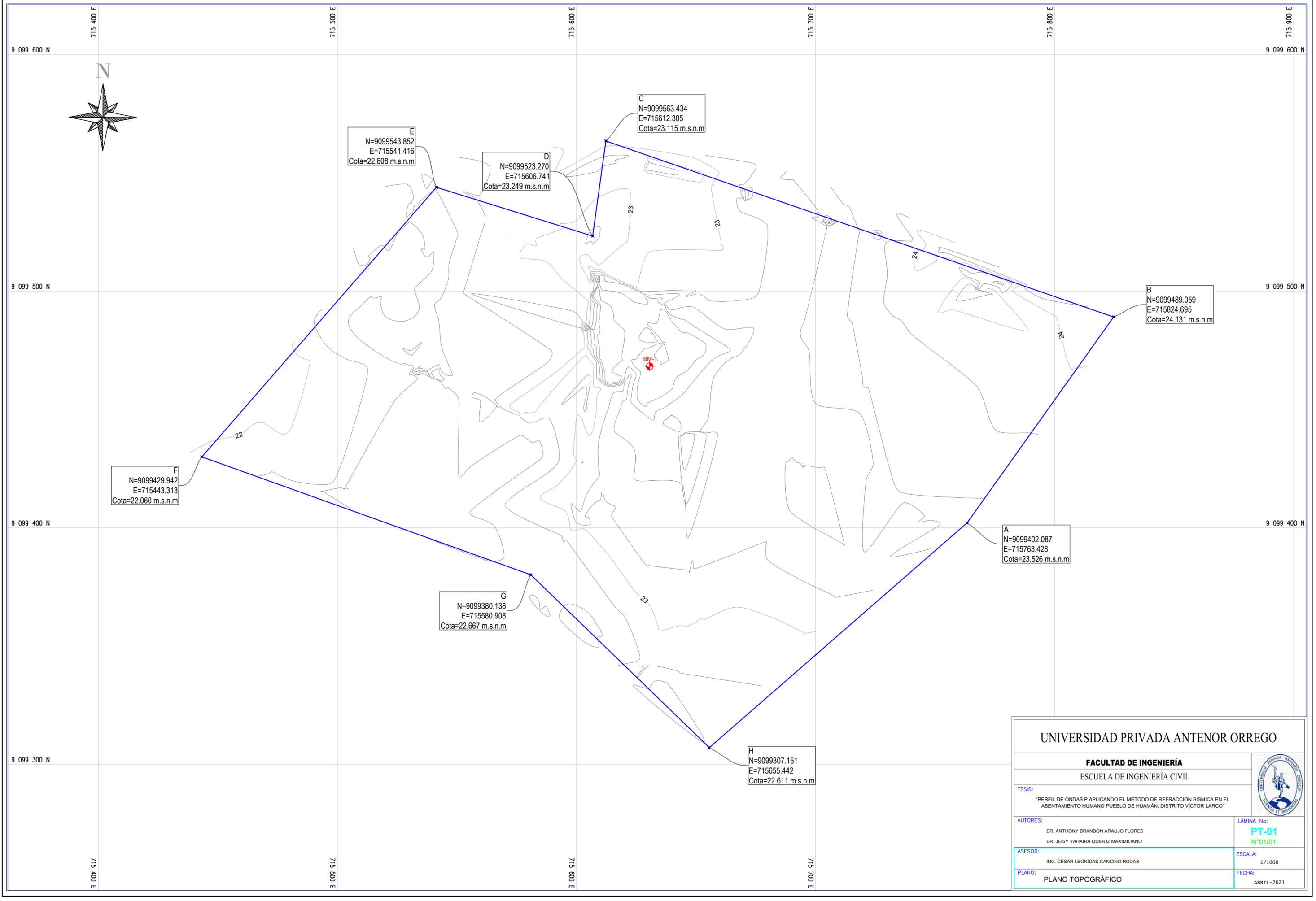
Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
305	CRC	9099356.024	715596.738	22.543
306	TN	9099467.708	715669.113	23.227
307	TN	9099352.913	715606.750	22.548
308	TN	9099442.919	715680.106	23.212
309	CRC	9099337.975	715612.508	22.656
310	TN	9099436.630	715661.003	23.290
311	CRC	9099329.702	715623.865	22.602
312	TN	9099452.160	715644.270	23.571
313	TN	9099327.199	715634.855	22.462
314	TN	9099335.817	715643.154	22.805
315	TN	9099353.395	715658.318	22.902
316	TN	9099424.505	715708.621	23.208
317	TN	9099372.831	715675.085	23.100
318	TN	9099435.719	715714.531	23.219
319	TN	9099457.296	715721.725	23.624
320	TN	9099484.827	715730.798	23.780
321	TN	9099486.854	715731.868	23.807
322	VR	9099303.613	715655.905	22.611
323	TN	9099494.208	715733.410	23.876
324	PSTA	9099345.149	715689.903	22.909
325	TN	9099457.200	715636.985	23.926
326	TN	9099463.289	715639.291	23.910
327	TN	9099467.670	715645.721	23.910
328	TN	9099475.056	715646.776	23.926
329	TN	9099478.286	715643.119	23.824
330	TN	9099483.975	715638.909	23.790
331	TN	9099487.972	715635.843	23.872
332	TN	9099489.280	715630.416	23.633
333	TN	9099477.550	715634.386	23.937
334	TN	9099475.597	715632.032	23.524
335	TN	9099474.485	715635.494	23.798
336	TN	9099467.040	715635.125	23.765

Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
337	TN	9099492.457	715631.275	23.709
338	TN	9099486.891	715623.977	23.688
339	TN	9099482.558	715621.270	23.676
340	TN	9099475.784	715624.559	23.609
341	TN	9099471.567	715628.500	23.835
342	TN	9099461.487	715632.730	23.876
343	TN	9099456.181	715634.145	23.982
344	TN	9099448.396	715620.789	23.496
345	TN	9099451.007	715626.604	23.923
346	TN	9099457.112	715625.158	23.824
347	TN	9099453.897	715628.470	24.192
348	TN	9099460.106	715621.464	23.327
349	TN	9099462.231	715626.769	23.869
350	TN	9099464.801	715620.656	23.642
351	TN	9099466.968	715620.952	23.731
352	TN	9099468.066	715620.927	23.717
353	TN	9099466.279	715627.852	23.914
354	TN	9099478.942	715617.941	23.849
355	TN	9099466.797	715610.478	24.038
356	TN	9099474.651	715610.060	24.050
357	TN	9099466.594	715606.693	23.057
358	TN	9099469.989	715604.569	23.108
359	TN	9099479.954	715609.763	23.853
360	TN	9099471.524	715602.748	23.059
361	TN	9099484.646	715609.511	23.905
362	TN	9099474.029	715601.719	22.875
363	TN	9099490.196	715609.464	23.862
364	TN	9099478.830	715600.984	22.861
365	TN	9099482.904	715602.514	22.912
366	TN	9099494.533	715609.166	23.717
367	TN	9099487.841	715603.095	22.942
368	TN	9099494.467	715609.123	23.710

Punto	Descripción	Norte	Este	Cota
369	TN	9099494.787	715606.990	24.167
370	TN	9099491.312	715604.507	23.108
371	TN	9099499.277	715608.809	23.561
372	TN	9099495.145	715604.722	23.051
373	TN	9099500.235	715604.575	22.983
374	TN	9099502.646	715608.719	23.543
375	TN	9099505.590	715608.599	22.958
376	TN	9099505.224	715604.671	23.032
377	TN	9099508.255	715605.859	22.945
378		9099489.319	715620.883	23.663
379		9099465.315	715627.069	24.058
380	E-3	9099534.069	715713.787	23.634

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3. Plano topográfico



E
N=9099543.852
E=715541.416
Cota=22.608 m.s.n.m

D
N=9099523.270
E=715606.741
Cota=23.249 m.s.n.m

C
N=9099563.434
E=715612.305
Cota=23.115 m.s.n.m

B
N=9099489.059
E=715824.695
Cota=24.131 m.s.n.m

F
N=9099429.942
E=715443.313
Cota=22.060 m.s.n.m

A
N=9099402.087
E=715763.428
Cota=23.526 m.s.n.m

G
N=9099380.138
E=715580.908
Cota=22.667 m.s.n.m

H
N=9099307.151
E=715655.442
Cota=22.611 m.s.n.m

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:
"PERFIL DE ONDAS P APLICANDO EL MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL
ASENTAMIENTO HUMANO PUEBLO DE HUAMÁN, DISTRITO VÍCTOR LARCO"

AUTORES:
BR. ANTHONY BRANDON ARAUJO FLORES
BR. JEISY YAHAIRA QUIROZ MAXIMILIANO

LÁMINA No:
PT-01
N°01/01

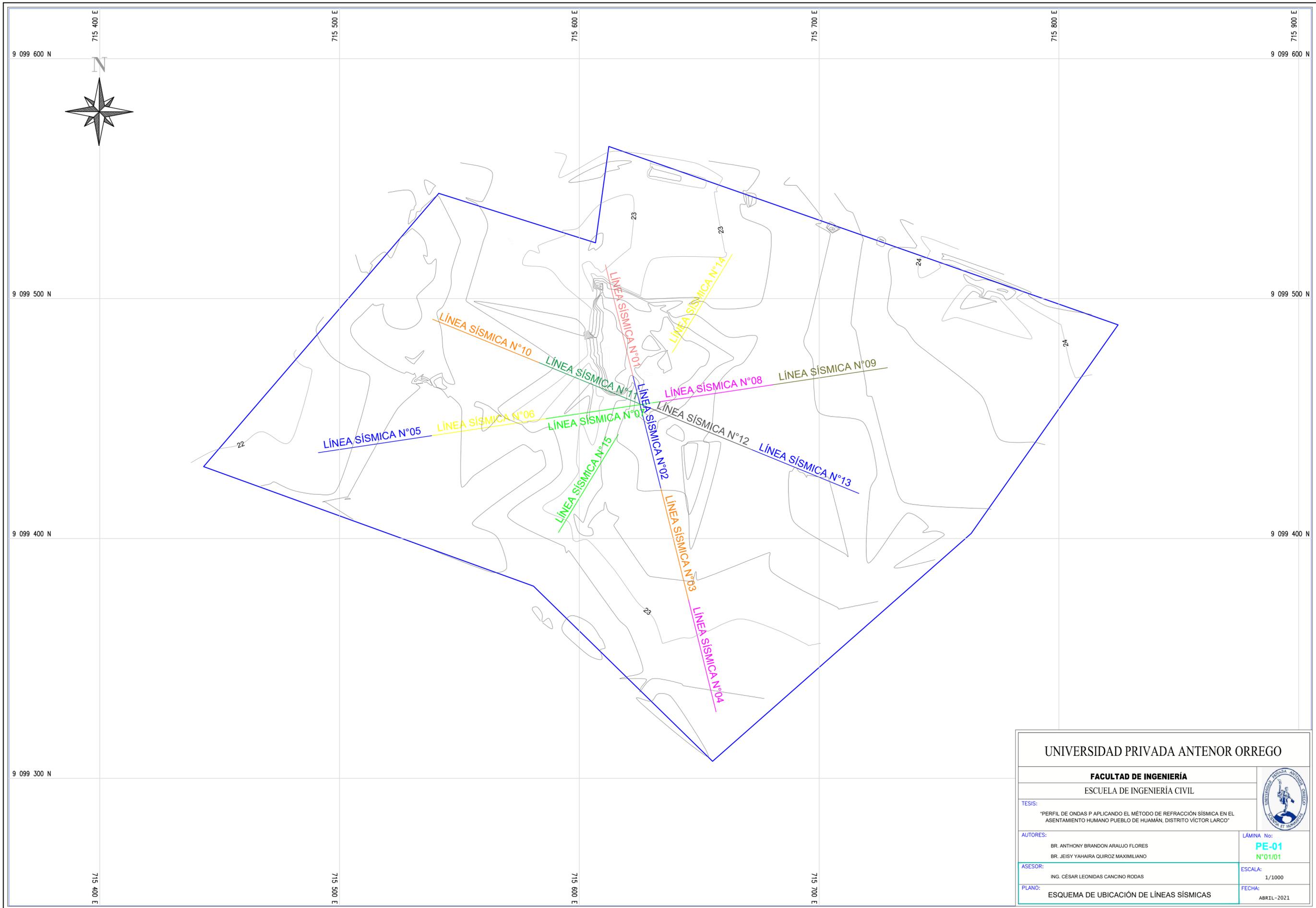
ASESOR:
ING. CÉSAR LEONIDAS CANCINO RODAS

ESCALA:
1/1000

PLANO:
PLANO TOPOGRÁFICO

FECHA:
ABRIL - 2021

ANEXO 4. Esquema de ubicación de líneas sísmicas



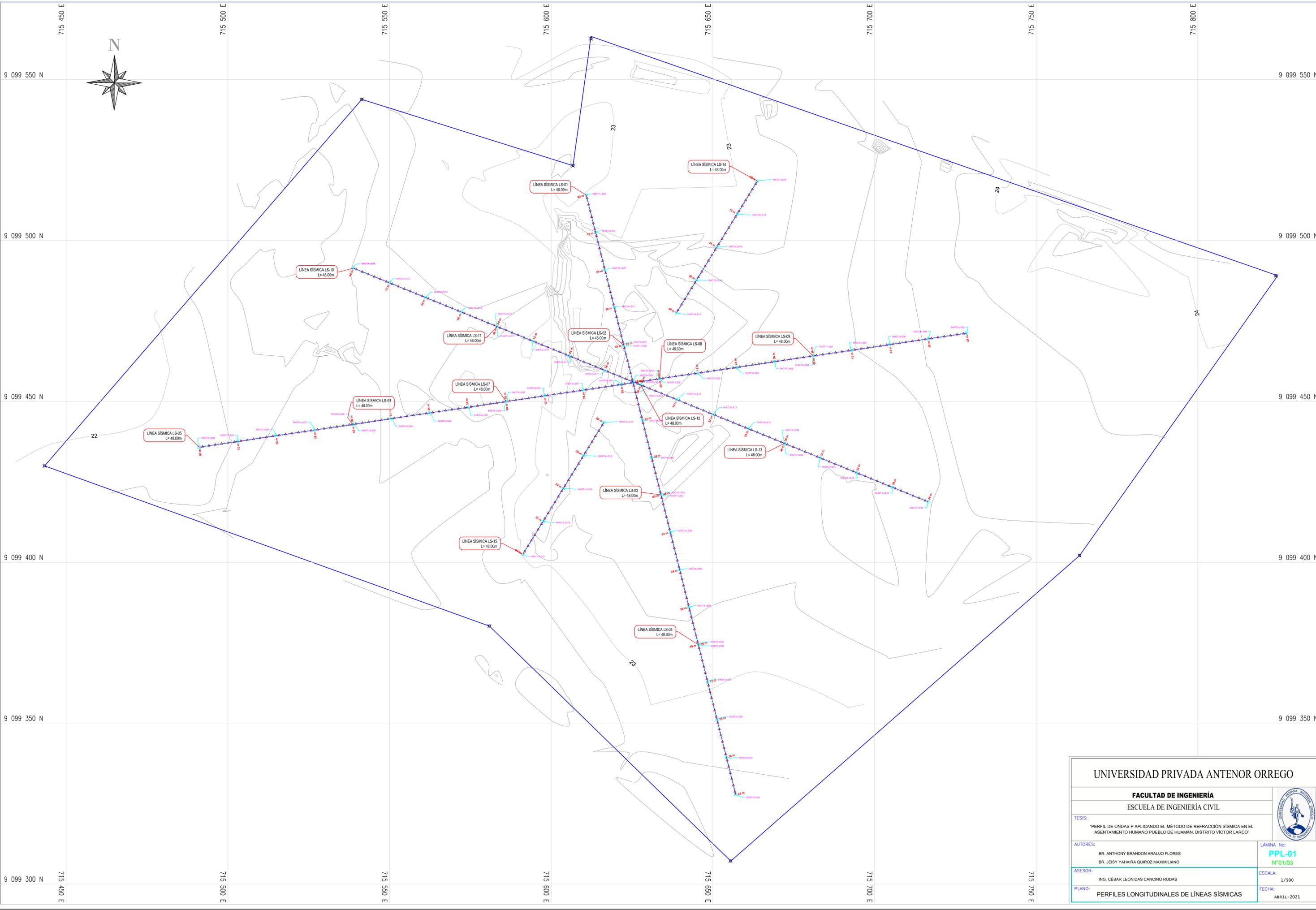
UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: *PERFIL DE ONDAS P APLICANDO EL MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO PUEBLO DE HUAMÁN, DISTRITO VÍCTOR LARCO*	
AUTORES: BR. ANTHONY BRANDON ARAUJO FLORES BR. JEISY YAHAIRA QUIROZ MAXIMILIANO	LÁMINA No: PE-01 N°01/01
ASESOR: ING. CÉSAR LEONIDAS CANCINO RODAS	ESCALA: 1/1000
PLANO: ESQUEMA DE UBICACIÓN DE LÍNEAS SÍSMICAS	FECHA: ABRIL-2021

ANEXO 5. Perfiles longitudinales de líneas sísmicas



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:
"PERFIL DE ONDAS P APLICANDO EL MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL
ASENTAMIENTO HUMANO PUEBLO DE HUMÁN, DISTRITO VÍCTOR LARCO"

AUTORES:
BR. ANTHONY BRANDON ARAUJO FLORES
BR. JEISY YAHAIRA QUIROZ MAXIMILIANO

LÁMINA No:
PPL-01
N°01/03

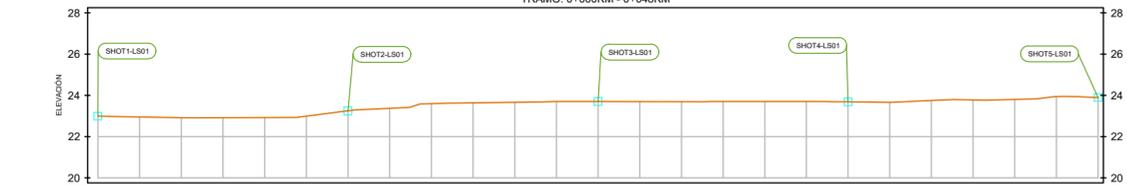
ASESOR:
ING. CÉSAR LEONIDAS CANGINO RODAS

ESCALA:
1/500

PLANO:
PERFILES LONGITUDINALES DE LÍNEAS SÍSMICAS

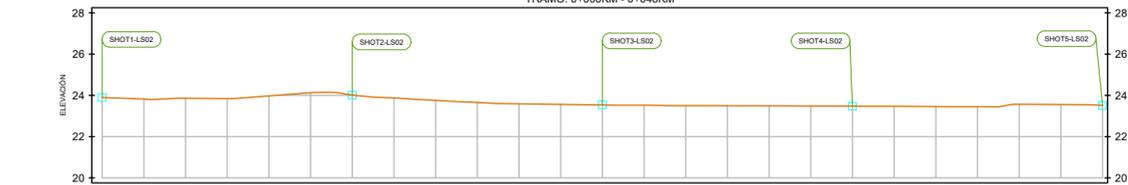
FECHA:
ABRIL-2021

PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-01
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



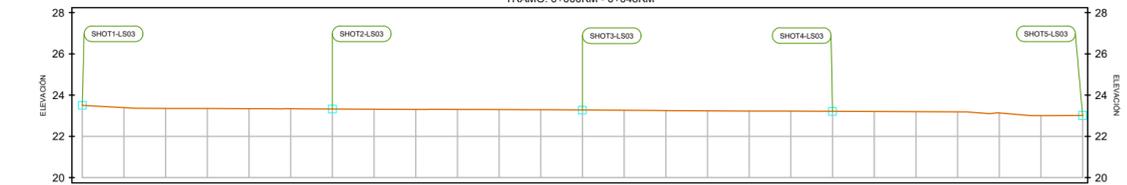
PROGRESIVA	0+000	0+002	0+004	0+006	0+008	0+010	0+012	0+014	0+016	0+018	0+020	0+022	0+024	0+026	0+028	0+030	0+032	0+034	0+036	0+038	0+040	0+042	0+044	0+046	0+048
COTA DE TERRENO	22.89	22.95	22.92	22.91	22.92	22.98	23.24	23.36	23.59	23.63	23.66	23.70	23.69	23.69	23.69	23.70	23.70	23.70	23.68	23.66	23.75	23.78	23.80	23.94	23.89

PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-02
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



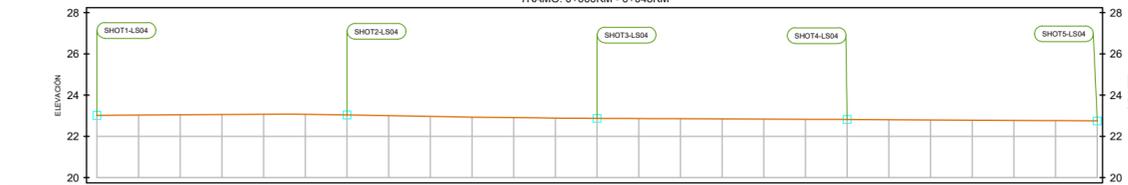
PROGRESIVA	0+000	0+002	0+004	0+006	0+008	0+010	0+012	0+014	0+016	0+018	0+020	0+022	0+024	0+026	0+028	0+030	0+032	0+034	0+036	0+038	0+040	0+042	0+044	0+046	0+048
COTA DE TERRENO	22.89	23.81	23.85	23.84	23.97	24.12	24.01	23.87	23.75	23.65	23.59	23.56	23.53	23.52	23.50	23.49	23.49	23.48	23.47	23.46	23.46	23.44	23.56	23.55	23.51

PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-03
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



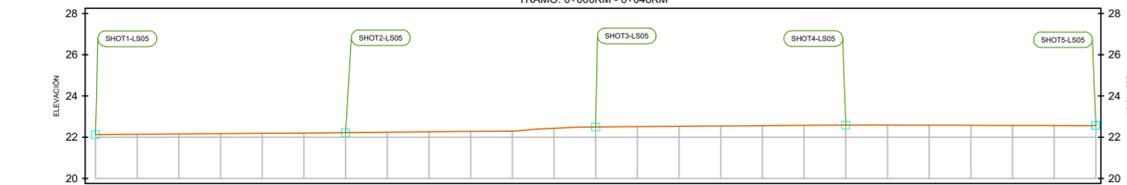
PROGRESIVA	0+000	0+002	0+004	0+006	0+008	0+010	0+012	0+014	0+016	0+018	0+020	0+022	0+024	0+026	0+028	0+030	0+032	0+034	0+036	0+038	0+040	0+042	0+044	0+046	0+048
COTA DE TERRENO	22.31	23.40	22.98	23.35	23.34	23.34	23.33	23.32	23.31	23.30	23.30	23.29	23.28	23.27	23.26	23.25	23.23	23.22	23.22	23.21	23.20	23.19	23.14	23.01	23.02

PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-04
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



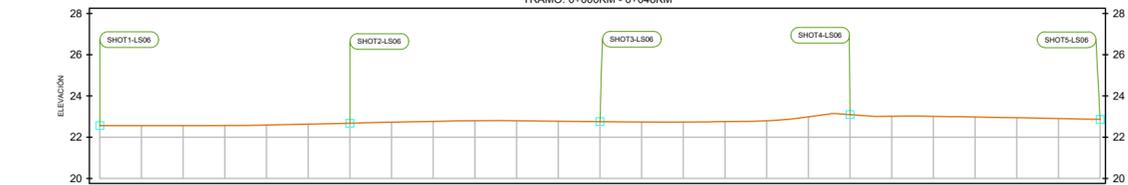
PROGRESIVA	0+000	0+002	0+004	0+006	0+008	0+010	0+012	0+014	0+016	0+018	0+020	0+022	0+024	0+026	0+028	0+030	0+032	0+034	0+036	0+038	0+040	0+042	0+044	0+046	0+048
COTA DE TERRENO	22.97	23.03	23.05	23.08	23.08	23.07	23.04	23.00	22.97	22.94	22.91	22.89	22.87	22.87	22.86	22.85	22.84	22.83	22.82	22.81	22.80	22.79	22.78	22.76	22.75

PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-05
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



PROGRESIVA	0+000	0+002	0+004	0+006	0+008	0+010	0+012	0+014	0+016	0+018	0+020	0+022	0+024	0+026	0+028	0+030	0+032	0+034	0+036	0+038	0+040	0+042	0+044	0+046	0+048
COTA DE TERRENO	22.12	22.14	22.15	22.17	22.18	22.20	22.21	22.23	22.25	22.28	22.30	22.43	22.49	22.51	22.52	22.54	22.55	22.57	22.58	22.58	22.56	22.57	22.57	22.57	22.56

PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-06
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



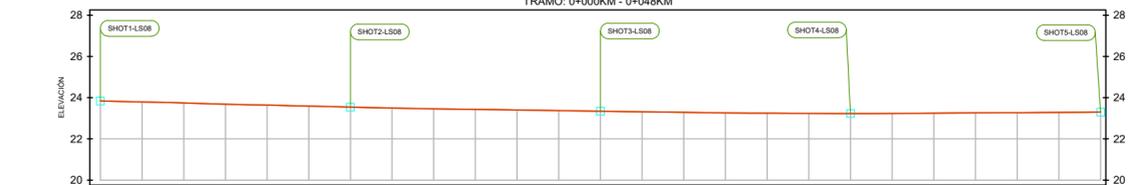
PROGRESIVA	0+000	0+002	0+004	0+006	0+008	0+010	0+012	0+014	0+016	0+018	0+020	0+022	0+024	0+026	0+028	0+030	0+032	0+034	0+036	0+038	0+040	0+042	0+044	0+046	0+048
COTA DE TERRENO	22.99	22.96	22.95	22.97	22.99	22.83	22.68	22.72	22.76	22.79	22.79	22.77	22.75	22.74	22.73	22.75	22.80	22.88	23.09	23.01	23.00	22.98	22.94	22.90	22.86

PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-07
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



PROGRESIVA	0+000	0+002	0+004	0+006	0+008	0+010	0+012	0+014	0+016	0+018	0+020	0+022	0+024	0+026	0+028	0+030	0+032	0+034	0+036	0+038	0+040	0+042	0+044	0+046	0+048
COTA DE TERRENO	22.86	22.83	22.83	22.86	22.89	22.92	22.88	22.82	22.87	22.96	23.03	23.08	23.15	23.23	23.30	23.36	23.46	23.64	23.79	23.94	23.99	23.92	23.90	23.87	23.83

PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-08
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



PROGRESIVA	0+000	0+002	0+004	0+006	0+008	0+010	0+012	0+014	0+016	0+018	0+020	0+022	0+024	0+026	0+028	0+030	0+032	0+034	0+036	0+038	0+040	0+042	0+044	0+046	0+048
COTA DE TERRENO	22.83	23.79	23.74	23.68	23.63	23.59	23.54	23.49	23.46	23.43	23.40	23.37	23.34	23.31	23.26	23.26	23.24	23.23	23.23	23.23	23.24	23.26	23.27	23.28	23.26

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:
"PERFIL DE ONDAS P APLICANDO EL MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL
ASENTAMIENTO HUMANO PUEBLO DE HUAMÁN, DISTRITO VÍCTOR LARCO"

AUTORES:
BR. ANTHONY BRANDON ARAUJO FLORES
BR. JEISY YAHAIRA QUIROZ MAXIMILIANO

LÁMINA No:
PPL-02
N°02/03

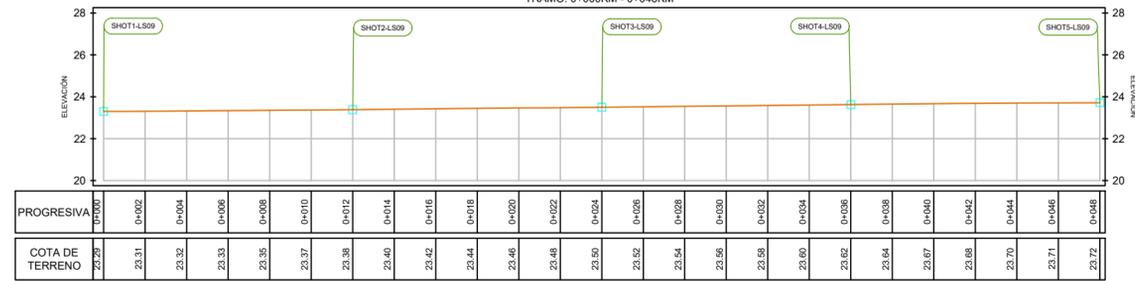
ASESOR:
ING. CÉSAR LEONIDAS CANCINO RODAS

ESCALA:
1/250

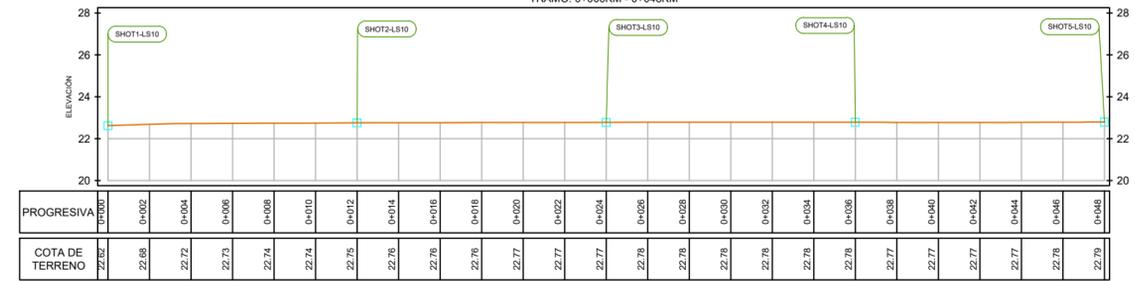
PLANO:
PERFILES LONGITUDINALES DE LÍNEAS SÍSMICAS

FECHA:
ABRIL-2021

PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-09
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



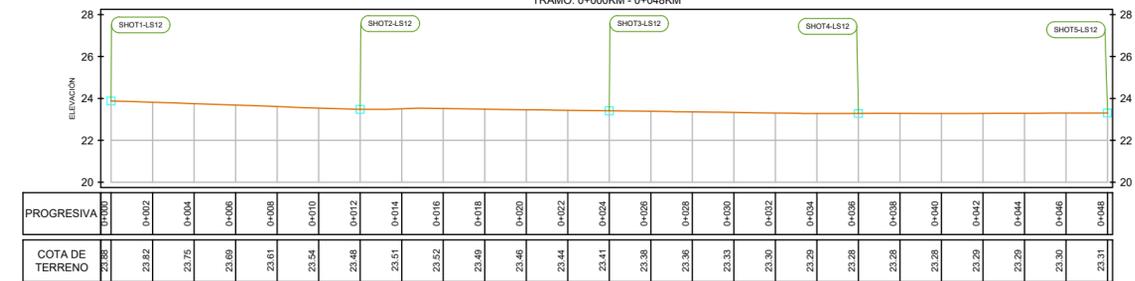
PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-10
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



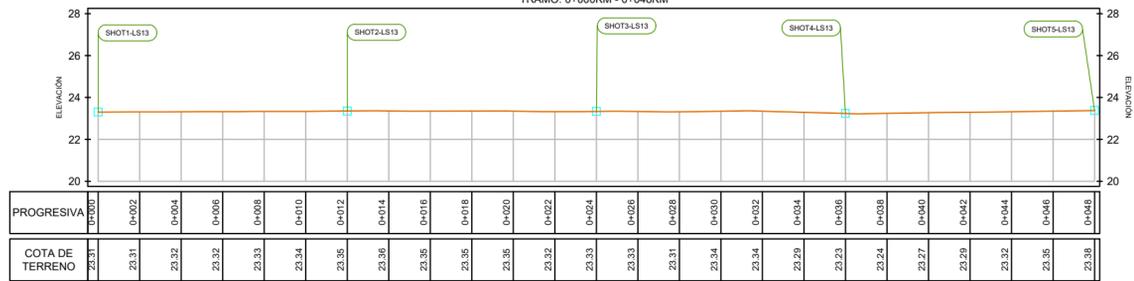
PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-11
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



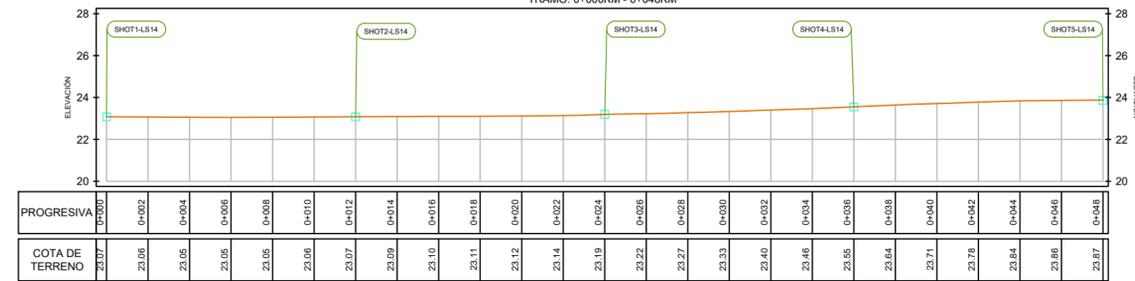
PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-12
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



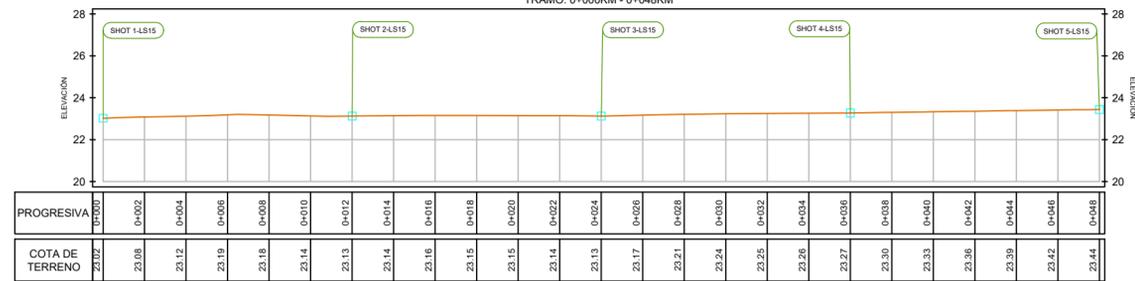
PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-13
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-14
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



PERFIL LONGITUDINAL: LÍNEA SÍSMICA LS-15
TRAMO: 0+000KM - 0+048KM



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:
"PERFIL DE ONDAS P APLICANDO EL MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO PUEBLO DE HUAMÁN, DISTRITO VÍCTOR LARCO"

AUTORES:
BR. ANTHONY BRANDON ARAUJO FLORES
BR. JEISY YAHAIRA QUIROZ MAXIMILIANO

LÁMINA No:
PPL-03
N°03/03

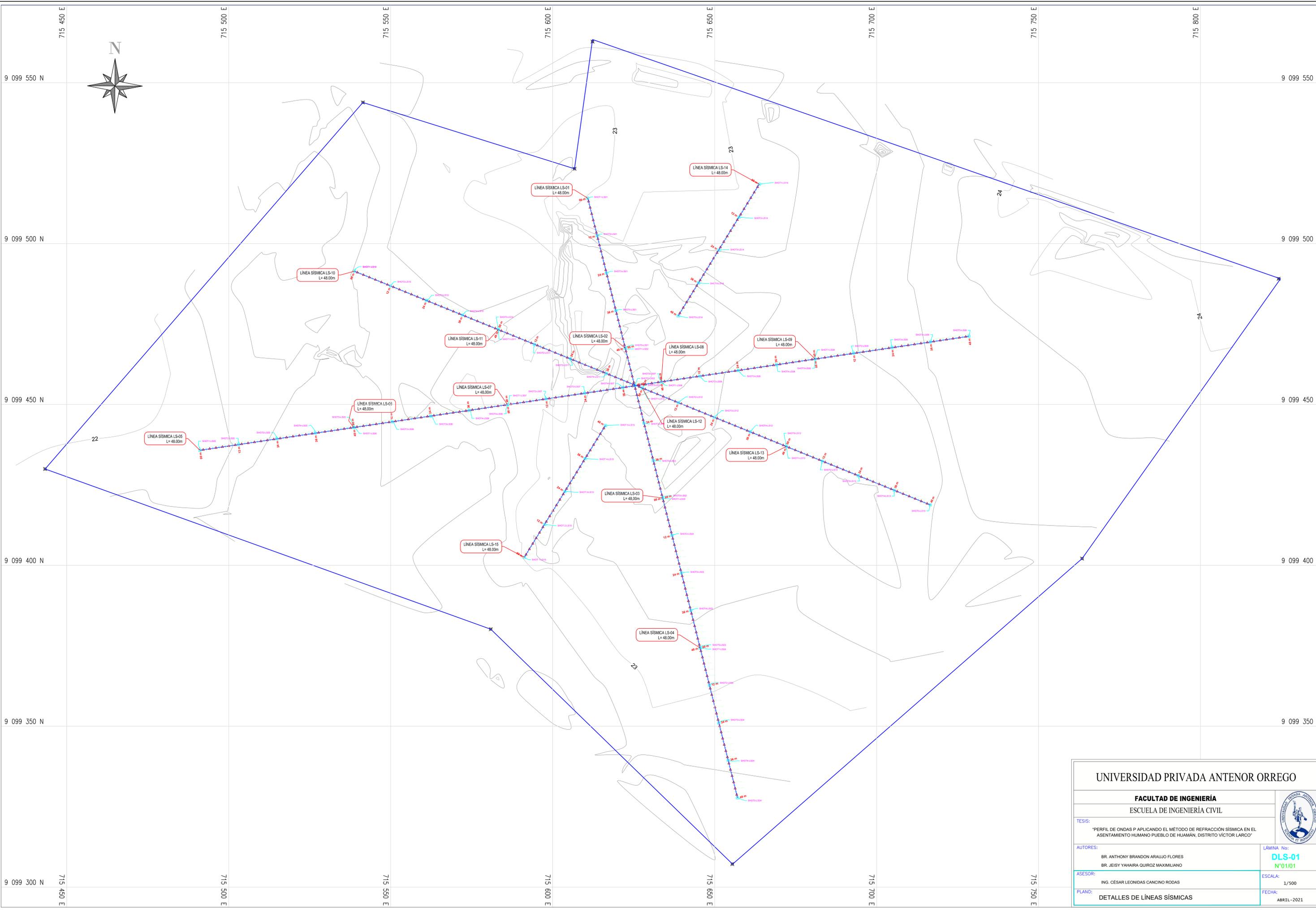
ASESOR:
ING. CÉSAR LEONIDAS CANGINO RODAS

ESCALA:
1/250

PLANO:
PERFILES LONGITUDINALES DE LÍNEAS SÍSMICAS

FECHA:
ABRIL-2021

ANEXO 6. Detalle de Líneas sísmicas



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	
TESIS: "PERFIL DE ONDAS P APLICANDO EL METODO DE REFRACCIÓN SISMICA EN EL ASENTAMIENTO HUMANO PUEBLO DE HUAMÁN, DISTRITO VÍCTOR LARCO"	
AUTORES: BR. ANTHONY BRANDON ARAUJO FLORES BR. JEISY YAHAIRA QUIROZ MAXIMILIANO	LÁMINA No: DLS-01 N°01/01
ASESOR: ING. CÉSAR LEONIDAS CANCINO RODAS	ESCALA: 1/500
PLANO: DETALLES DE LÍNEAS SÍSMICAS	FECHA: ABRIL - 2021

ANEXO 7. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de las líneas sísmicas

Tabla 5. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-01

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099514.101	715610.846	23.028
0.00	1	9099513.130	715611.087	23.011
2.00	2	9099511.189	715611.569	22.976
4.00	3	9099509.248	715612.050	22.942
6.00	4	9099507.307	715612.531	22.973
8.00	5	9099505.365	715613.013	23.329
10.00	6	9099503.424	715613.494	23.426
11.00	Golpe 2	9099502.454	715613.735	23.474
12.00	7	9099501.483	715613.976	23.522
14.00	8	9099499.542	715614.457	23.619
16.00	9	9099497.601	715614.939	23.673
18.00	10	9099495.659	715615.420	23.707
20.00	11	9099493.718	715615.902	23.764
22.00	12	9099491.777	715616.383	23.773
23.00	Golpe 3	9099490.806	715616.624	23.775
24.00	13	9099489.836	715616.865	23.773
26.00	14	9099487.895	715617.346	23.769
28.00	15	9099485.954	715617.828	23.792
30.00	16	9099484.012	715618.309	23.831
32.00	17	9099482.071	715618.791	23.848
34.00	18	9099480.130	715619.272	23.825
35.00	Golpe 4	9099479.159	715619.513	23.814
36.00	19	9099478.189	715619.754	23.802
38.00	20	9099476.248	715620.235	23.780
40.00	21	9099474.306	715620.716	23.757
42.00	22	9099472.365	715621.198	23.735
44.00	23	9099470.424	715621.679	23.717
46.00	24	9099468.483	715622.161	23.678
47.00	Golpe 5	9099467.512	715622.402	23.623

Tabla 6. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-02

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099467.512	715622.402	23.623
0.00	1	9099466.542	715622.642	23.564
2.00	2	9099464.601	715623.124	23.445
4.00	3	9099462.659	715623.605	23.517
6.00	4	9099460.718	715624.087	23.636
8.00	5	9099458.777	715624.568	23.718
10.00	6	9099456.836	715625.050	23.760
11.00	Golpe 2	9099455.865	715625.290	23.777
12.00	7	9099454.895	715625.531	23.794
14.00	8	9099452.953	715626.013	23.755
16.00	9	9099451.012	715626.494	23.662
18.00	10	9099449.071	715626.976	23.569
20.00	11	9099447.130	715627.457	23.509
22.00	12	9099445.189	715627.939	23.503
23.00	Golpe 3	9099444.218	715628.179	23.499
24.00	13	9099443.248	715628.420	23.487
26.00	14	9099441.306	715628.902	23.478
28.00	15	9099439.365	715629.383	23.468
30.00	16	9099437.424	715629.864	23.466
32.00	17	9099435.483	715630.346	23.471
34.00	18	9099433.542	715630.827	23.469
35.00	Golpe 4	9099432.571	715631.068	23.465
36.00	19	9099431.600	715631.309	23.461
38.00	20	9099429.659	715631.790	23.453
40.00	21	9099427.718	715632.272	23.444
42.00	22	9099425.777	715632.753	23.435
44.00	23	9099423.836	715633.235	23.425
46.00	24	9099421.895	715633.716	23.414
47.00	Golpe 5	9099467.512	715622.402	23.623

Tabla 7. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-03

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099420.924	715633.957	23.409
0.00	1	9099419.953	715634.198	23.404
2.00	2	9099418.012	715634.679	23.393
4.00	3	9099416.071	715635.161	23.383
6.00	4	9099414.130	715635.642	23.372
8.00	5	9099412.189	715636.124	23.362
10.00	6	9099410.247	715636.605	23.351
11.00	Golpe 2	9099409.277	715636.846	23.346
12.00	7	9099408.306	715637.087	23.341
14.00	8	9099406.365	715637.568	23.330
16.00	9	9099404.424	715638.050	23.320
18.00	10	9099402.483	715638.531	23.309
20.00	11	9099400.542	715639.012	23.299
22.00	12	9099398.600	715639.494	23.288
23.00	Golpe 3	9099397.630	715639.735	23.283
24.00	13	9099396.659	715639.975	23.278
26.00	14	9099394.718	715640.457	23.267
28.00	15	9099392.777	715640.938	23.257
30.00	16	9099390.836	715641.420	23.246
32.00	17	9099388.894	715641.901	23.236
34.00	18	9099386.953	715642.383	23.225
35.00	Golpe 4	9099385.983	715642.623	23.220
36.00	19	9099385.012	715642.864	23.215
38.00	20	9099383.071	715643.346	23.204
40.00	21	9099381.130	715643.827	23.193
42.00	22	9099379.189	715644.309	23.183
44.00	23	9099377.247	715644.790	23.173
46.00	24	9099375.306	715645.272	23.163
47.00	Golpe 5	9099374.336	715645.512	23.153

Tabla 8. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-04

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099374.336	715645.512	23.038
0.00	1	9099373.365	715645.753	23.043
2.00	2	9099371.424	715646.235	23.051
4.00	3	9099369.483	715646.716	23.060
6.00	4	9099367.541	715647.197	23.069
8.00	5	9099365.600	715647.679	23.075
10.00	6	9099363.659	715648.160	23.051
11.00	Golpe 2	9099362.689	715648.401	23.038
12.00	7	9099361.718	715648.642	23.025
14.00	8	9099359.777	715649.123	22.999
16.00	9	9099357.836	715649.605	22.973
18.00	10	9099355.894	715650.086	22.947
20.00	11	9099353.953	715650.568	22.921
22.00	12	9099352.012	715651.049	22.895
23.00	Golpe 3	9099351.041	715651.290	22.882
24.00	13	9099350.071	715651.531	22.869
26.00	14	9099348.130	715652.012	22.855
28.00	15	9099346.188	715652.494	22.847
30.00	16	9099344.247	715652.975	22.840
32.00	17	9099342.306	715653.457	22.832
34.00	18	9099340.365	715653.938	22.822
35.00	Golpe 4	9099339.394	715654.179	22.816
36.00	19	9099338.424	715654.420	22.810
38.00	20	9099336.483	715654.901	22.798
40.00	21	9099334.541	715655.383	22.786
42.00	22	9099332.600	715655.864	22.774
44.00	23	9099330.659	715656.345	22.762
46.00	24	9099328.718	715656.827	22.750
47.00	Golpe 5	9099327.747	715657.068	22.744

Tabla 9. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-05

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099435.766	715491.132	22.091
0.00	1	9099435.914	715492.121	22.099
2.00	2	9099436.209	715494.099	22.114
4.00	3	9099436.505	715496.077	22.130
6.00	4	9099436.800	715498.055	22.145
8.00	5	9099437.095	715500.033	22.160
10.00	6	9099437.391	715502.011	22.176
11.00	Golpe 2	9099437.538	715503.000	22.183
12.00	7	9099437.686	715503.989	22.191
14.00	8	9099437.981	715505.967	22.206
16.00	9	9099438.277	715507.945	22.225
18.00	10	9099438.572	715509.924	22.245
20.00	11	9099438.867	715511.902	22.266
22.00	12	9099439.163	715513.880	22.286
23.00	Golpe 3	9099439.310	715514.869	22.296
24.00	13	9099439.458	715515.858	22.391
26.00	14	9099439.753	715517.836	22.485
28.00	15	9099440.048	715519.814	22.500
30.00	16	9099440.344	715521.792	22.516
32.00	17	9099440.639	715523.770	22.532
34.00	18	9099440.934	715525.748	22.548
35.00	Golpe 4	9099441.082	715526.737	22.556
36.00	19	9099441.230	715527.726	22.564
38.00	20	9099441.525	715529.704	22.580
40.00	21	9099441.820	715531.682	22.586
42.00	22	9099442.116	715533.661	22.582
44.00	23	9099442.411	715535.639	22.577
46.00	24	9099442.706	715537.617	22.572
47.00	Golpe 5	9099442.854	715538.606	22.570

Tabla 10. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-06

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099442.854	715538.606	22.570
0.00	1	9099443.003	715539.594	22.567
2.00	2	9099443.299	715541.573	22.563
4.00	3	9099443.594	715543.551	22.558
6.00	4	9099443.889	715545.529	22.553
8.00	5	9099444.185	715547.507	22.561
10.00	6	9099444.480	715549.485	22.571
11.00	Golpe 2	9099444.626	715550.474	22.589
12.00	7	9099444.775	715551.463	22.612
14.00	8	9099445.071	715553.441	22.657
16.00	9	9099445.366	715555.419	22.702
18.00	10	9099445.661	715557.397	22.747
20.00	11	9099445.957	715559.375	22.792
22.00	12	9099446.252	715561.353	22.800
23.00	Golpe 3	9099446.398	715562.343	22.789
24.00	13	9099446.547	715563.331	22.779
26.00	14	9099446.842	715565.309	22.758
28.00	15	9099447.138	715567.288	22.740
30.00	16	9099447.433	715569.266	22.730
32.00	17	9099447.728	715571.244	22.739
34.00	18	9099448.024	715573.222	22.771
35.00	Golpe 4	9099448.169	715574.211	22.808
36.00	19	9099448.319	715575.200	22.880
38.00	20	9099448.614	715577.178	23.153
40.00	21	9099448.910	715579.156	23.009
42.00	22	9099449.205	715581.134	23.034
44.00	23	9099449.500	715583.112	22.995
46.00	24	9099449.796	715585.090	22.955
47.00	Golpe 5	9099449.941	715586.080	22.936

Tabla 11. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-07

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099449.941	715586.080	22.936
0.00	1	9099450.091	715587.068	22.916
2.00	2	9099450.386	715589.046	22.877
4.00	3	9099450.681	715591.024	22.838
6.00	4	9099450.977	715593.003	22.812
8.00	5	9099451.272	715594.981	22.842
10.00	6	9099451.567	715596.959	22.872
11.00	Golpe 2	9099451.713	715597.948	22.887
12.00	7	9099451.863	715598.937	22.901
14.00	8	9099452.158	715600.915	22.931
16.00	9	9099452.453	715602.893	22.820
18.00	10	9099452.749	715604.871	22.831
20.00	11	9099453.044	715606.849	22.919
22.00	12	9099453.339	715608.827	23.007
23.00	Golpe 3	9099453.485	715609.817	23.031
24.00	13	9099453.635	715610.805	23.051
26.00	14	9099453.930	715612.783	23.121
28.00	15	9099454.225	715614.761	23.199
30.00	16	9099454.520	715616.740	23.276
32.00	17	9099454.816	715618.718	23.341
34.00	18	9099455.111	715620.696	23.370
35.00	Golpe 4	9099455.257	715621.685	23.471
36.00	19	9099455.406	715622.674	23.573
38.00	20	9099455.702	715624.652	23.730
40.00	21	9099455.997	715626.630	23.875
42.00	22	9099456.292	715628.608	24.035
44.00	23	9099456.588	715630.586	23.933
46.00	24	9099456.883	715632.564	23.909
47.00	Golpe 5	9099457.029	715633.553	23.897

Tabla 12. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-08

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099457.029	715633.553	23.897
0.00	1	9099457.178	715634.542	23.885
2.00	2	9099457.474	715636.520	23.851
4.00	3	9099457.769	715638.498	23.811
6.00	4	9099458.064	715640.476	23.767
8.00	5	9099458.359	715642.455	23.705
10.00	6	9099458.655	715644.433	23.647
11.00	Golpe 2	9099458.801	715645.422	23.633
12.00	7	9099458.950	715646.411	23.608
14.00	8	9099459.245	715648.389	23.558
16.00	9	9099459.541	715650.367	23.508
18.00	10	9099459.836	715652.345	23.469
20.00	11	9099460.131	715654.323	23.439
22.00	12	9099460.427	715656.301	23.410
23.00	Golpe 3	9099460.572	715657.290	23.396
24.00	13	9099460.722	715658.279	23.381
26.00	14	9099461.017	715660.257	23.352
28.00	15	9099461.313	715662.235	23.323
30.00	16	9099461.608	715664.213	23.294
32.00	17	9099461.903	715666.191	23.265
34.00	18	9099462.198	715668.170	23.243
35.00	Golpe 4	9099462.344	715669.159	23.239
36.00	19	9099462.494	715670.148	23.235
38.00	20	9099462.789	715672.126	23.227
40.00	21	9099463.084	715674.104	23.226
42.00	22	9099463.380	715676.082	23.239
44.00	23	9099463.675	715678.060	23.251
46.00	24	9099463.970	715680.038	23.264
47.00	Golpe 5	9099464.116	715681.027	23.270

Tabla 13. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-09

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099464.116	715681.027	23.270
0.00	1	9099464.267	715682.016	23.277
2.00	2	9099464.563	715683.994	23.289
4.00	3	9099464.858	715685.972	23.302
6.00	4	9099465.153	715687.950	23.315
8.00	5	9099465.449	715689.928	23.327
10.00	6	9099465.744	715691.906	23.340
11.00	Golpe 2	9099465.888	715692.896	23.349
12.00	7	9099466.039	715693.884	23.359
14.00	8	9099466.335	715695.862	23.378
16.00	9	9099466.630	715697.840	23.397
18.00	10	9099466.925	715699.819	23.416
20.00	11	9099467.221	715701.797	23.435
22.00	12	9099467.516	715703.775	23.454
23.00	Golpe 3	9099467.660	715704.764	23.464
24.00	13	9099467.811	715705.753	23.473
26.00	14	9099468.106	715707.731	23.492
28.00	15	9099468.402	715709.709	23.511
30.00	16	9099468.697	715711.687	23.531
32.00	17	9099468.992	715713.665	23.550
34.00	18	9099469.288	715715.643	23.569
35.00	Golpe 4	9099469.432	715716.633	23.579
36.00	19	9099469.583	715717.621	23.590
38.00	20	9099469.878	715719.599	23.612
40.00	21	9099470.174	715721.577	23.634
42.00	22	9099470.469	715723.555	23.656
44.00	23	9099470.764	715725.534	23.678
46.00	24	9099471.060	715727.512	23.692
47.00	Golpe 5	9099471.203	715728.501	23.698

Tabla 14. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-10

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099491.402	715538.814	22.525
0.00	1	9099491.023	715539.739	22.550
2.00	2	9099490.267	715541.591	22.599
4.00	3	9099489.511	715543.442	22.649
6.00	4	9099488.755	715545.294	22.701
8.00	5	9099487.998	715547.145	22.713
10.00	6	9099487.242	715548.997	22.721
11.00	Golpe 2	9099486.864	715549.923	22.725
12.00	7	9099486.486	715550.848	22.730
14.00	8	9099485.729	715552.700	22.738
16.00	9	9099484.973	715554.551	22.747
18.00	10	9099484.217	715556.403	22.754
20.00	11	9099483.460	715558.254	22.756
22.00	12	9099482.704	715560.106	22.758
23.00	Golpe 3	9099482.326	715561.032	22.758
24.00	13	9099481.948	715561.957	22.759
26.00	14	9099481.192	715563.809	22.761
28.00	15	9099480.435	715565.660	22.763
30.00	16	9099479.679	715567.512	22.765
32.00	17	9099478.923	715569.363	22.766
34.00	18	9099478.166	715571.215	22.768
35.00	Golpe 4	9099477.788	715572.140	22.769
36.00	19	9099477.410	715573.066	22.770
38.00	20	9099476.654	715574.918	22.771
40.00	21	9099475.898	715576.769	22.773
42.00	22	9099475.141	715578.621	22.775
44.00	23	9099474.385	715580.472	22.777
46.00	24	9099473.629	715582.324	22.778
47.00	Golpe 5	9099473.250	715583.249	22.779

Tabla 15. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-11

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099473.250	715583.249	22.779
0.00	1	9099472.872	715584.175	22.780
2.00	2	9099472.116	715586.027	22.782
4.00	3	9099471.360	715587.878	22.795
6.00	4	9099470.603	715589.730	22.819
8.00	5	9099469.847	715591.581	22.881
10.00	6	9099469.091	715593.433	22.943
11.00	Golpe 2	9099468.713	715594.358	22.985
12.00	7	9099468.335	715595.284	23.049
14.00	8	9099467.578	715597.136	23.042
16.00	9	9099466.822	715598.987	22.981
18.00	10	9099466.066	715600.839	22.920
20.00	11	9099465.309	715602.690	22.860
22.00	12	9099464.553	715604.542	22.799
23.00	Golpe 3	9099464.175	715605.467	22.797
24.00	13	9099463.797	715606.393	22.911
26.00	14	9099463.040	715608.245	23.114
28.00	15	9099462.284	715610.096	23.279
30.00	16	9099461.528	715611.948	23.513
32.00	17	9099460.772	715613.799	23.582
34.00	18	9099460.015	715615.651	23.177
35.00	Golpe 4	9099459.637	715616.576	23.083
36.00	19	9099459.259	715617.502	23.111
38.00	20	9099458.503	715619.353	23.176
40.00	21	9099457.746	715621.205	23.382
42.00	22	9099456.990	715623.056	23.588
44.00	23	9099456.234	715624.908	23.749
46.00	24	9099455.477	715626.759	23.884
47.00	Golpe 5	9099455.099	715627.685	23.937

Tabla 16. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-12

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099455.099	715627.685	23.937
0.00	1	9099454.721	715628.611	23.898
2.00	2	9099453.965	715630.462	23.836
4.00	3	9099453.209	715632.314	23.774
6.00	4	9099452.452	715634.165	23.713
8.00	5	9099451.696	715636.017	23.651
10.00	6	9099450.940	715637.868	23.579
11.00	Golpe 2	9099450.562	715638.794	23.541
12.00	7	9099450.183	715639.720	23.504
14.00	8	9099449.427	715641.571	23.446
16.00	9	9099448.671	715643.423	23.456
18.00	10	9099447.915	715645.274	23.517
20.00	11	9099447.158	715647.126	23.495
22.00	12	9099446.402	715648.977	23.469
23.00	Golpe 3	9099446.024	715649.903	23.457
24.00	13	9099445.646	715650.829	23.444
26.00	14	9099444.889	715652.680	23.419
28.00	15	9099444.133	715654.532	23.394
30.00	16	9099443.377	715656.383	23.368
32.00	17	9099442.620	715658.235	23.343
34.00	18	9099441.864	715660.086	23.316
35.00	Golpe 4	9099441.486	715661.012	23.302
36.00	19	9099441.108	715661.938	23.288
38.00	20	9099440.352	715663.789	23.286
40.00	21	9099439.595	715665.641	23.292
42.00	22	9099438.839	715667.492	23.299
44.00	23	9099438.083	715669.344	23.305
46.00	24	9099437.326	715671.195	23.311
47.00	Golpe 5	9099436.948	715672.121	23.314

Tabla 17. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-13

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099436.948	715672.121	23.314
0.00	1	9099436.570	715673.047	23.317
2.00	2	9099435.814	715674.898	23.323
4.00	3	9099435.057	715676.750	23.329
6.00	4	9099434.301	715678.601	23.335
8.00	5	9099433.545	715680.453	23.341
10.00	6	9099432.789	715682.304	23.348
11.00	Golpe 2	9099432.410	715683.230	23.351
12.00	7	9099432.032	715684.156	23.354
14.00	8	9099431.276	715686.007	23.360
16.00	9	9099430.520	715687.859	23.377
18.00	10	9099429.763	715689.710	23.397
20.00	11	9099429.007	715691.562	23.368
22.00	12	9099428.251	715693.413	23.337
23.00	Golpe 3	9099427.873	715694.339	23.337
24.00	13	9099427.494	715695.265	23.332
26.00	14	9099426.738	715697.116	23.361
28.00	15	9099425.982	715698.968	23.389
30.00	16	9099425.226	715700.819	23.418
32.00	17	9099424.469	715702.671	23.444
34.00	18	9099423.713	715704.522	23.390
35.00	Golpe 4	9099423.335	715705.448	23.362
36.00	19	9099422.957	715706.374	23.335
38.00	20	9099422.200	715708.225	23.281
40.00	21	9099421.444	715710.076	23.227
42.00	22	9099420.688	715711.928	23.255
44.00	23	9099419.932	715713.779	23.284
46.00	24	9099419.175	715715.631	23.312
47.00	Golpe 5	9099418.419	715717.482	23.341

Tabla 18. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-14

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099518.469	715663.787	23.030
0.00	1	9099517.615	715663.265	23.025
2.00	2	9099515.909	715662.222	23.017
4.00	3	9099514.203	715661.179	23.029
6.00	4	9099512.497	715660.135	23.040
8.00	5	9099510.791	715659.092	23.051
10.00	6	9099509.084	715658.048	23.063
11.00	Golpe 2	9099508.231	715657.526	23.068
12.00	7	9099507.378	715657.005	23.074
14.00	8	9099505.672	715655.961	23.085
16.00	9	9099503.966	715654.918	23.097
18.00	10	9099502.260	715653.874	23.108
20.00	11	9099500.553	715652.831	23.130
22.00	12	9099498.847	715651.787	23.194
23.00	Golpe 3	9099497.994	715651.265	23.225
24.00	13	9099497.141	715650.744	23.257
26.00	14	9099495.435	715649.700	23.320
28.00	15	9099493.729	715648.657	23.384
30.00	16	9099492.022	715647.613	23.447
32.00	17	9099490.316	715646.570	23.511
34.00	18	9099488.610	715645.526	23.574
35.00	Golpe 4	9099487.757	715645.004	23.606
36.00	19	9099486.904	715644.483	23.647
38.00	20	9099485.198	715643.439	23.739
40.00	21	9099483.491	715642.396	23.820
42.00	22	9099481.785	715641.352	23.857
44.00	23	9099480.079	715640.309	23.812
46.00	24	9099478.373	715639.265	23.830
47.00	Golpe 5	9099477.520	715638.743	23.825

Tabla 19. Coordenadas UTM WGS84 de geófonos de la línea sísmica LS-15

Longitud (m)	Geófono	Norte	Este	Cota
-1.00	Golpe 1	9099402.485	715591.251	22.881
0.00	1	9099403.338	715591.773	22.901
2.00	2	9099405.045	715592.817	22.942
4.00	3	9099406.751	715593.860	22.983
6.00	4	9099408.457	715594.904	23.025
8.00	5	9099410.163	715595.947	23.079
10.00	6	9099411.869	715596.991	23.176
11.00	Golpe 2	9099412.722	715597.512	23.161
12.00	7	9099413.576	715598.034	23.139
14.00	8	9099415.282	715599.078	23.106
16.00	9	9099416.988	715600.121	23.087
18.00	10	9099418.694	715601.165	23.076
20.00	11	9099420.400	715602.208	23.071
22.00	12	9099422.107	715603.252	23.067
23.00	Golpe 3	9099422.960	715603.773	23.065
24.00	13	9099423.813	715604.295	23.063
26.00	14	9099425.519	715605.339	23.088
28.00	15	9099427.225	715606.382	23.091
30.00	16	9099428.931	715607.426	23.140
32.00	17	9099430.638	715608.469	23.177
34.00	18	9099432.344	715609.513	23.209
35.00	Golpe 4	9099433.197	715610.034	23.224
36.00	19	9099434.050	715610.556	23.240
38.00	20	9099435.756	715611.600	23.271
40.00	21	9099437.462	715612.643	23.302
42.00	22	9099439.169	715613.686	23.334
44.00	23	9099440.875	715614.730	23.365
46.00	24	9099442.578	715615.772	23.396
47.00	Golpe 5	9099443.434	715616.295	23.412

ANEXO 8. Registro de Ondas Sísmicas

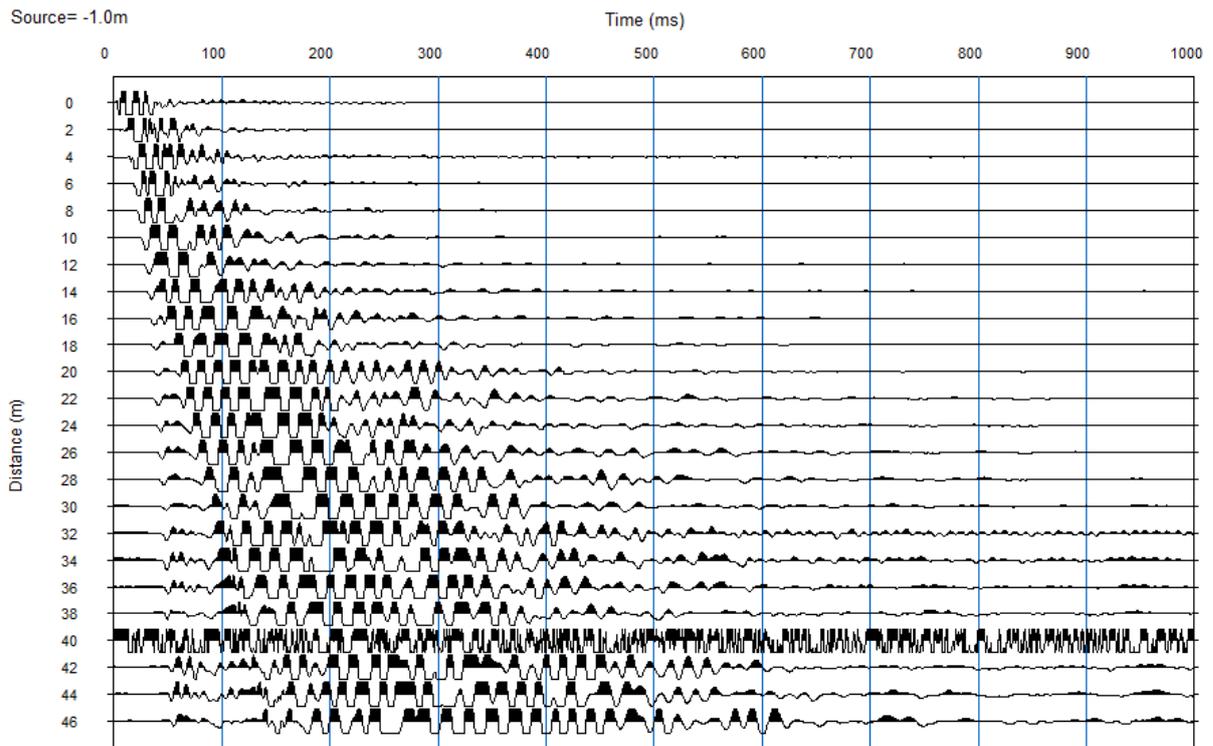


Figura 1. Registro sísmico de la línea LS-01-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

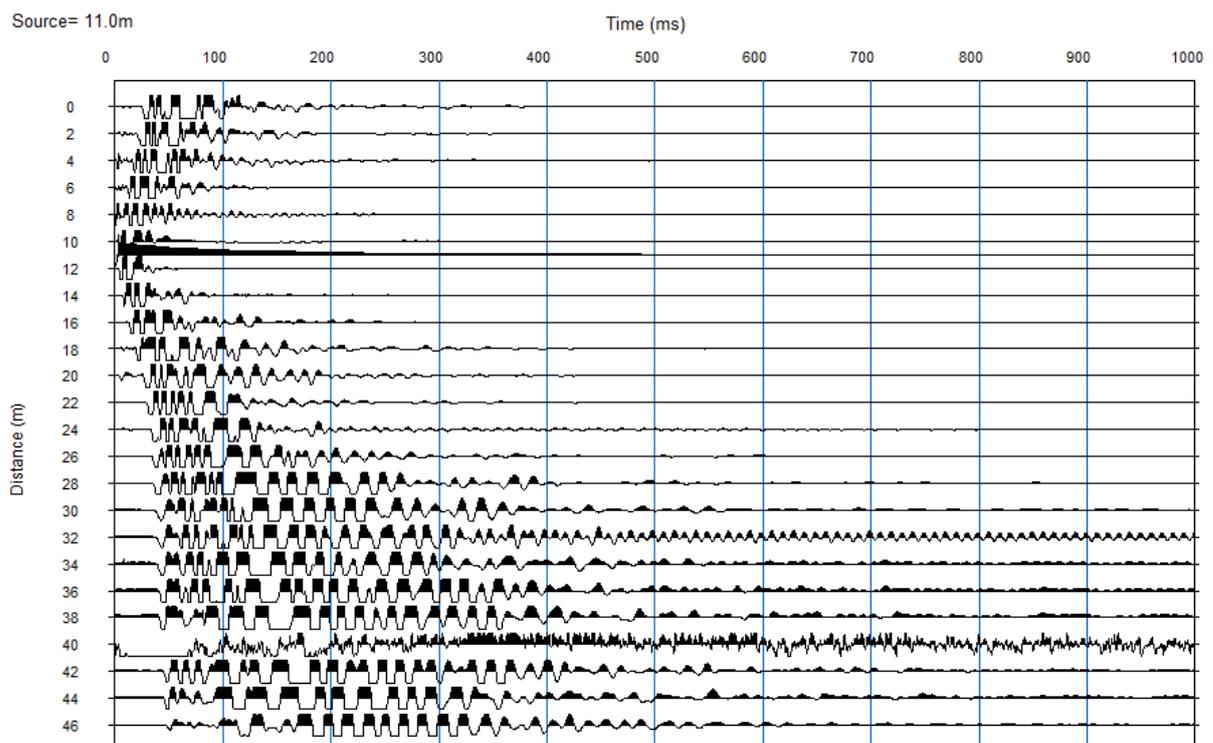


Figura 2. Registro sísmico de la línea LS-01-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

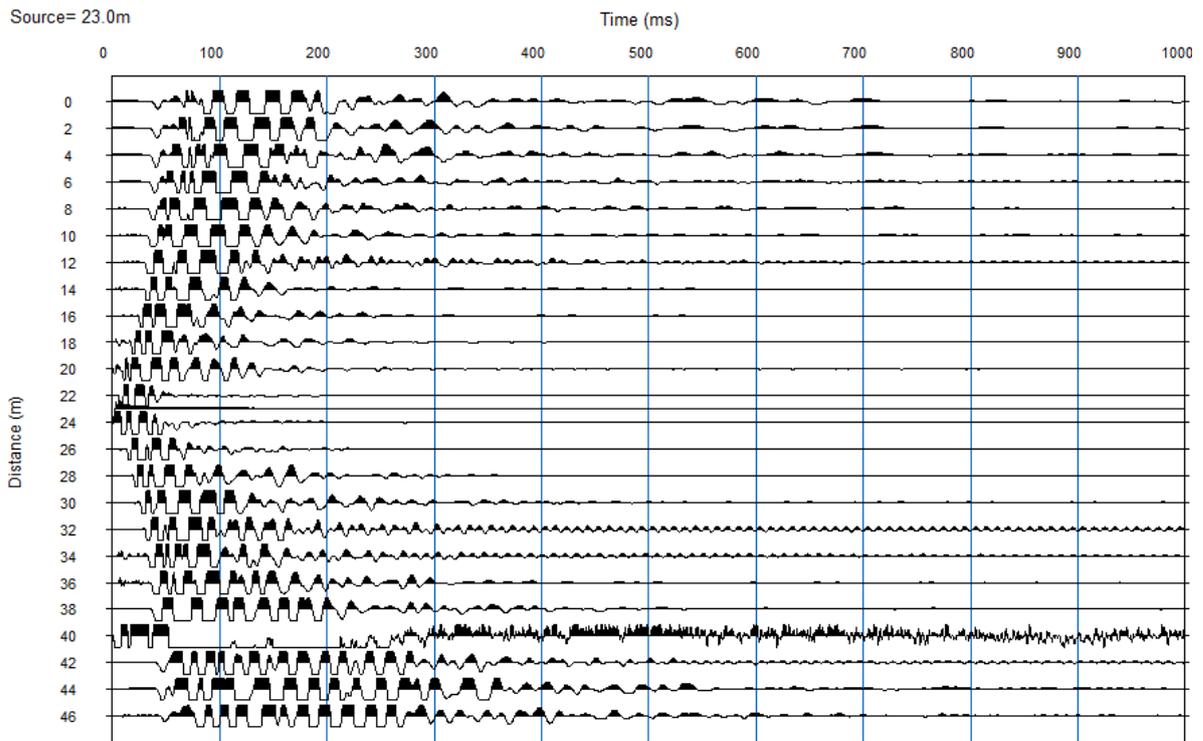


Figura 3. Registro sísmico de la línea LS-01-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

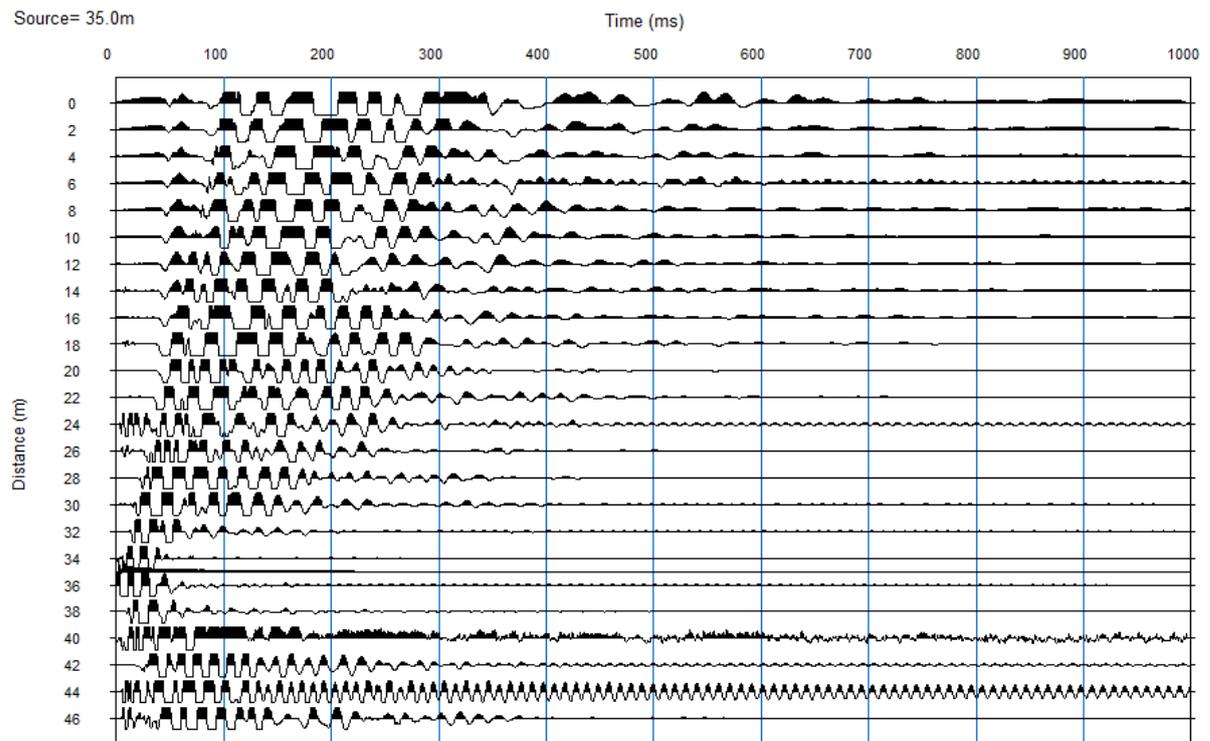


Figura 4. Registro sísmico de la línea LS-01-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

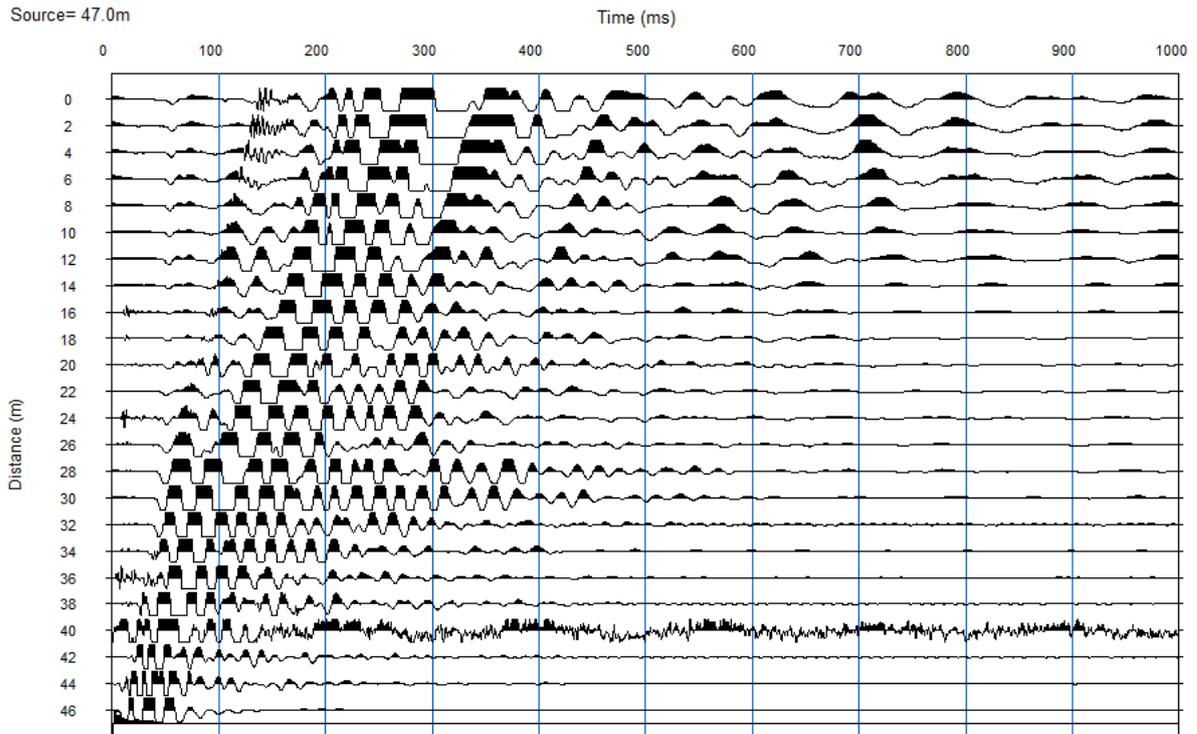


Figura 5. Registro sísmico de la línea LS-01-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

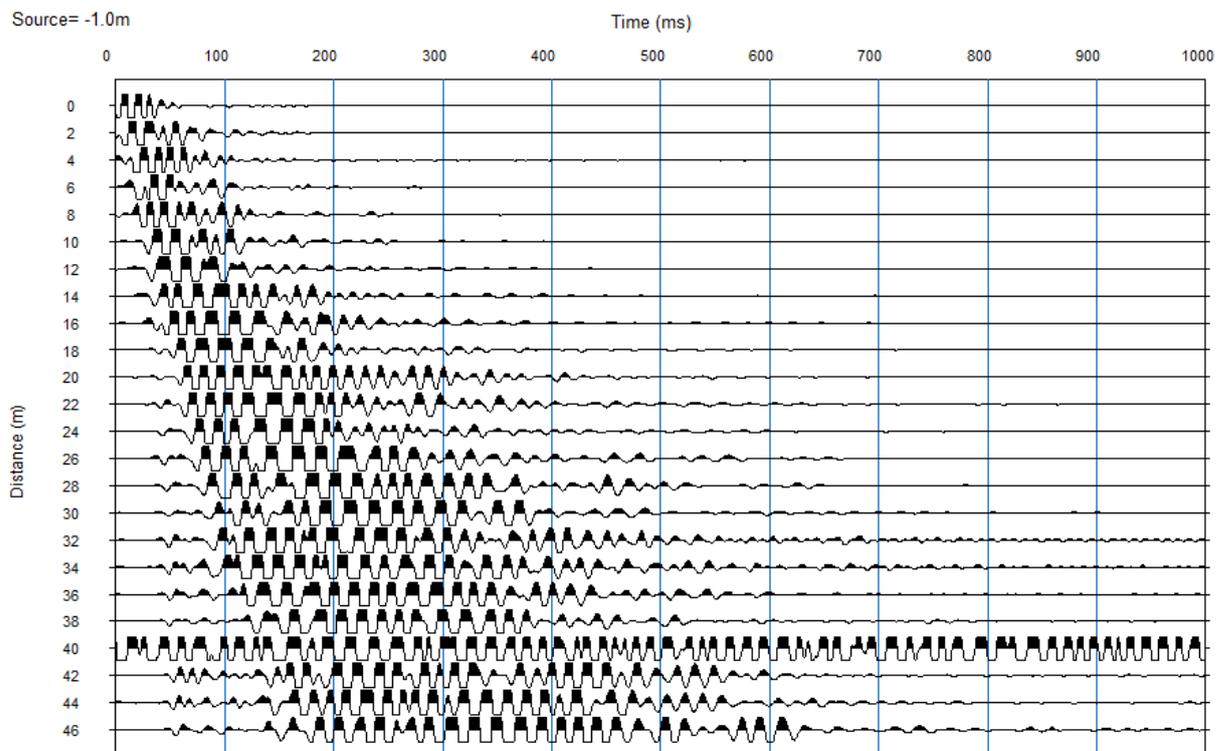


Figura 6. Registro sísmico de la línea LS-02-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

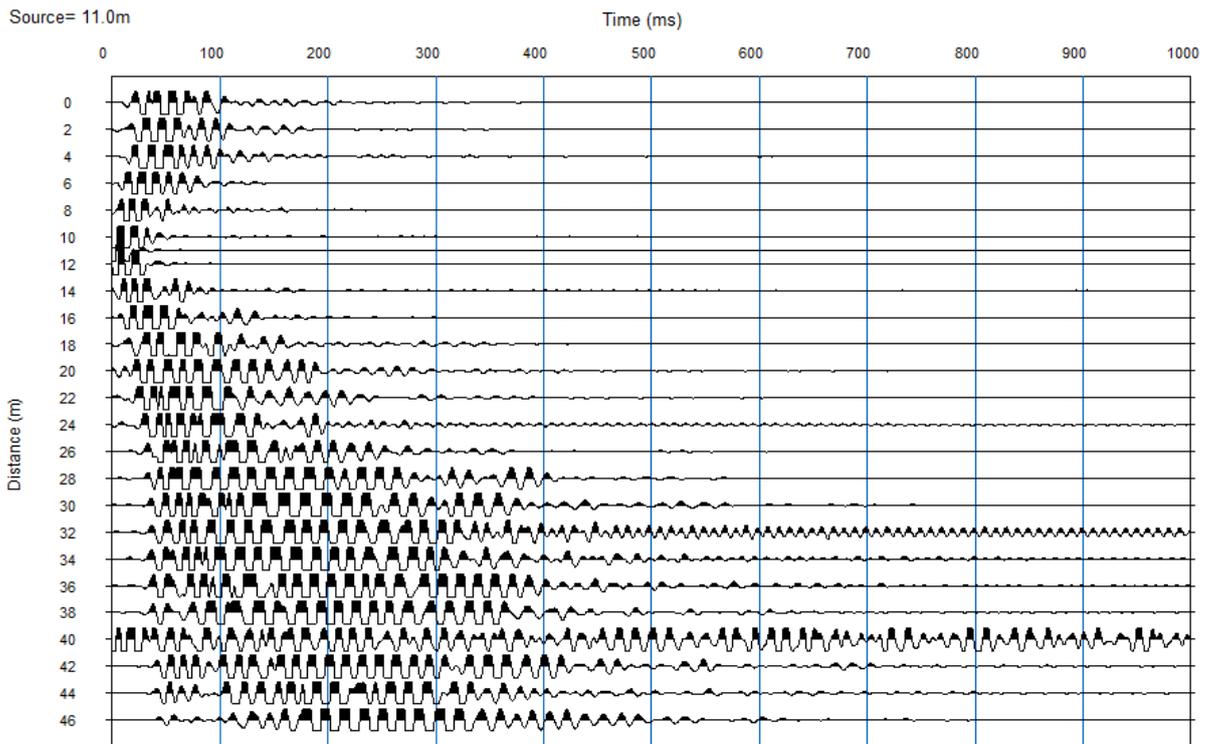


Figura 7. Registro sísmico de la línea LS-02-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

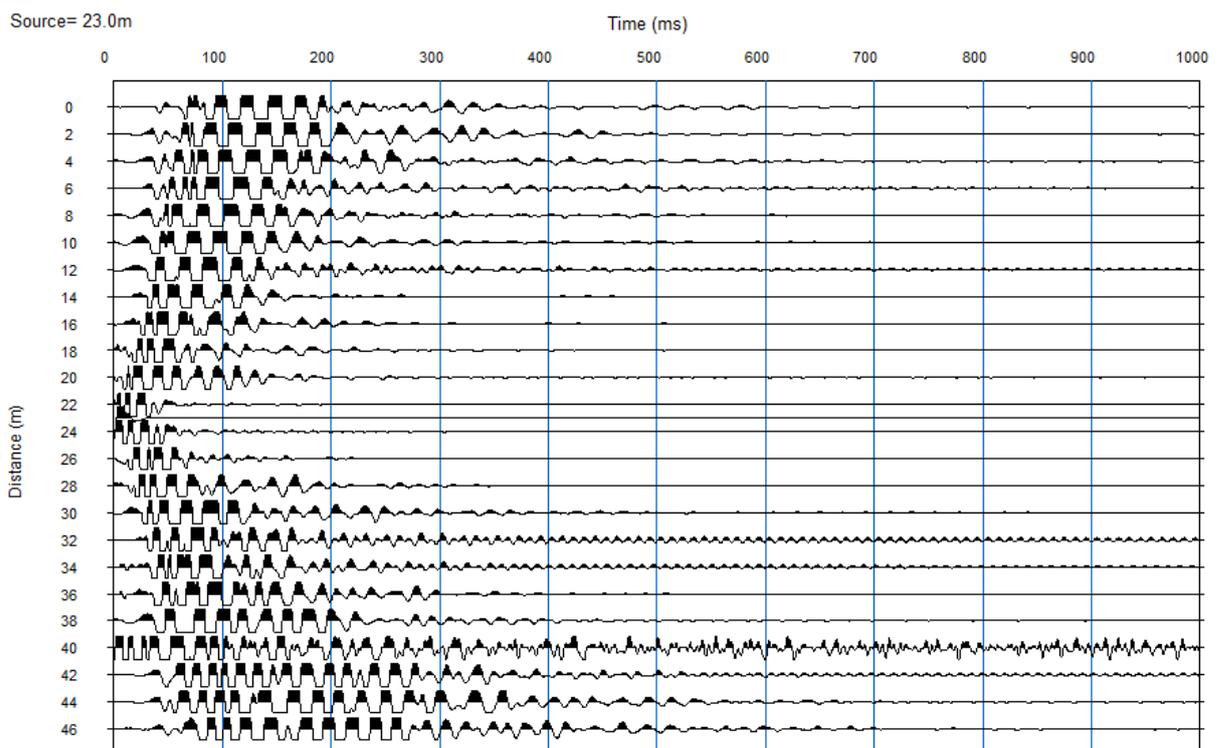


Figura 8. Registro sísmico de la línea LS-02-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

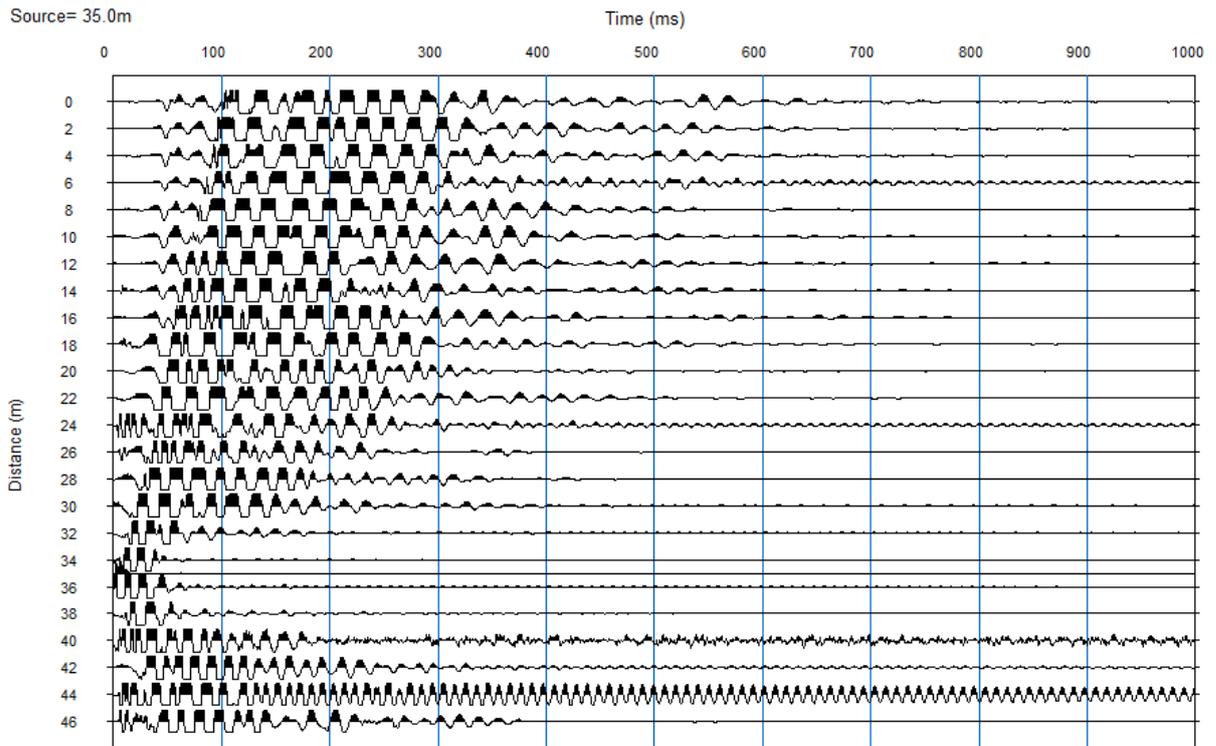


Figura 9. Registro sísmico de la línea LS-02-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

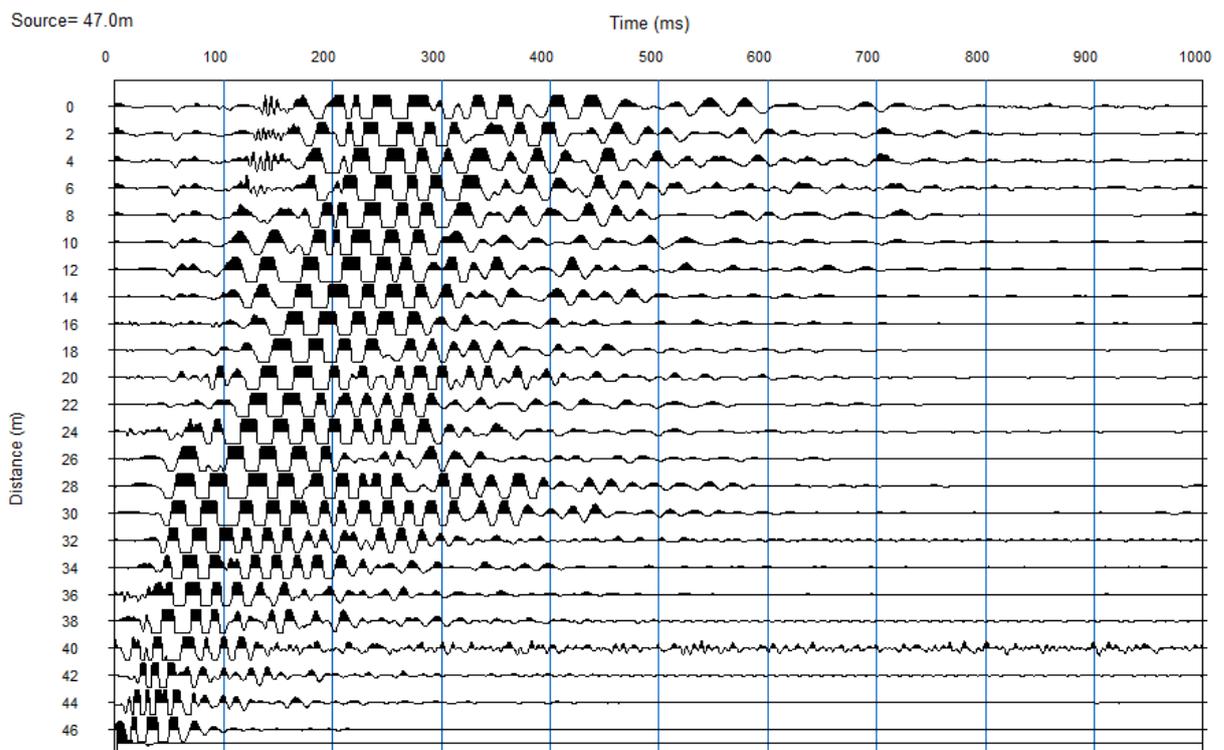


Figura 10. Registro sísmico de la línea LS-02-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

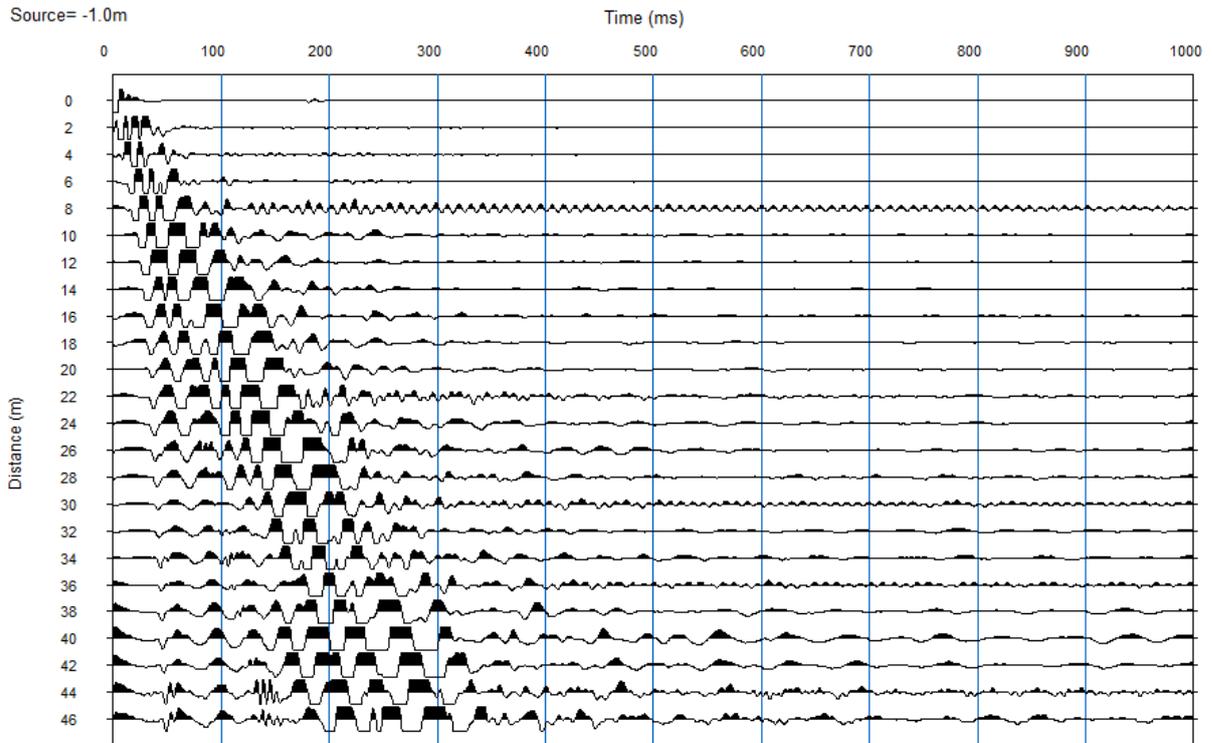


Figura 11. Registro sísmico de la línea LS-03-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

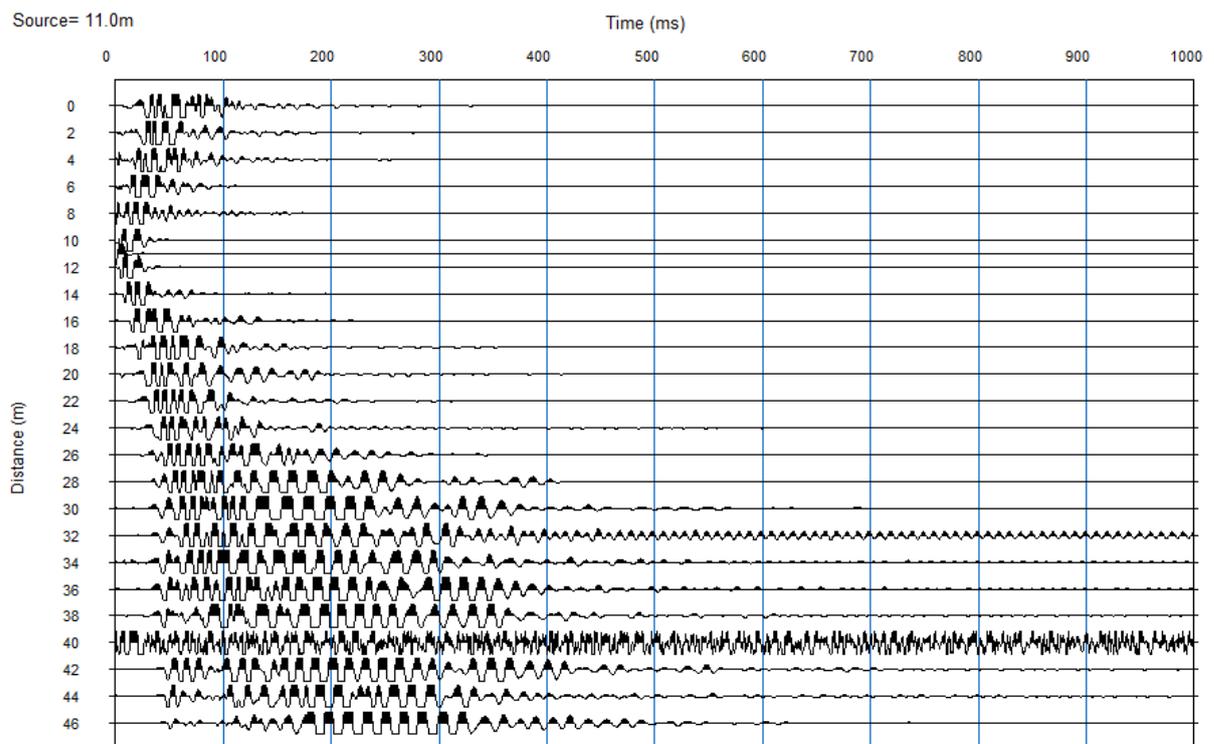


Figura 12. Registro sísmico de la línea LS-03-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

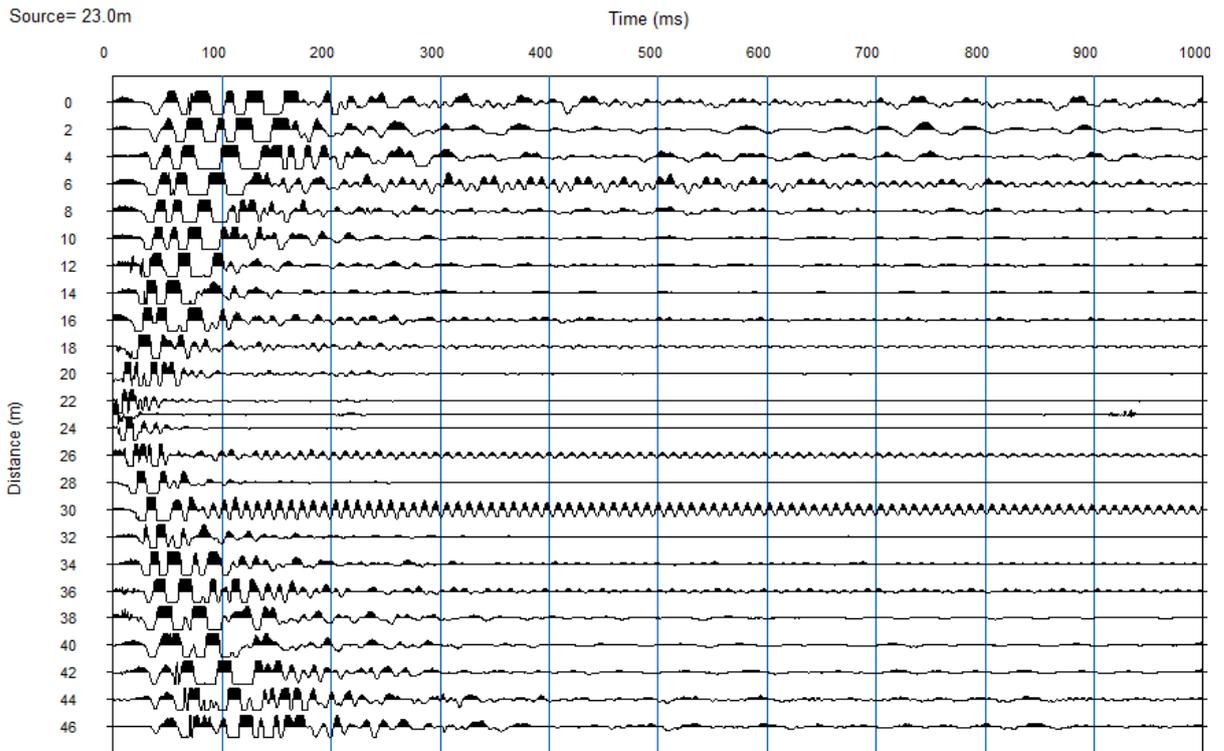


Figura 13. Registro sísmico de la línea LS-03-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

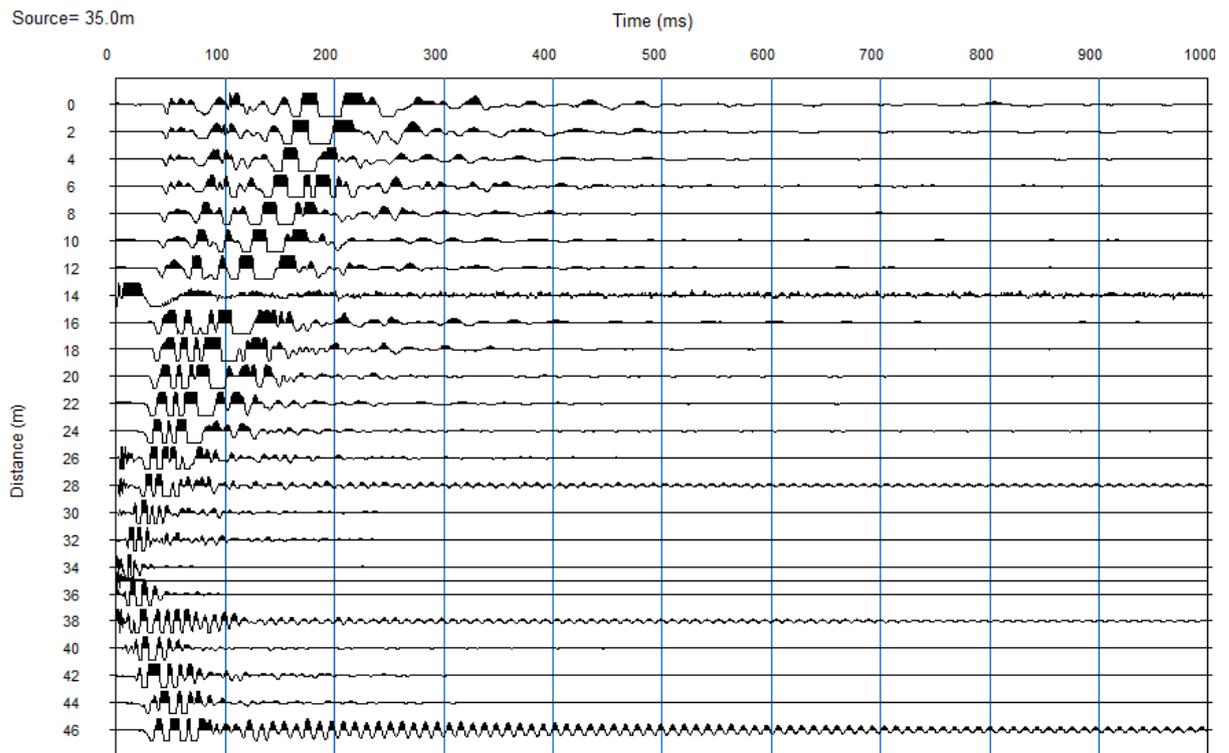


Figura 14. Registro sísmico de la línea LS-03-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

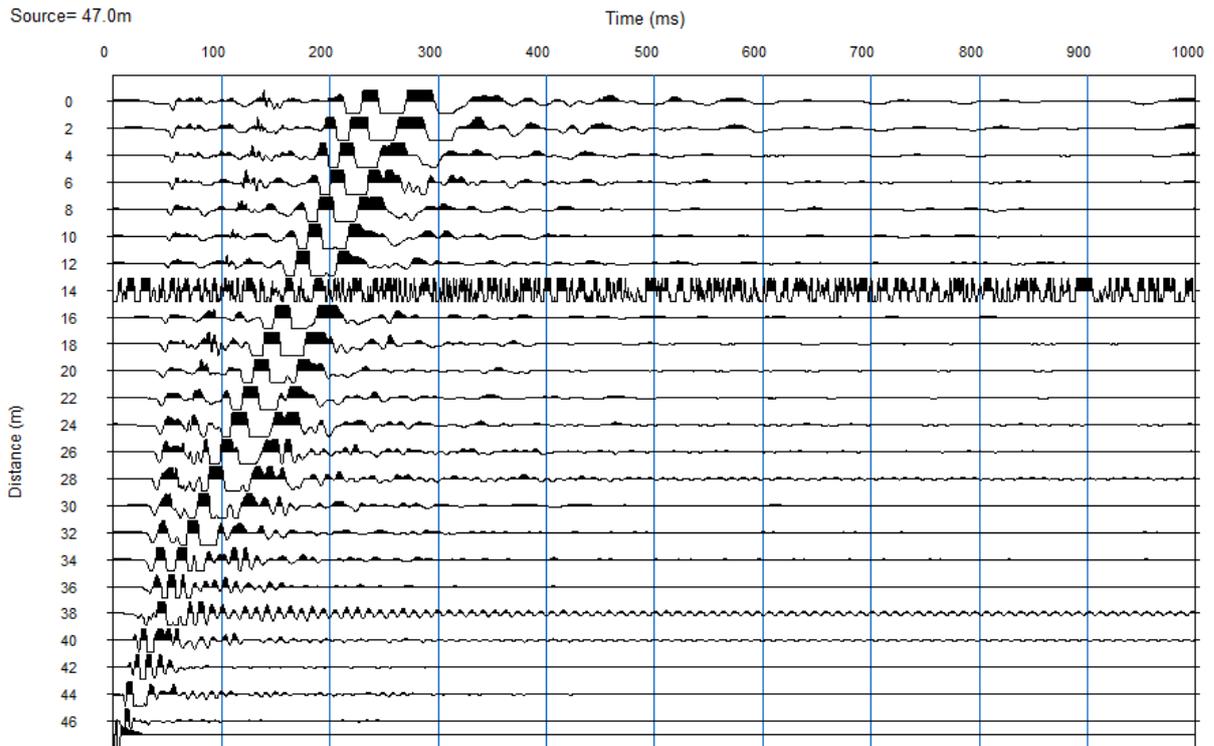


Figura 15. Registro sísmico de la línea LS-03-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

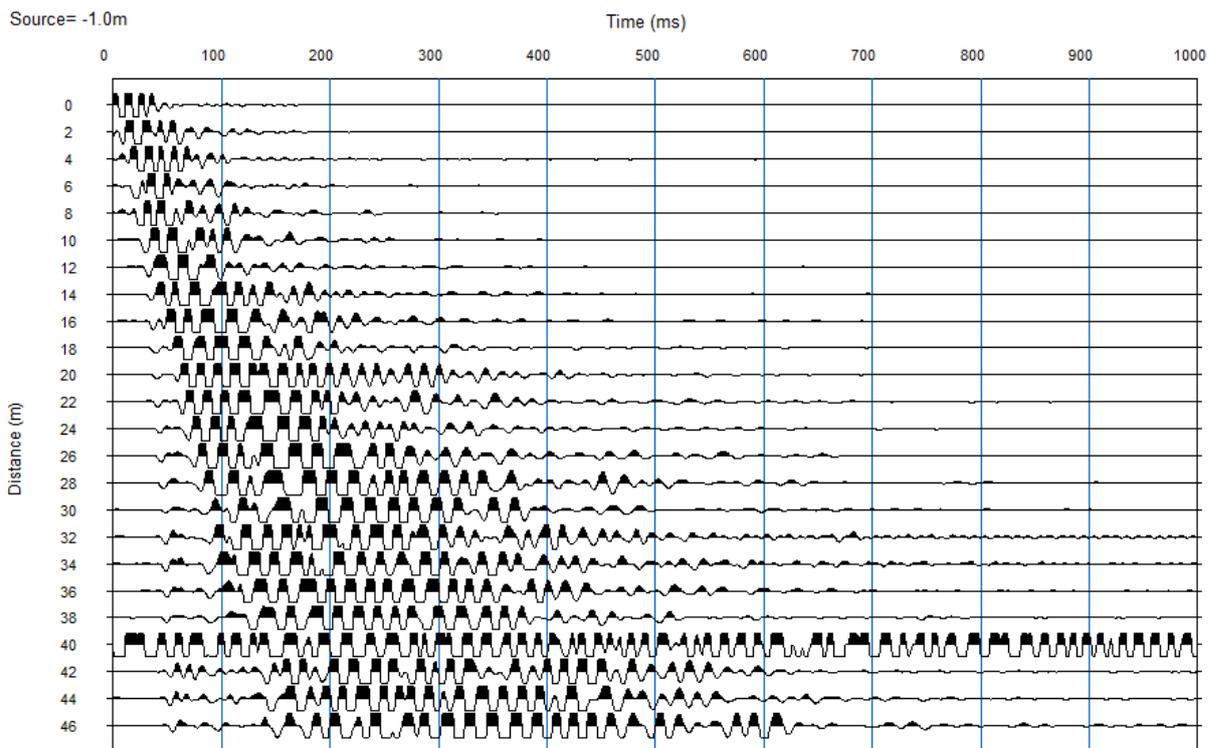


Figura 16. Registro sísmico de la línea LS-04-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

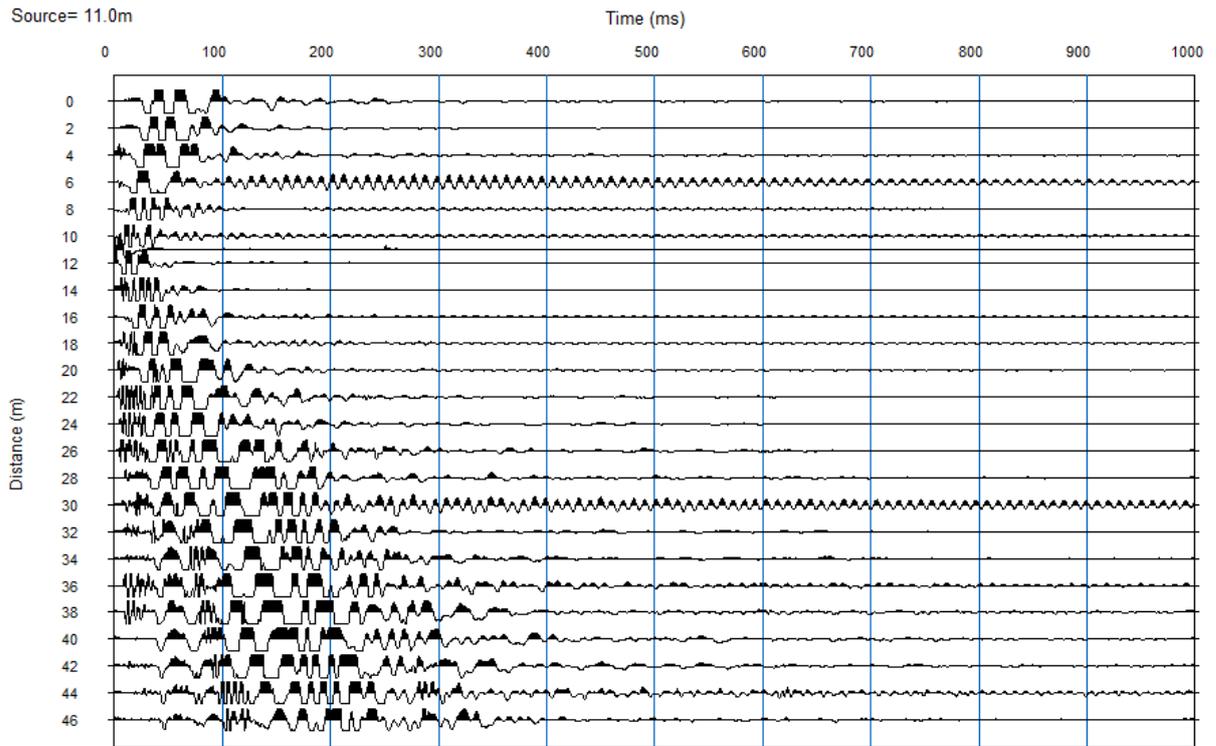


Figura 17. Registro sísmico de la línea LS-04-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

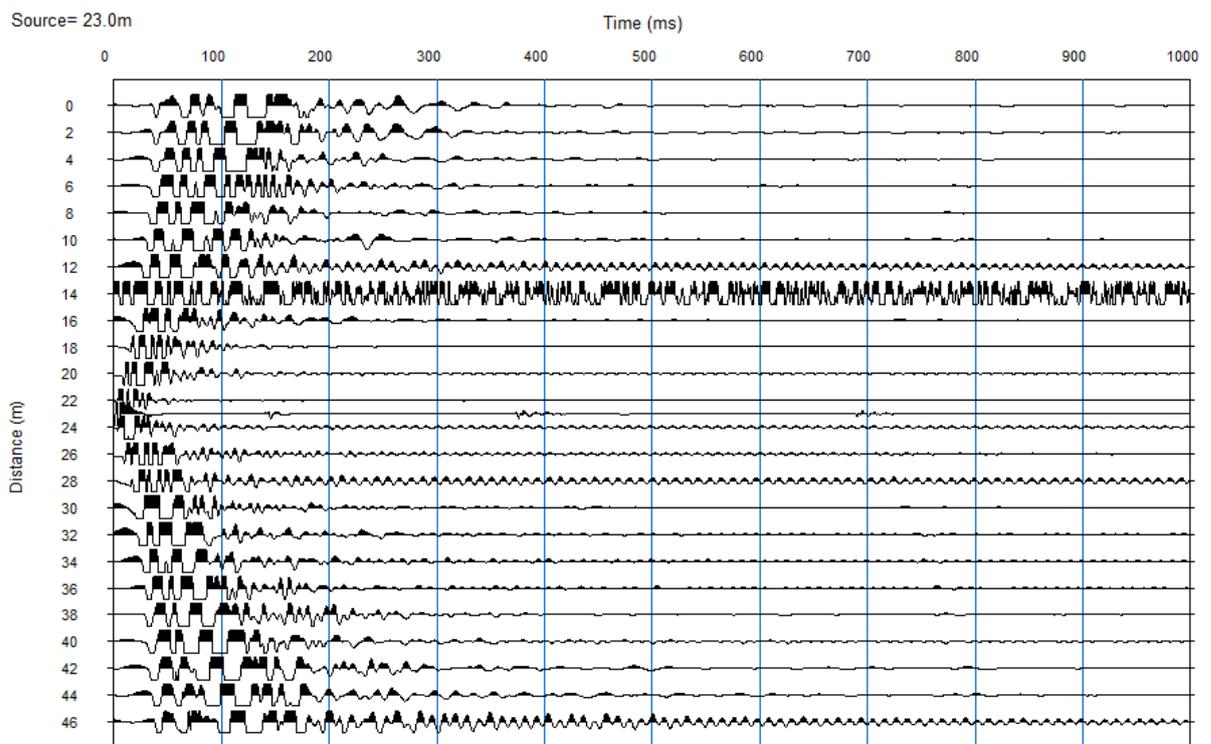


Figura 18. Registro sísmico de la línea LS-04-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

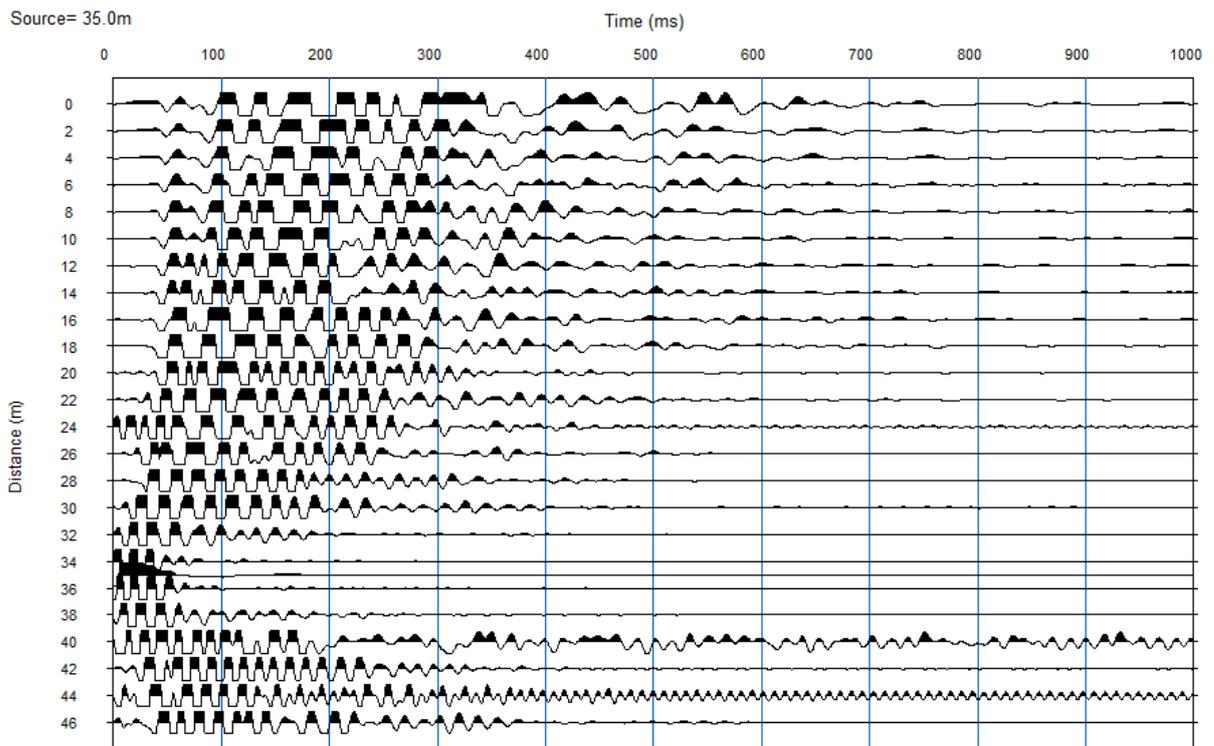


Figura 19. Registro sísmico de la línea LS-04-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

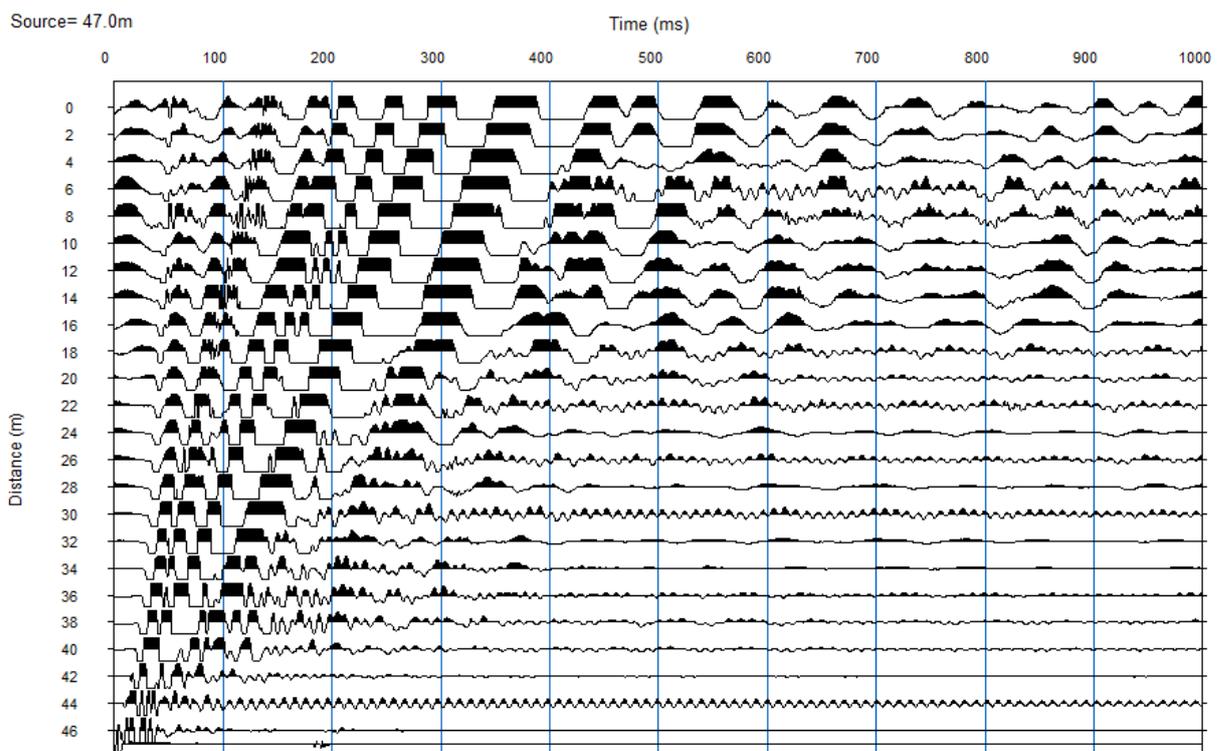


Figura 20. Registro sísmico de la línea LS-04-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

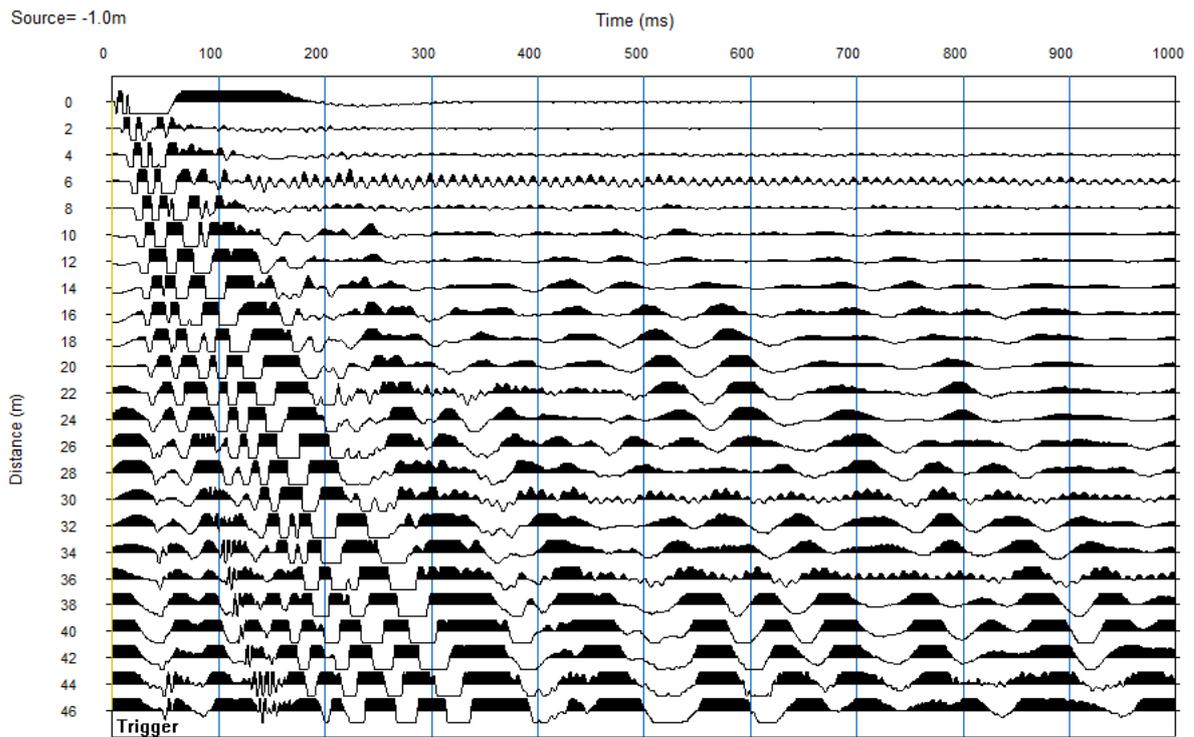


Figura 21. Registro sísmico de la línea LS-05-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

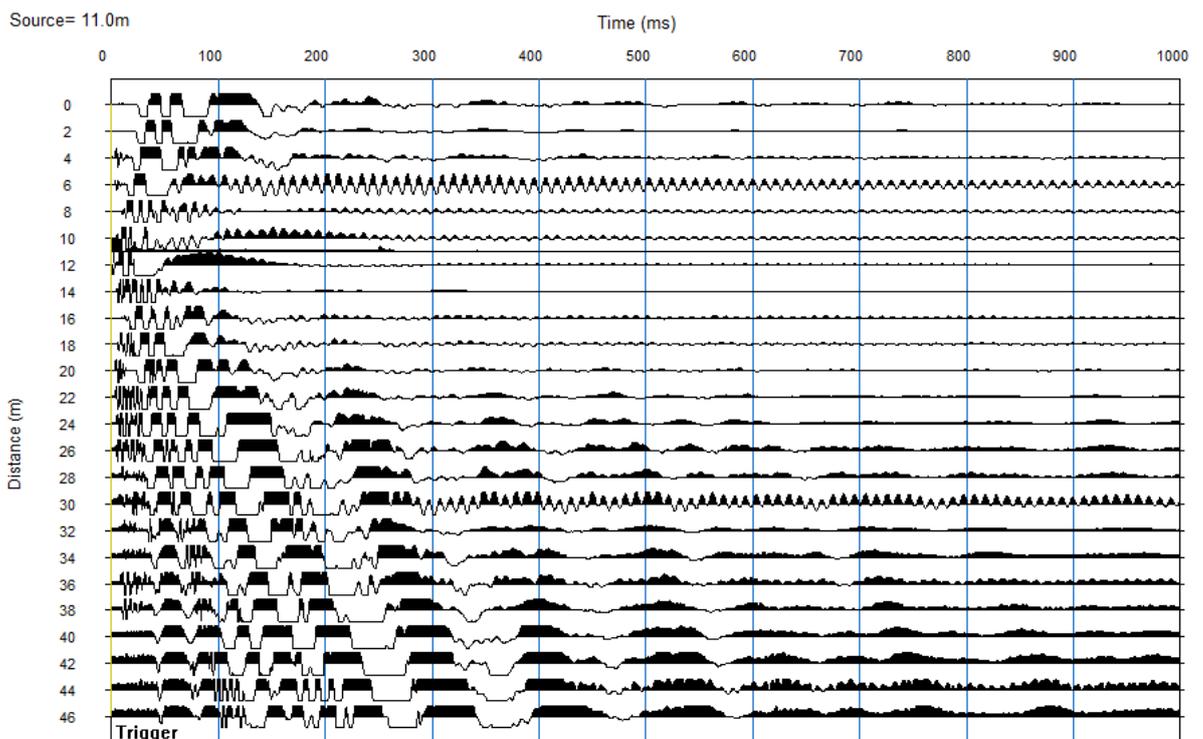


Figura 22. Registro sísmico de la línea LS-05-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

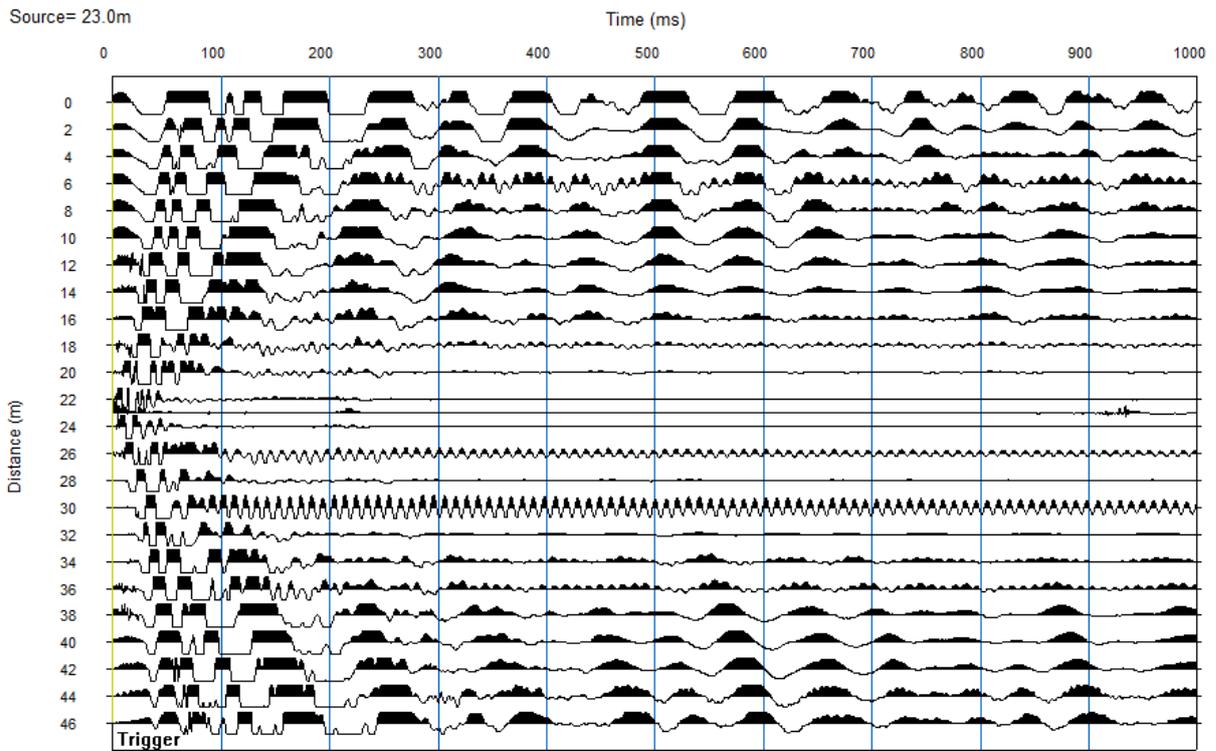


Figura 23. Registro sísmico de la línea LS-05-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

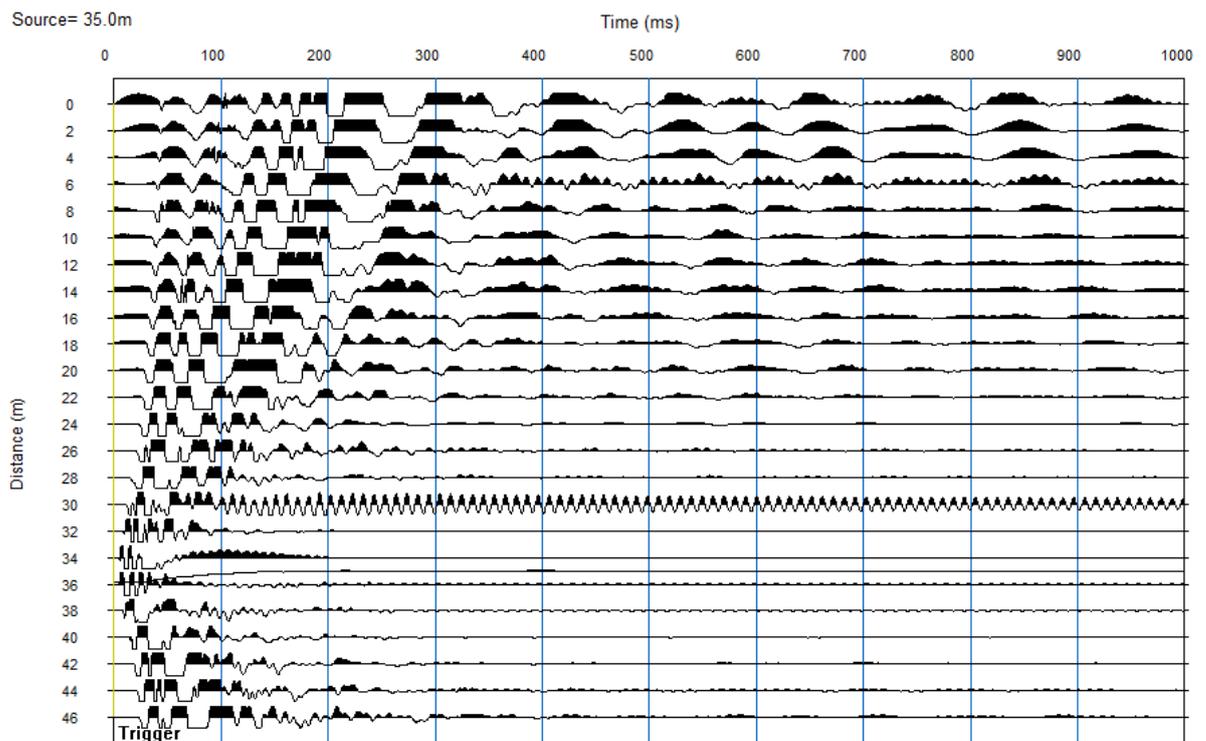


Figura 24. Registro sísmico de la línea LS-05-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

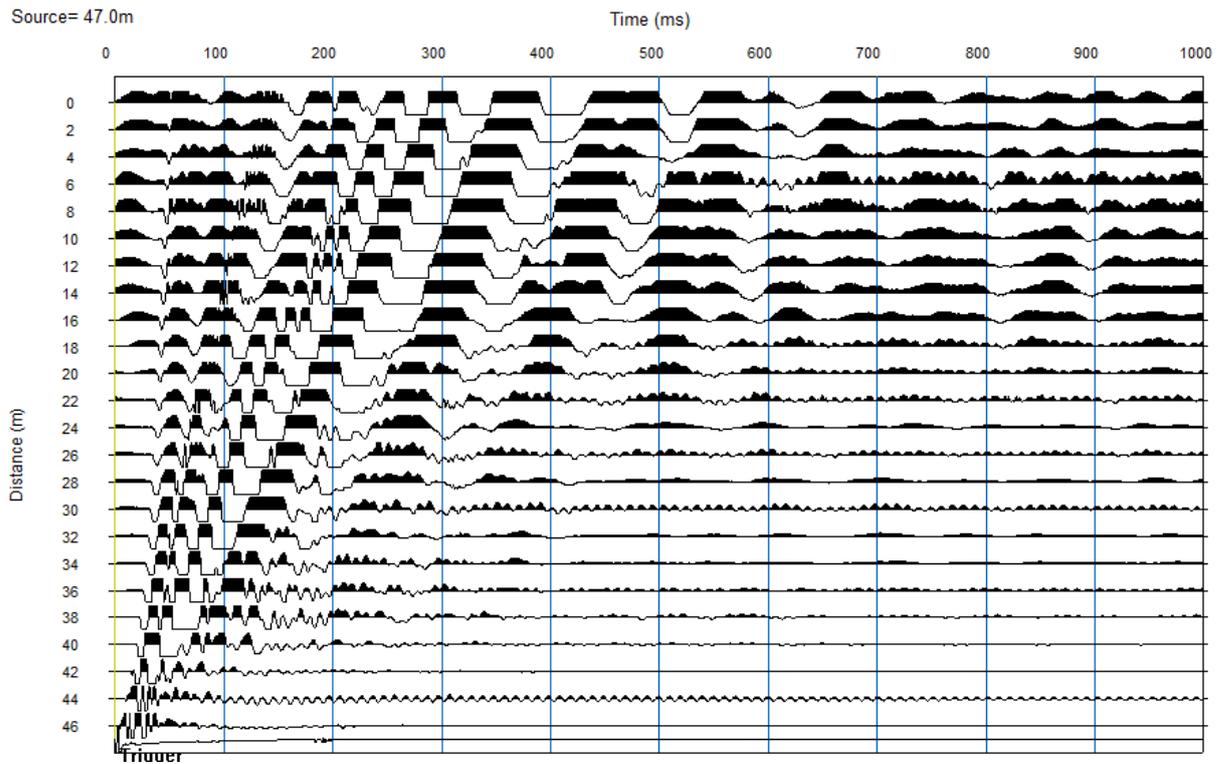


Figura 25. Registro sísmico de la línea LS-05-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

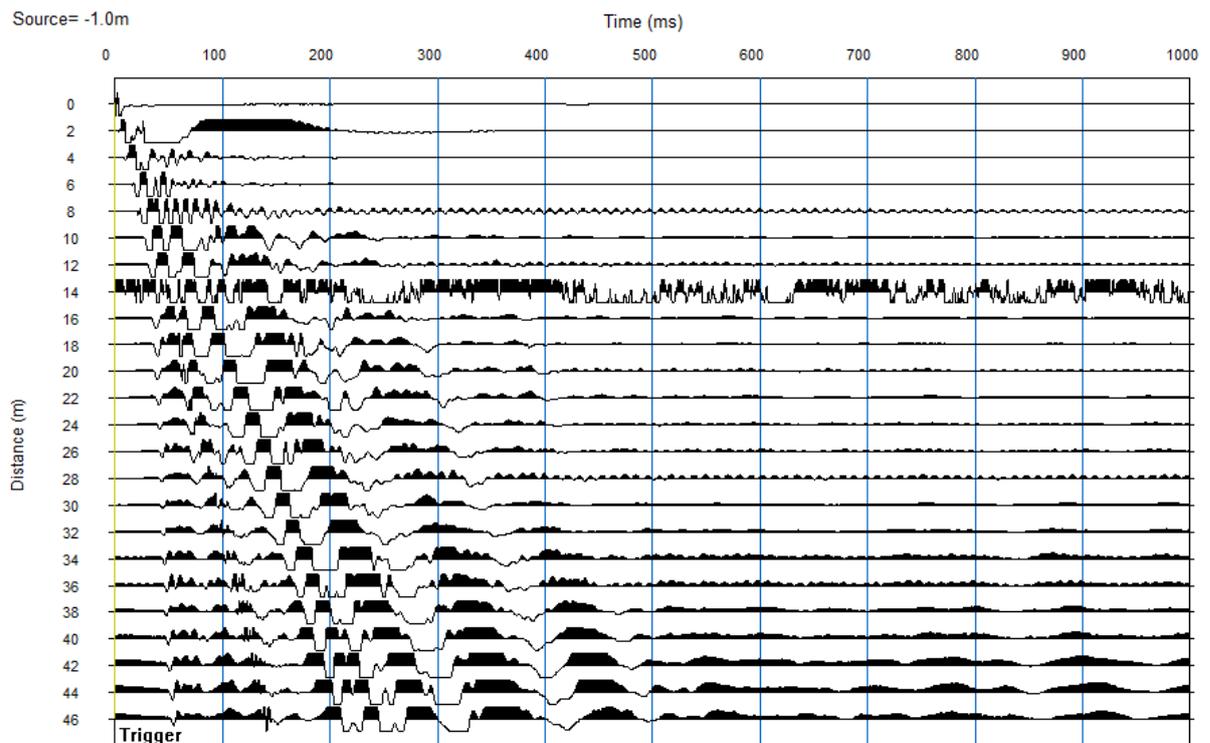


Figura 26. Registro sísmico de la línea LS-06-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

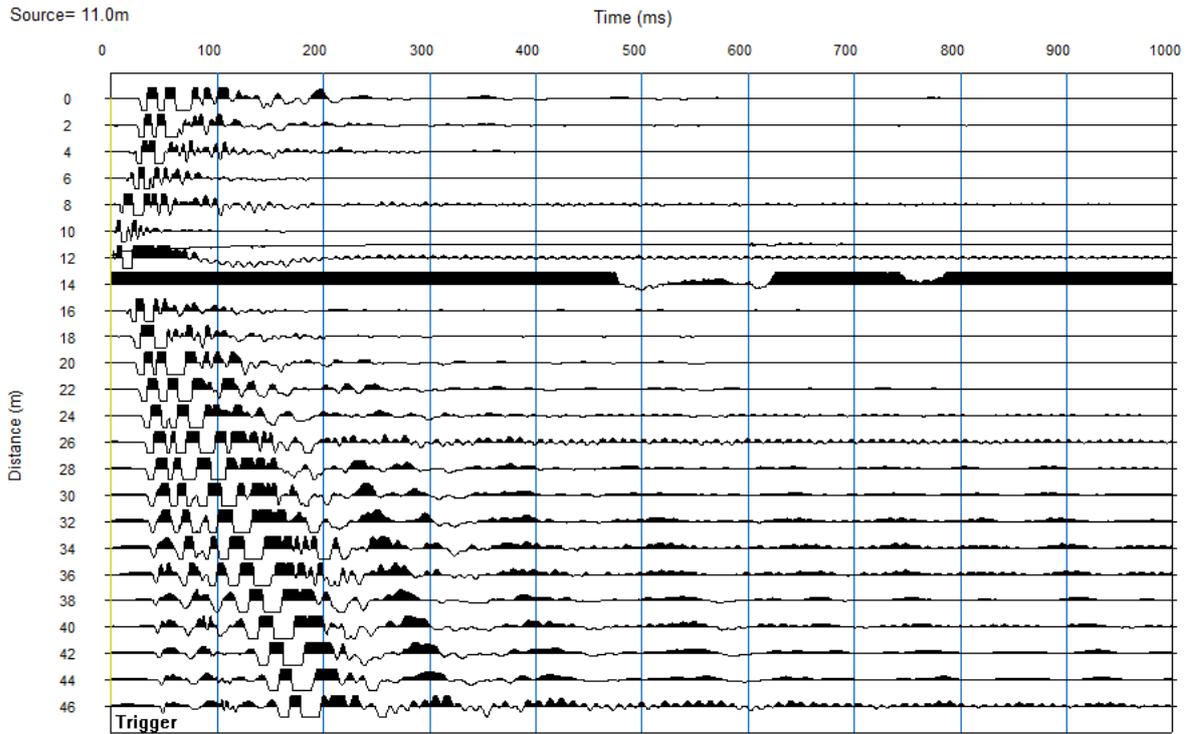


Figura 27. Registro sísmico de la línea LS-06-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

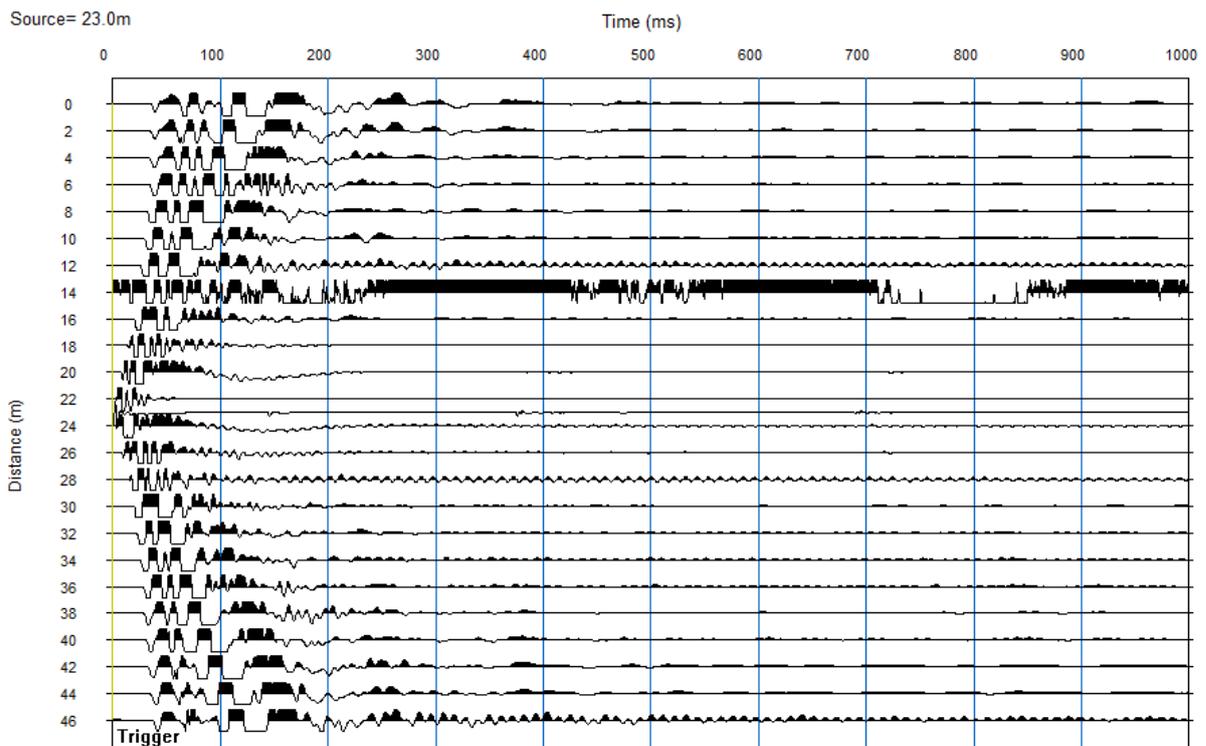


Figura 28. Registro sísmico de la línea LS-06-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

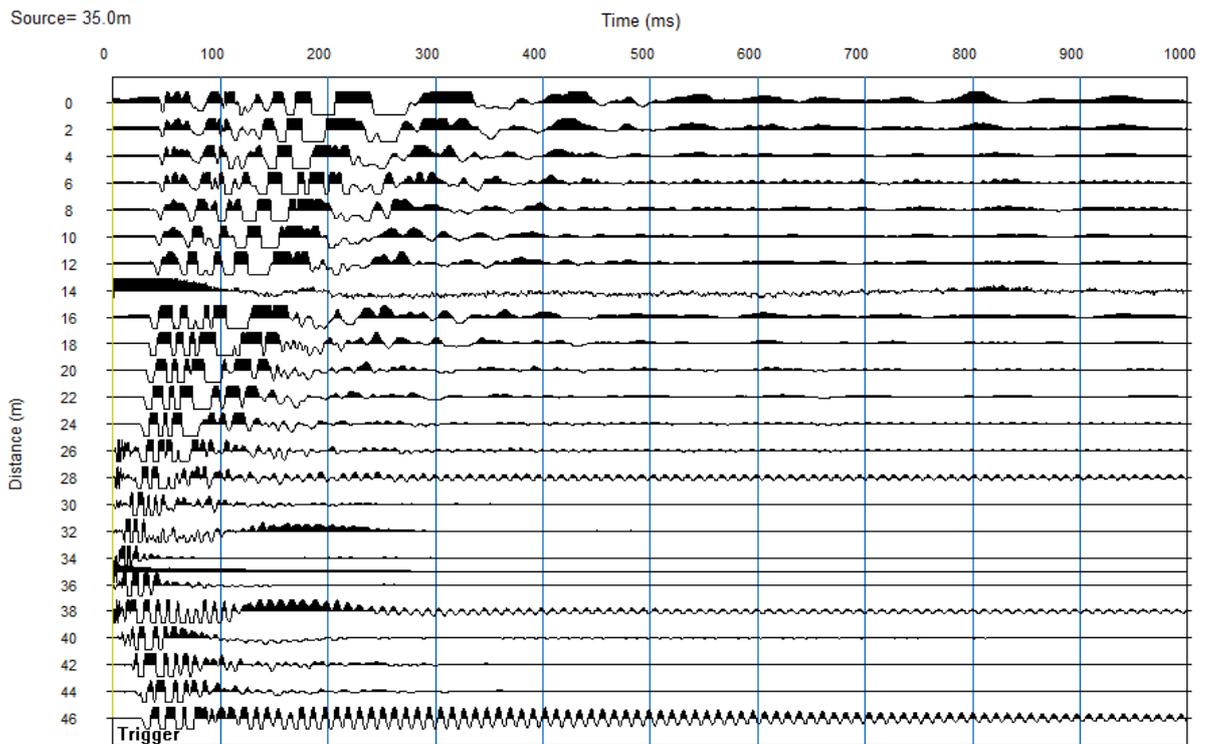


Figura 29. Registro sísmico de la línea LS-06-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

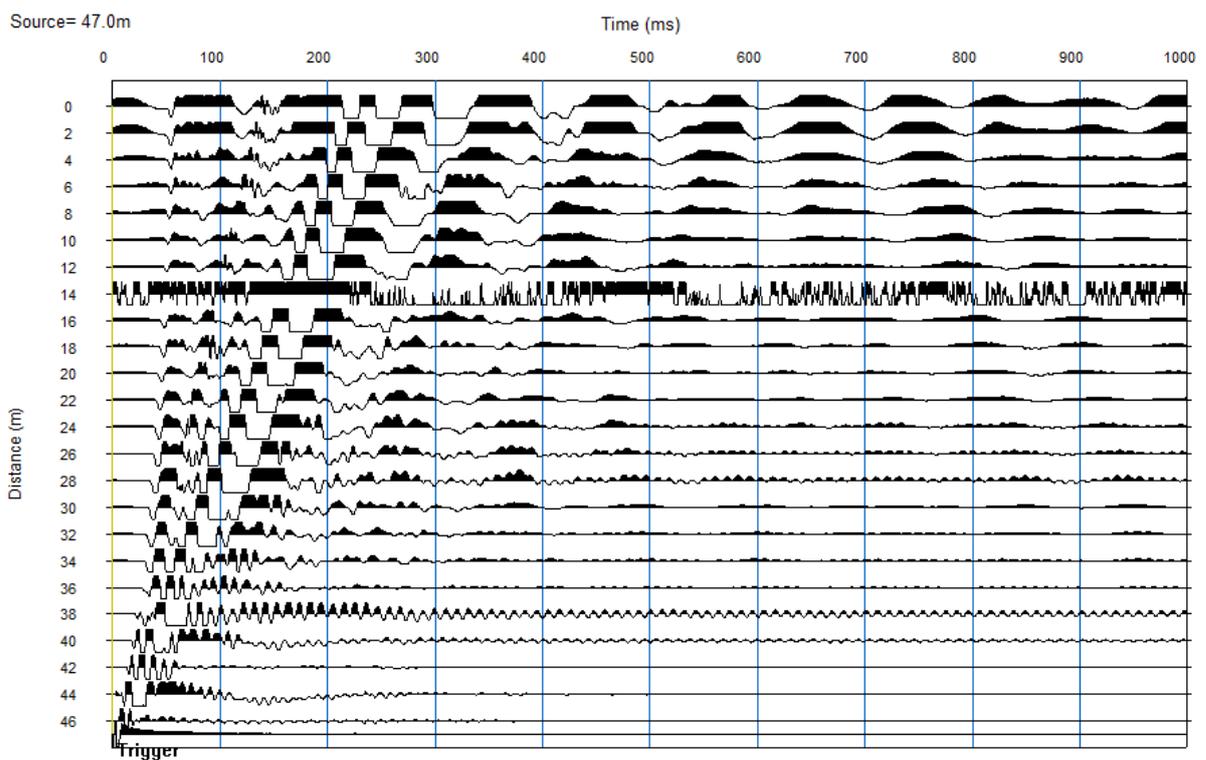


Figura 30. Registro sísmico de la línea LS-06-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

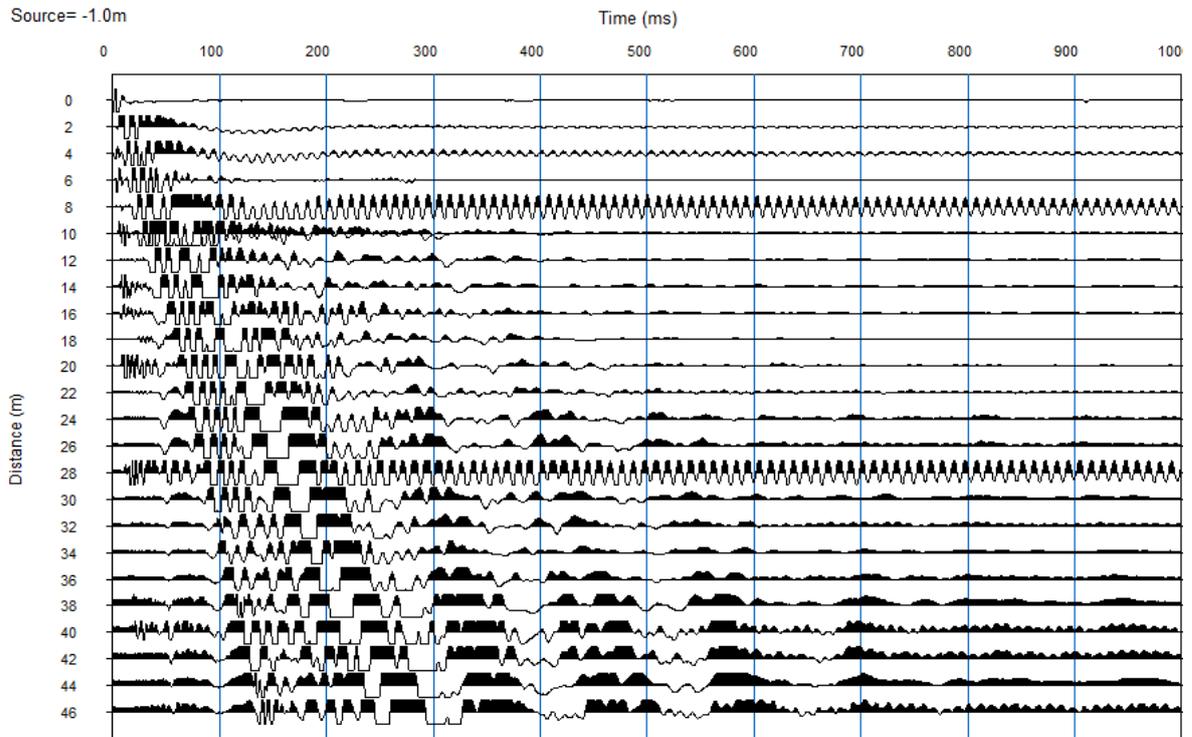


Figura 31. Registro sísmico de la línea LS-07-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

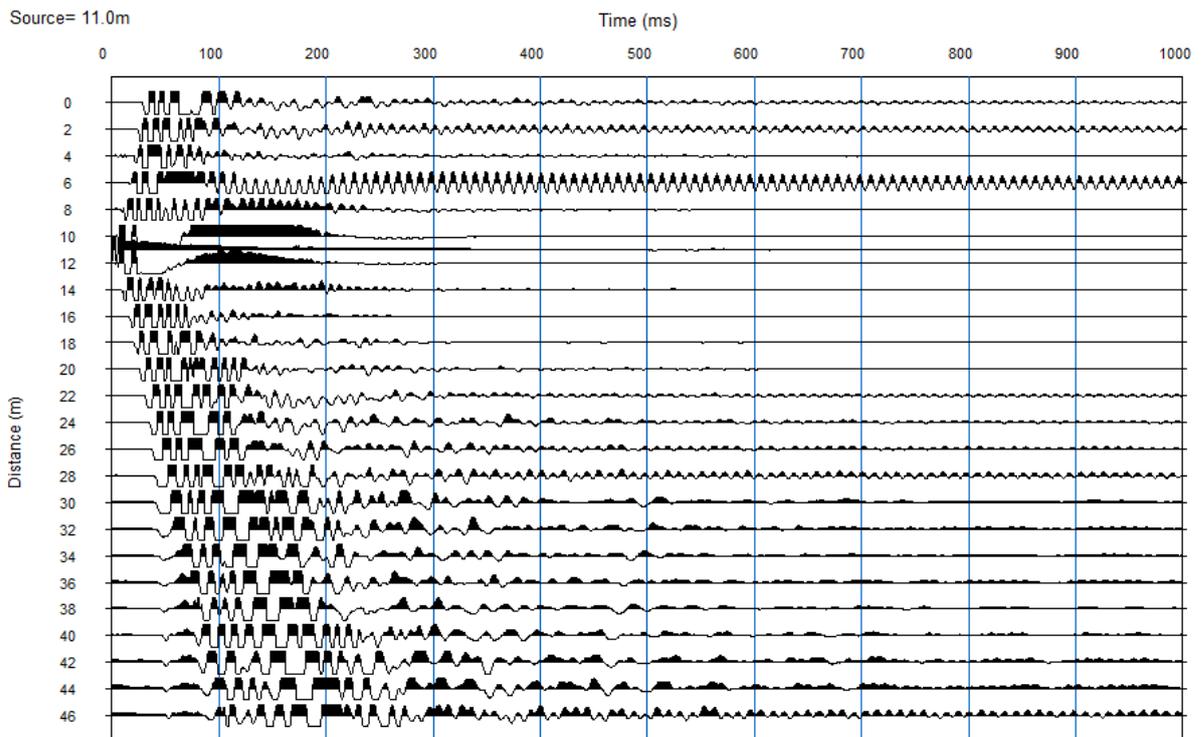


Figura 32. Registro sísmico de la línea LS-07-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

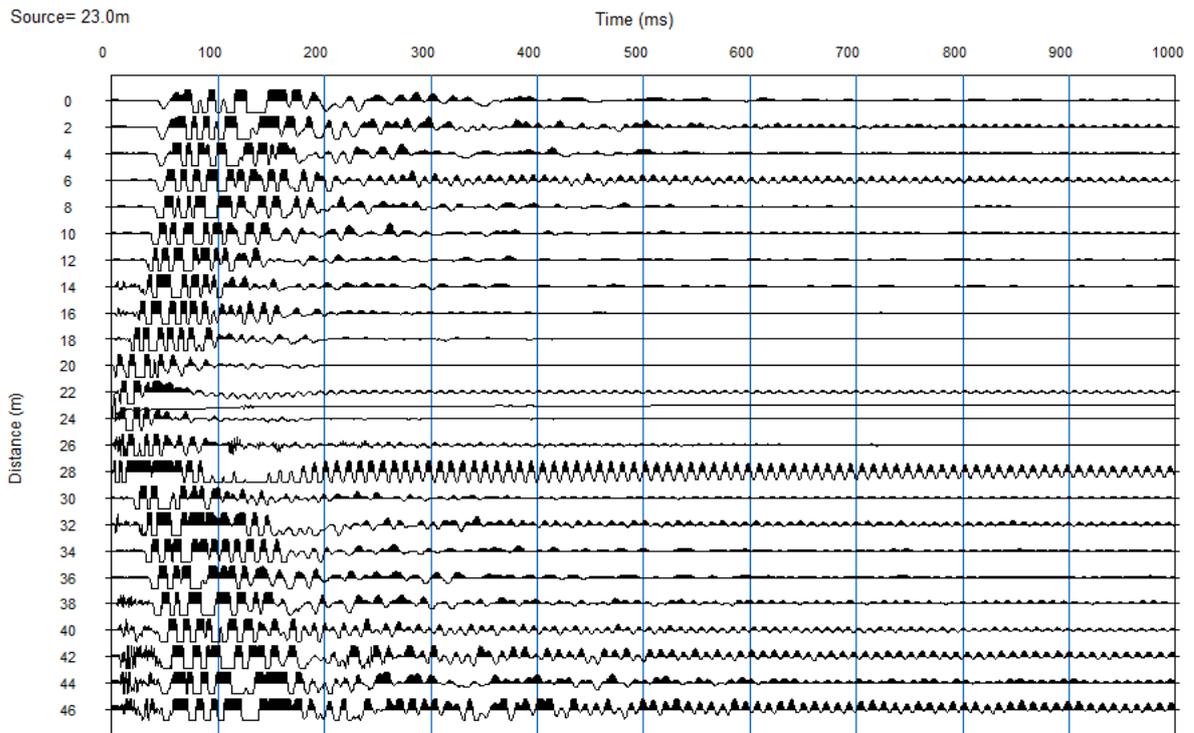


Figura 33. Registro sísmico de la línea LS-07-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

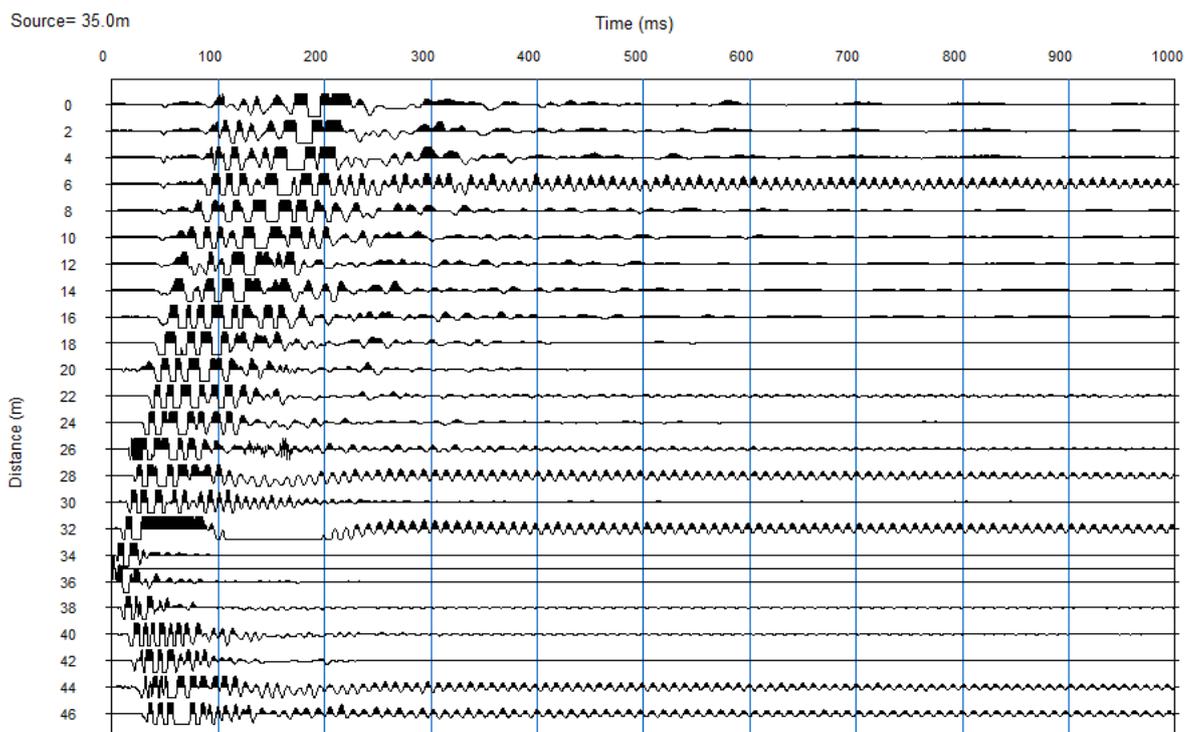


Figura 34. Registro sísmico de la línea LS-07-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

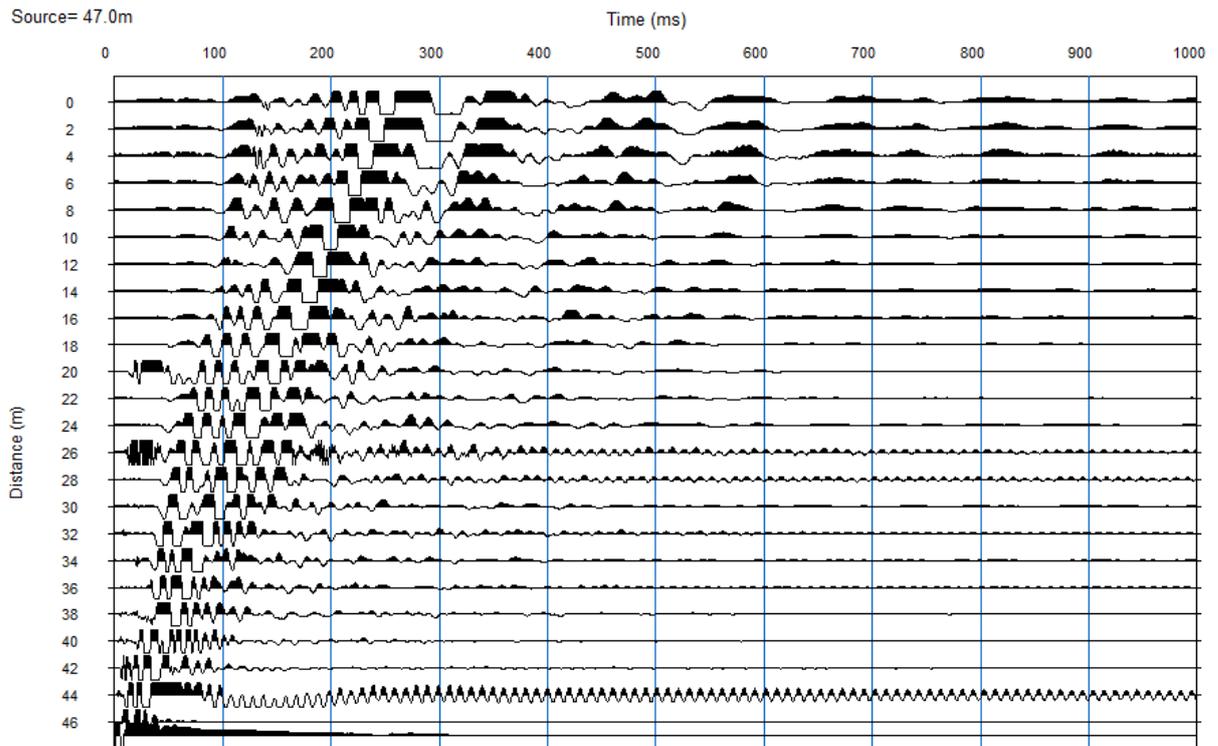


Figura 35. Registro sísmico de la línea LS-07-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

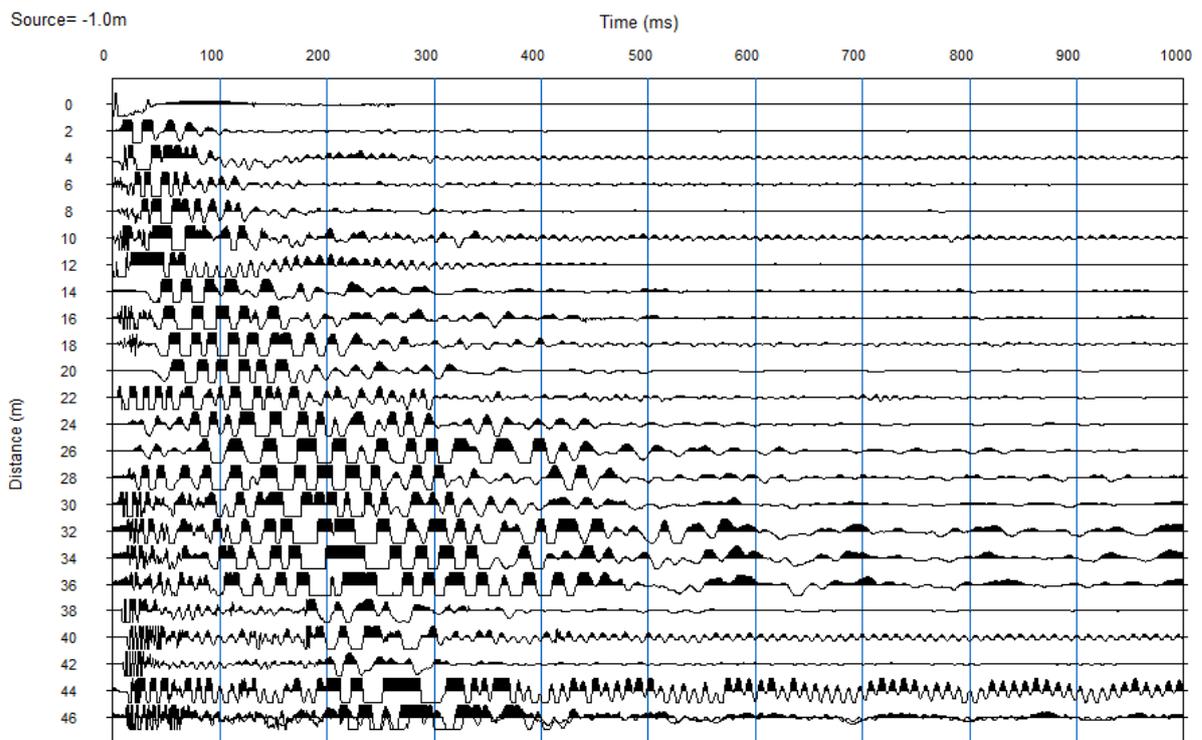


Figura 36. Registro sísmico de la línea LS-08-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

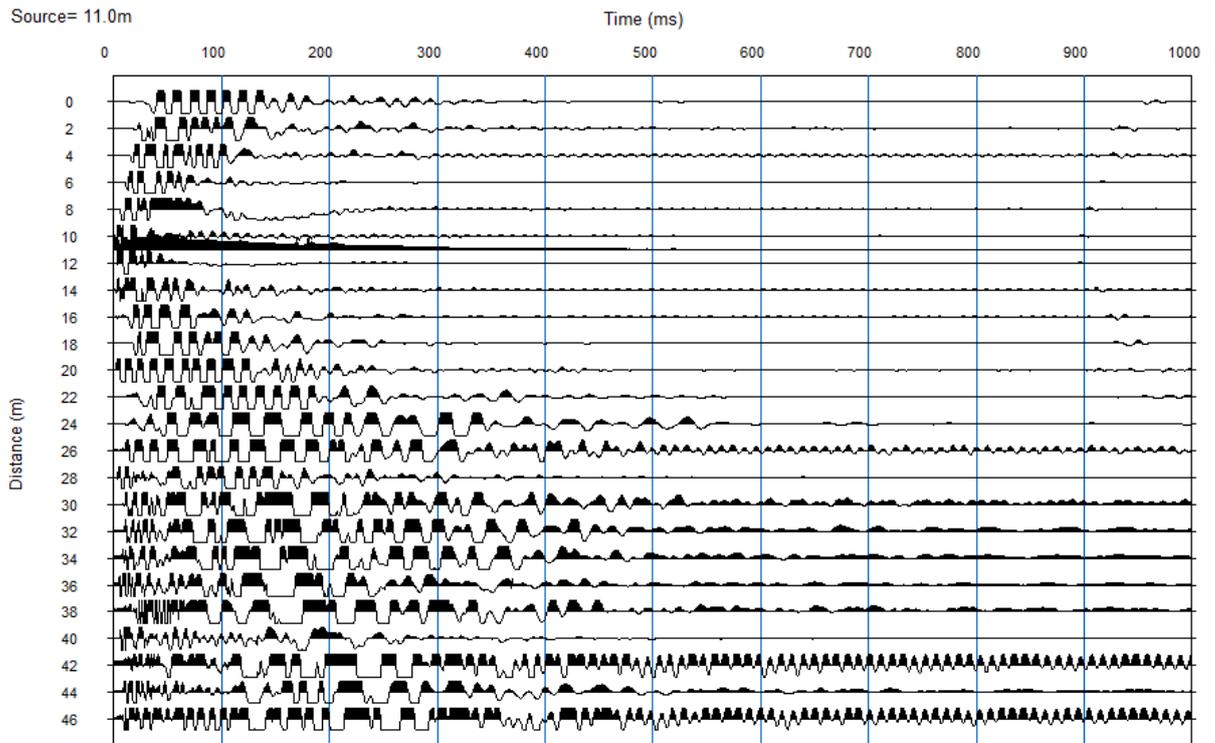


Figura 37. Registro sísmico de la línea LS-08-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

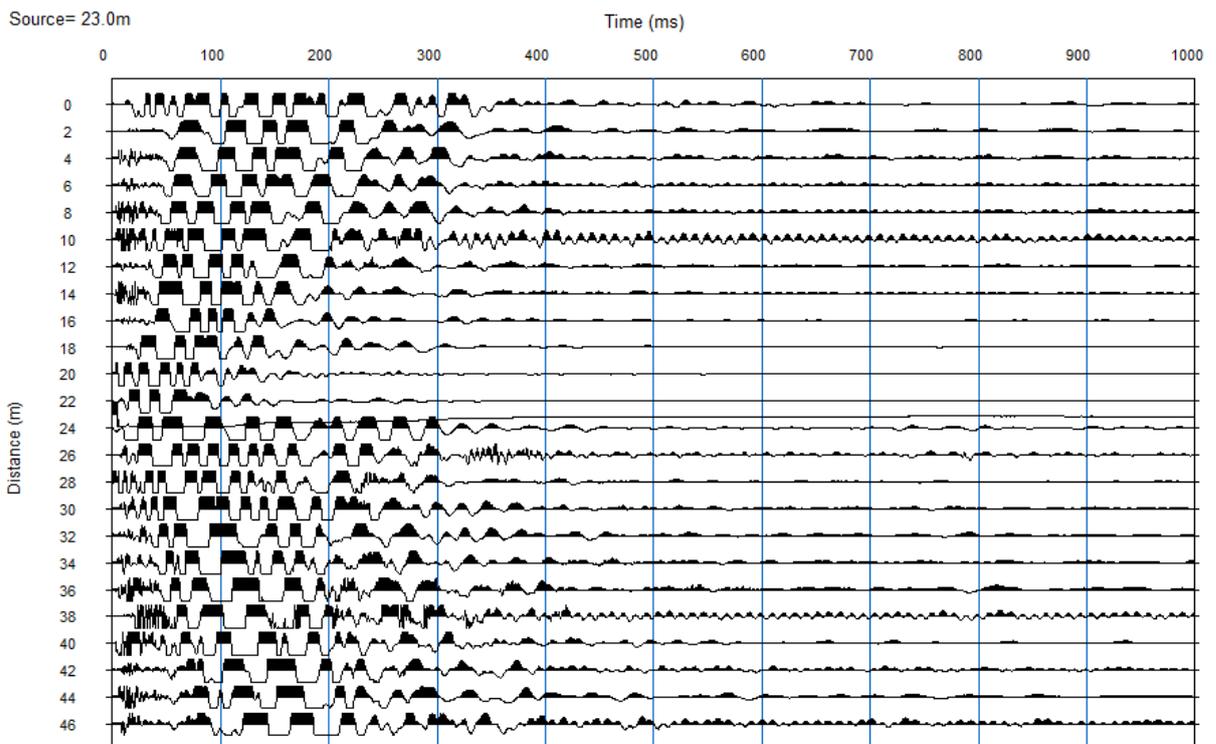


Figura 38. Registro sísmico de la línea LS-08-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

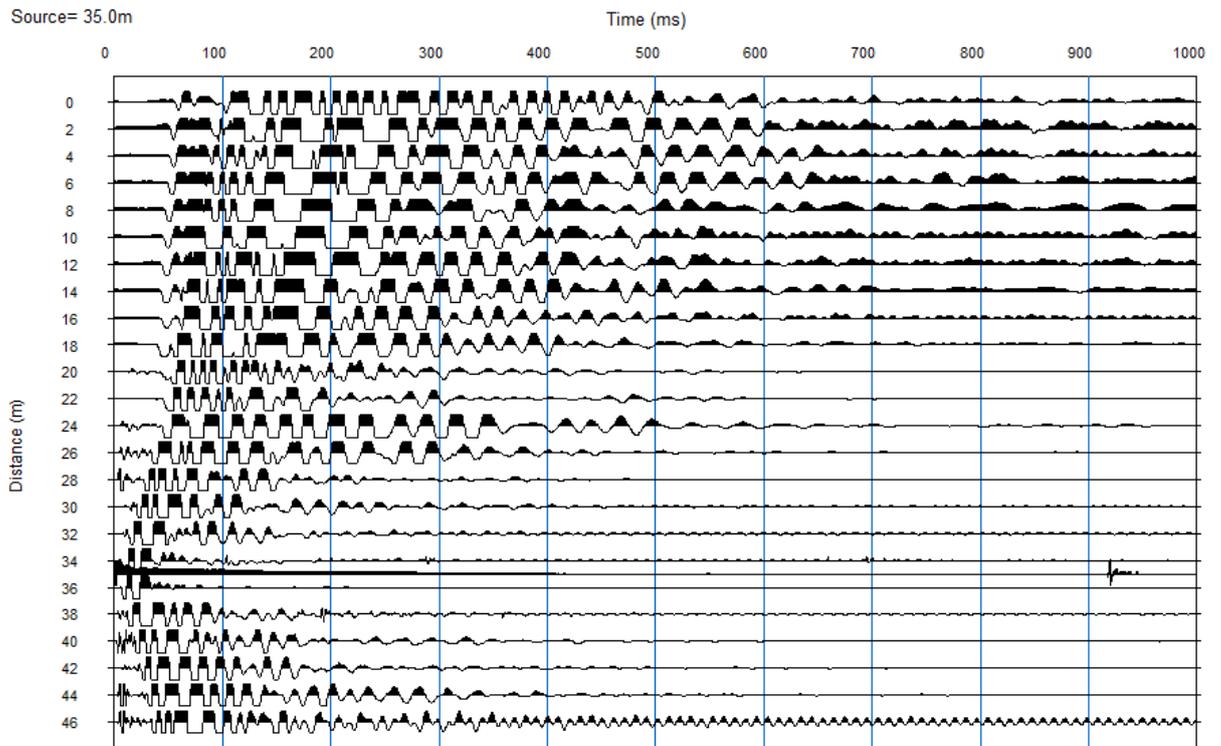


Figura 39. Registro sísmico de la línea LS-08-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

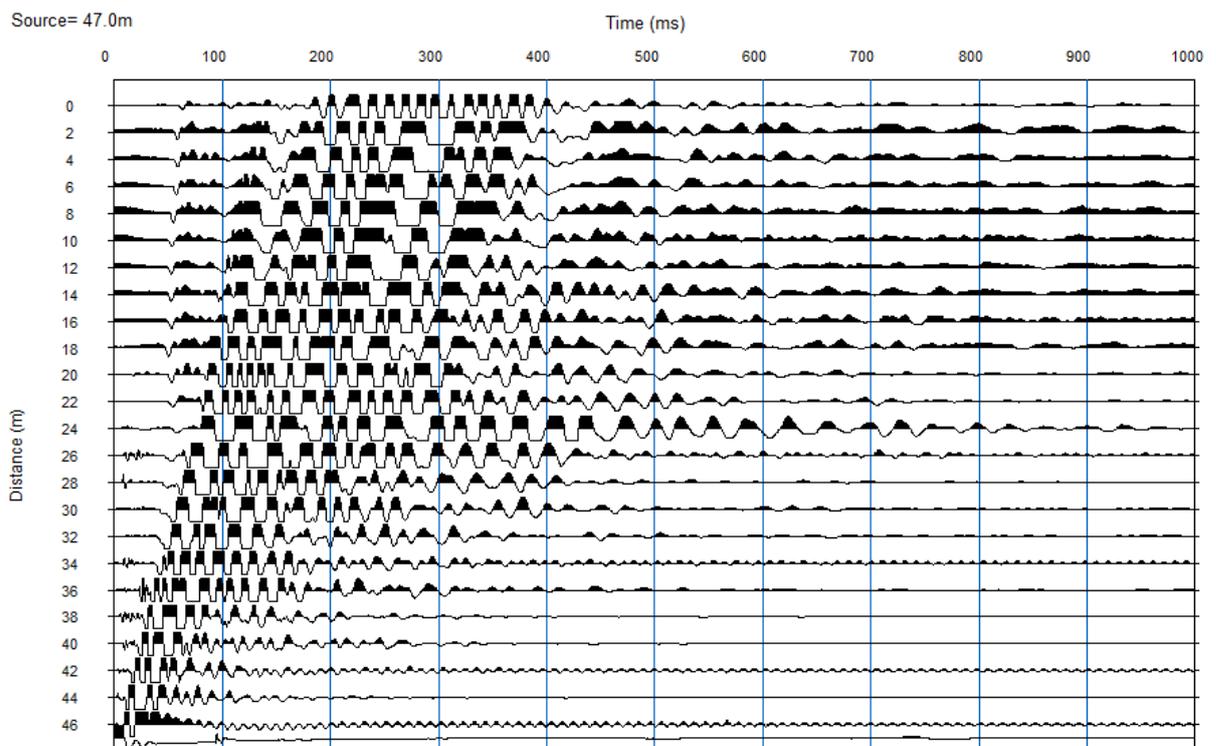


Figura 40. Registro sísmico de la línea LS-08-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

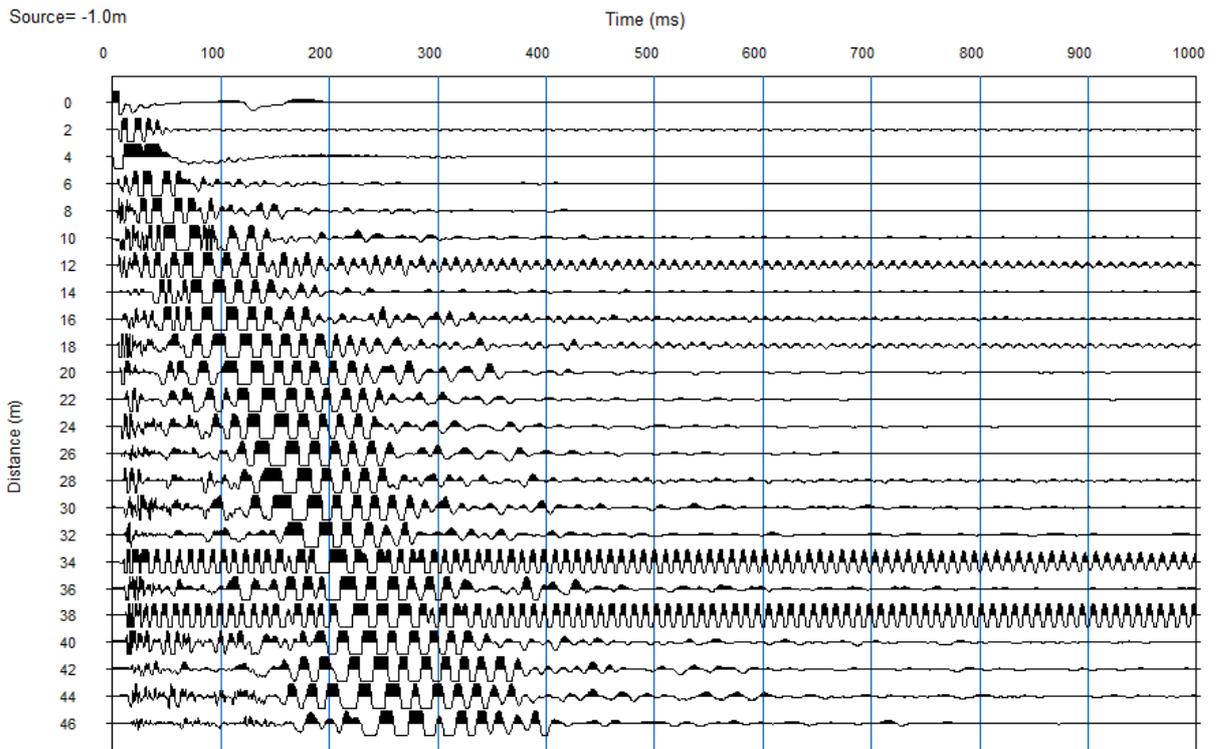


Figura 41. Registro sísmico de la línea LS-09-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

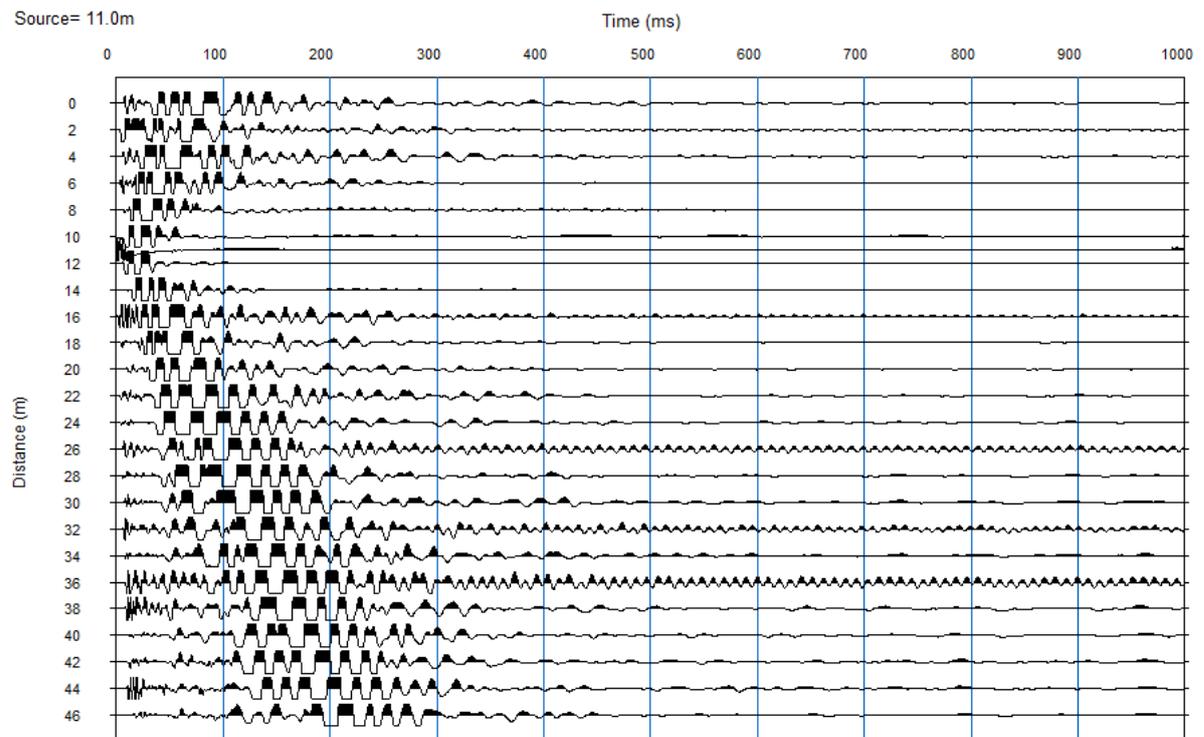


Figura 42. Registro sísmico de la línea LS-09-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

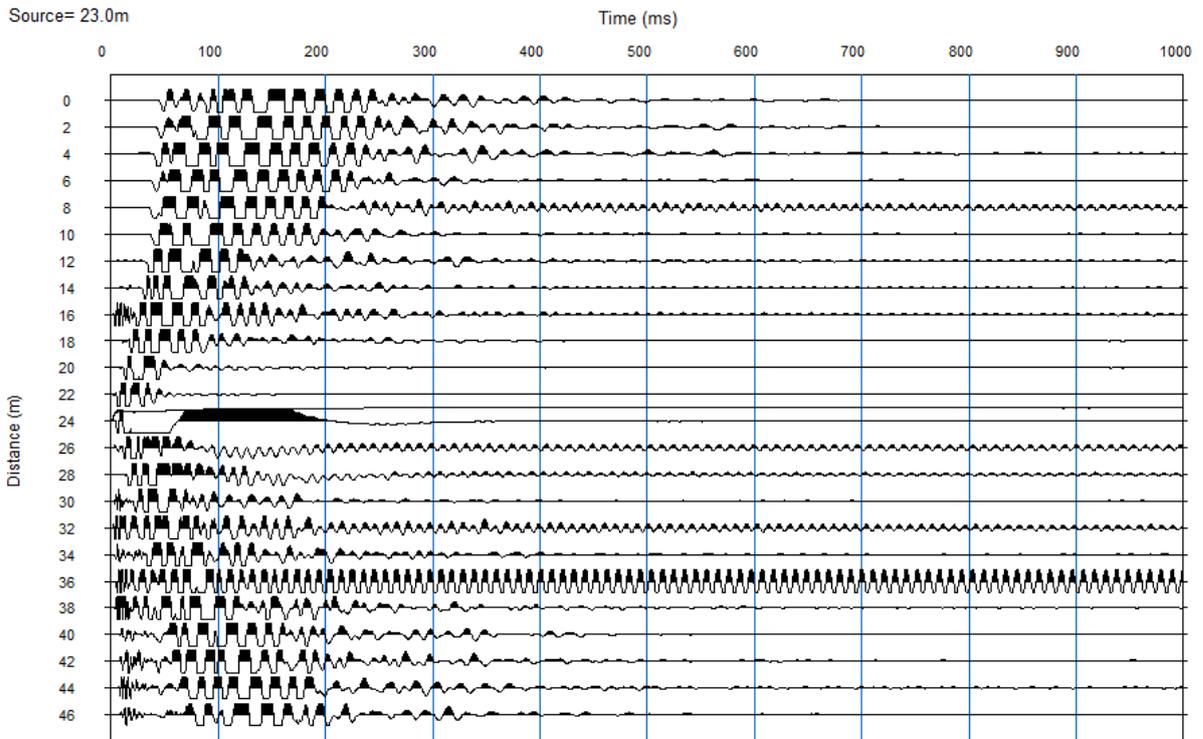


Figura 43. Registro sísmico de la línea LS-09-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

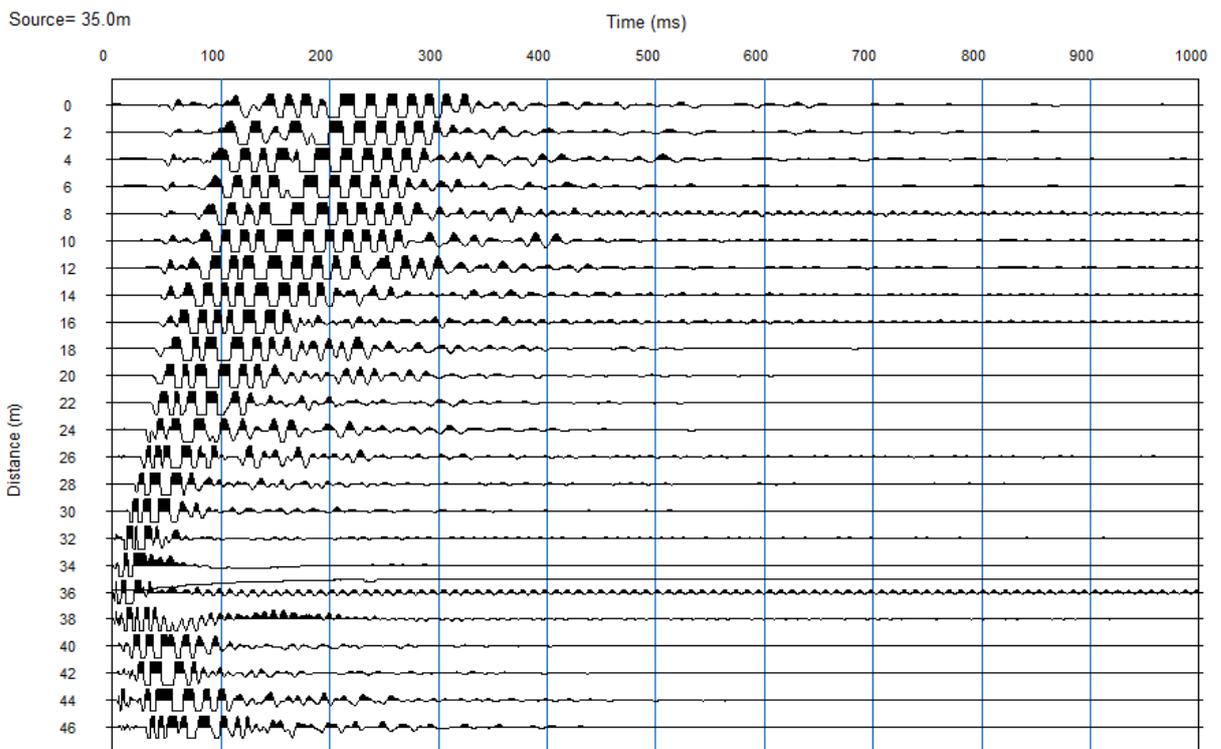


Figura 44. Registro sísmico de la línea LS-09-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

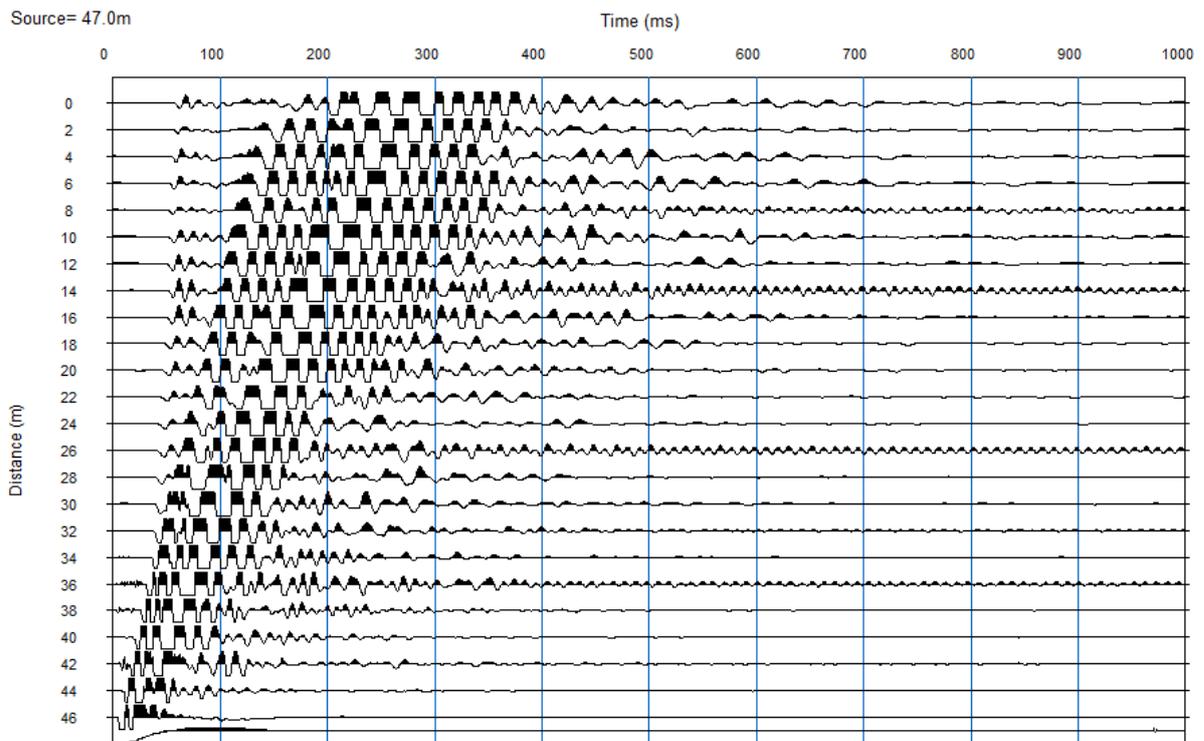


Figura 45. Registro sísmico de la línea LS-09-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

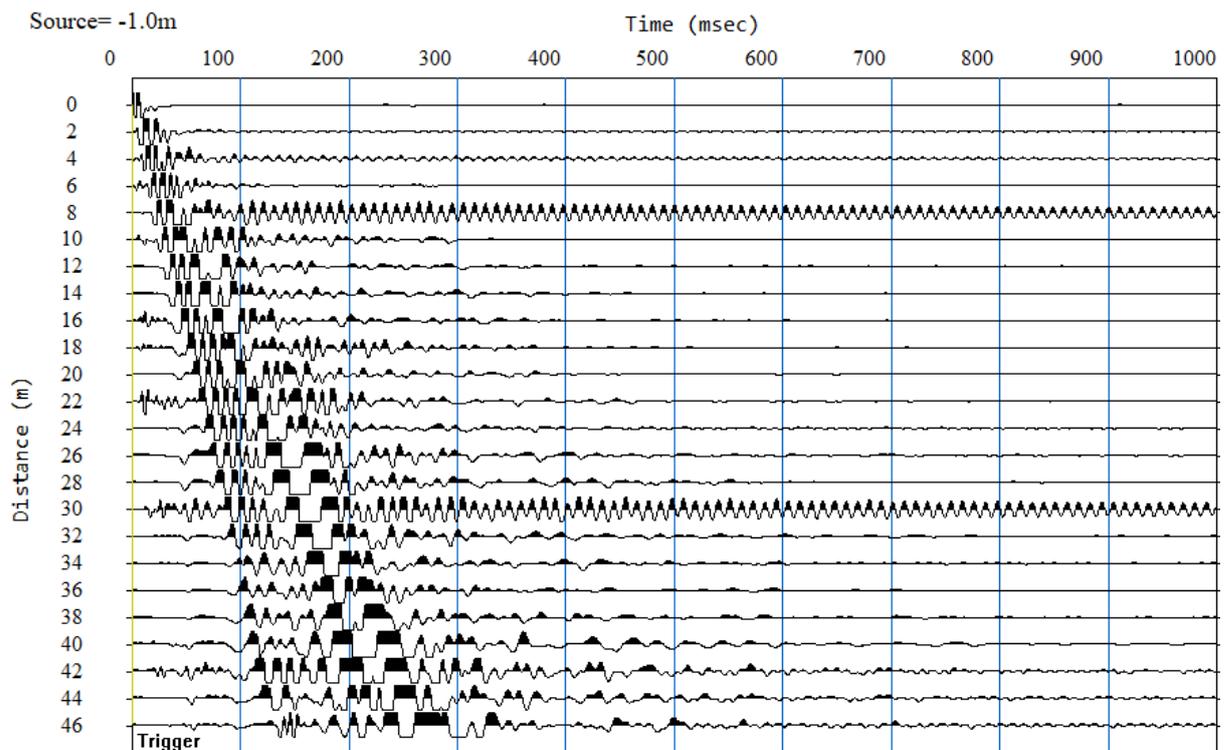


Figura 46. Registro sísmico de la línea LS-10-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

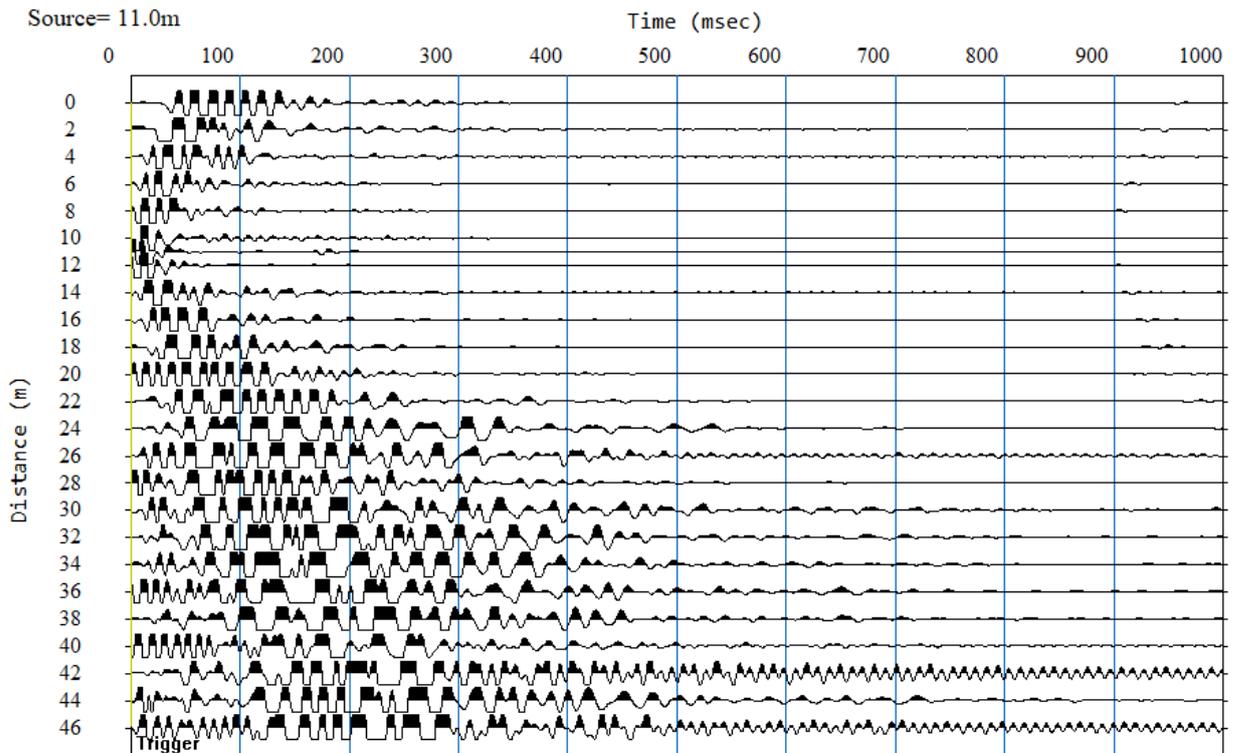


Figura 47. Registro sísmico de la línea LS-10-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

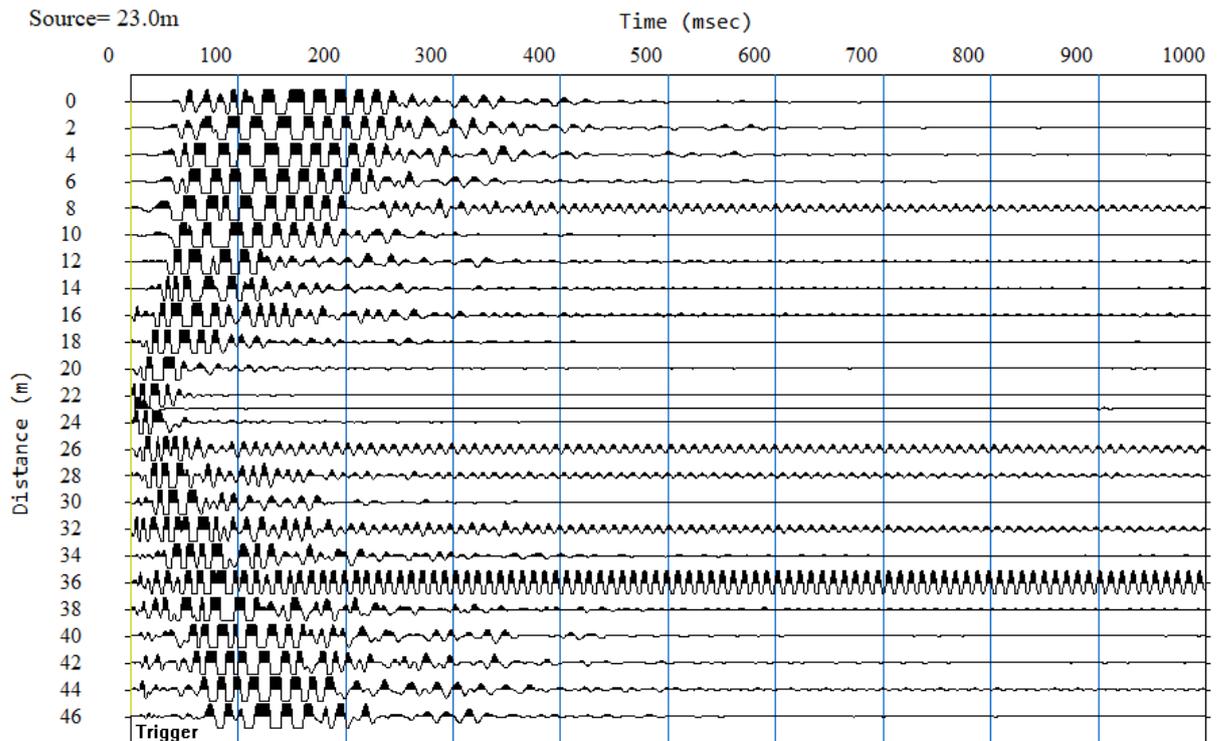


Figura 48. Registro sísmico de la línea LS-10-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

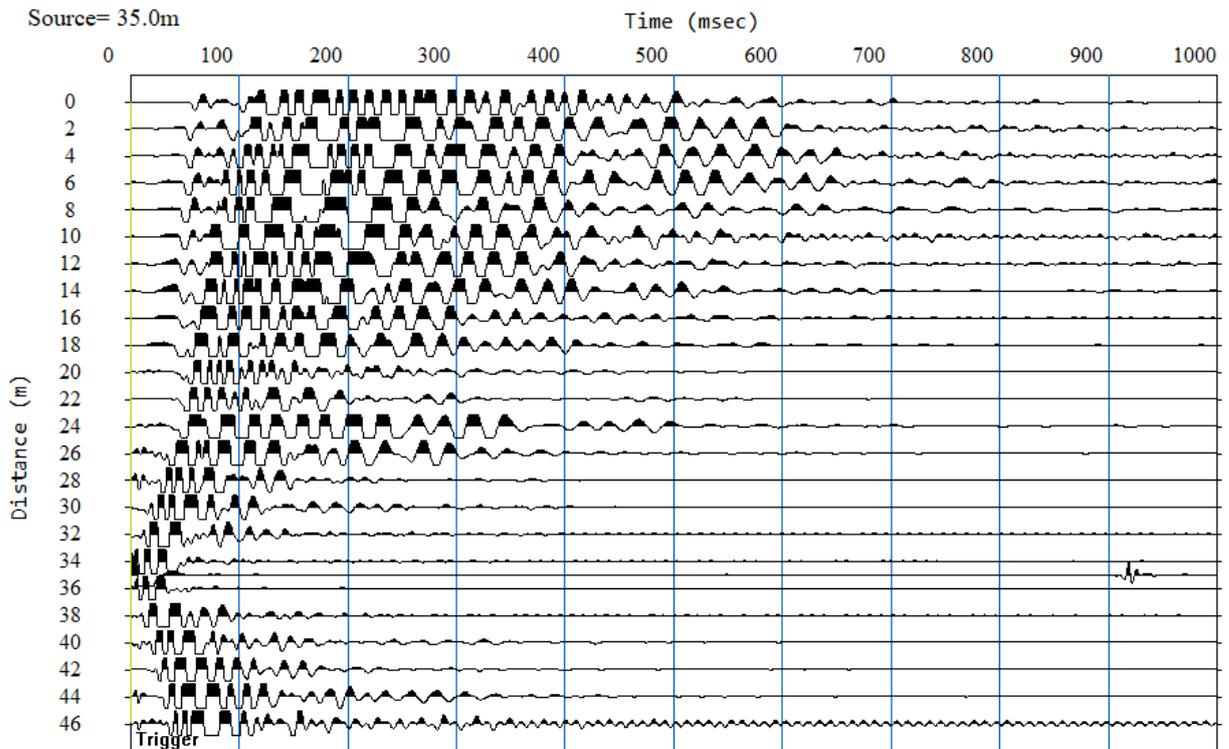


Figura 49. Registro sísmico de la línea LS-10-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

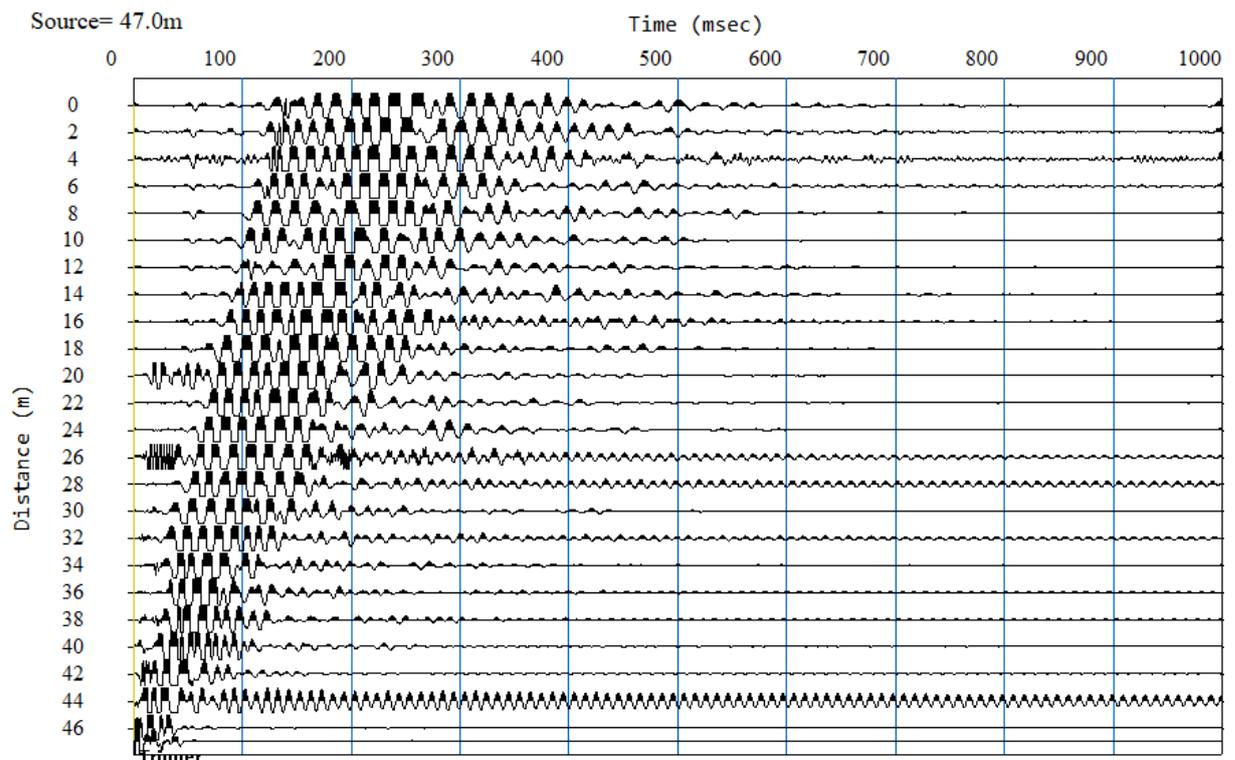


Figura 50. Registro sísmico de la línea LS-10-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

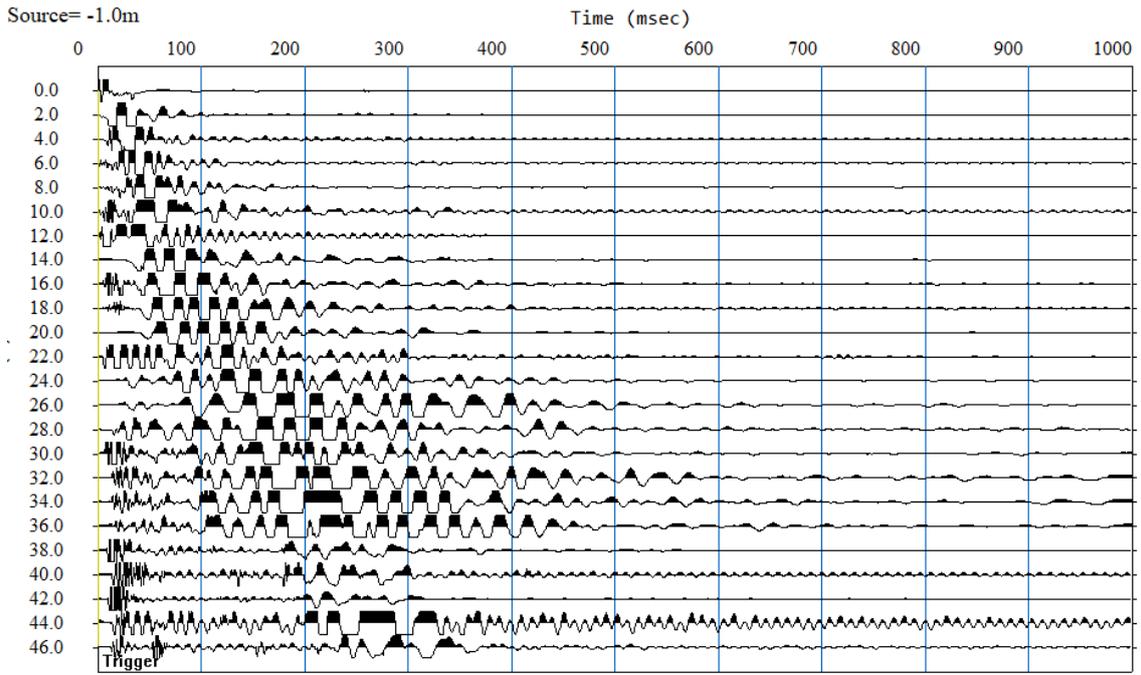


Figura 51. Registro sísmico de la línea LS-11-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

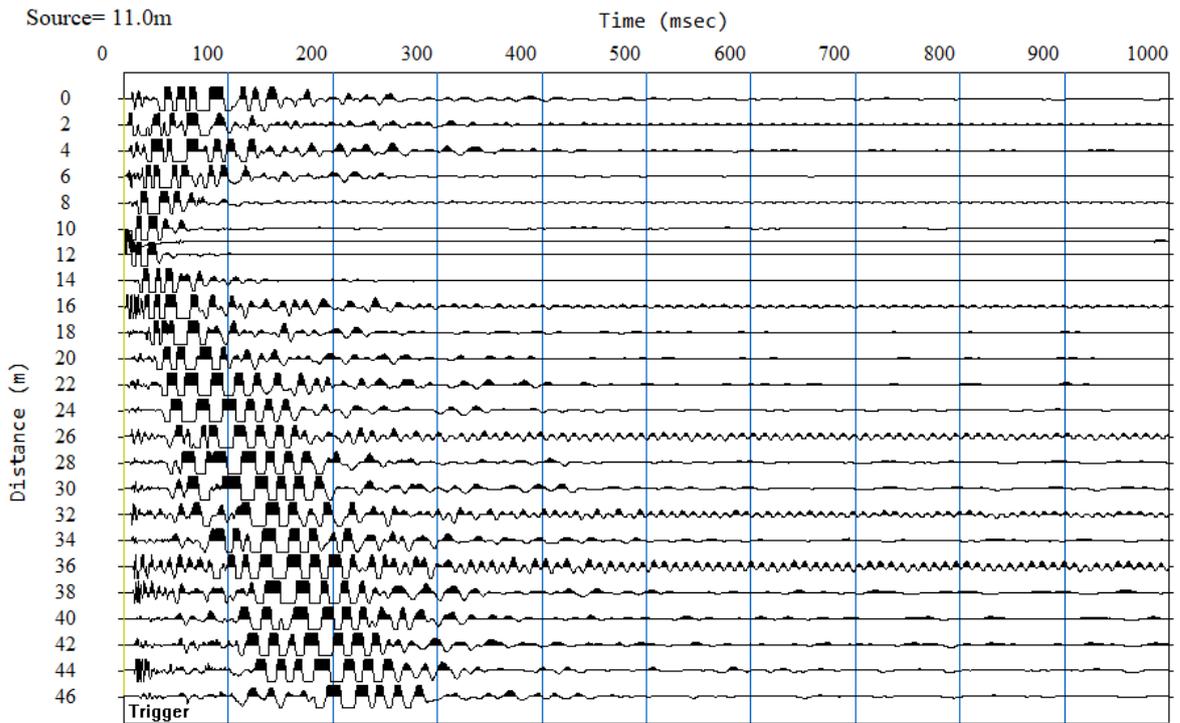


Figura 52. Registro sísmico de la línea LS-11-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

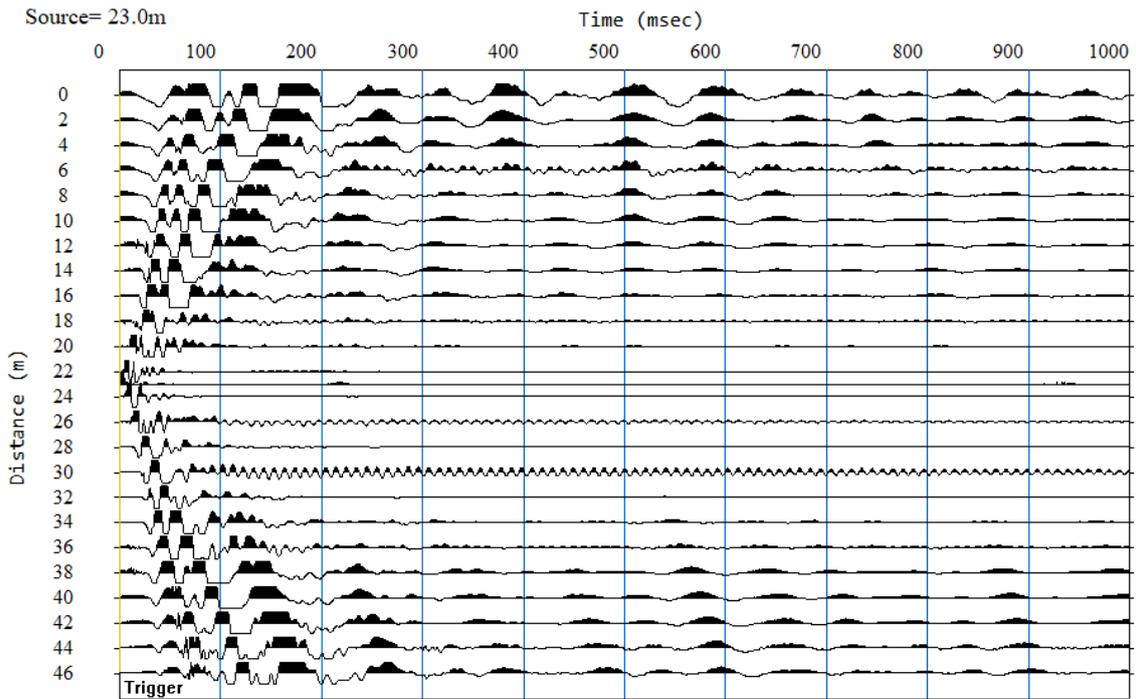


Figura 53. Registro sísmico de la línea LS-11-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

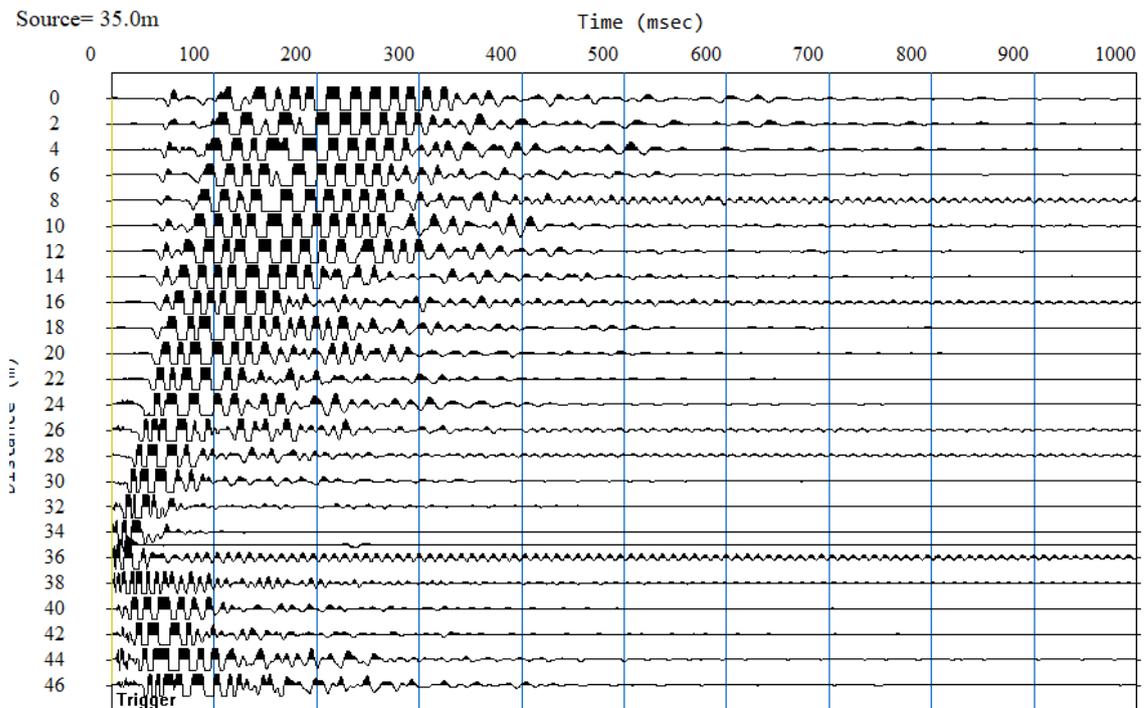


Figura 54. Registro sísmico de la línea LS-11-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

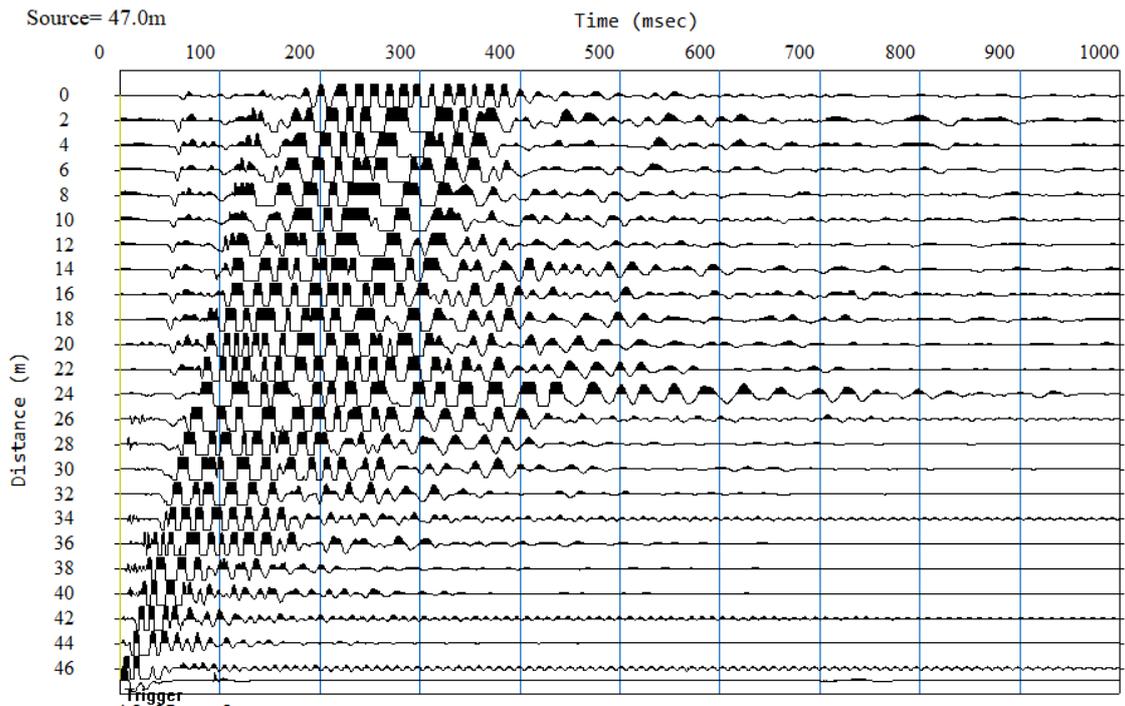


Figura 55. Registro sísmico de la línea LS-11-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

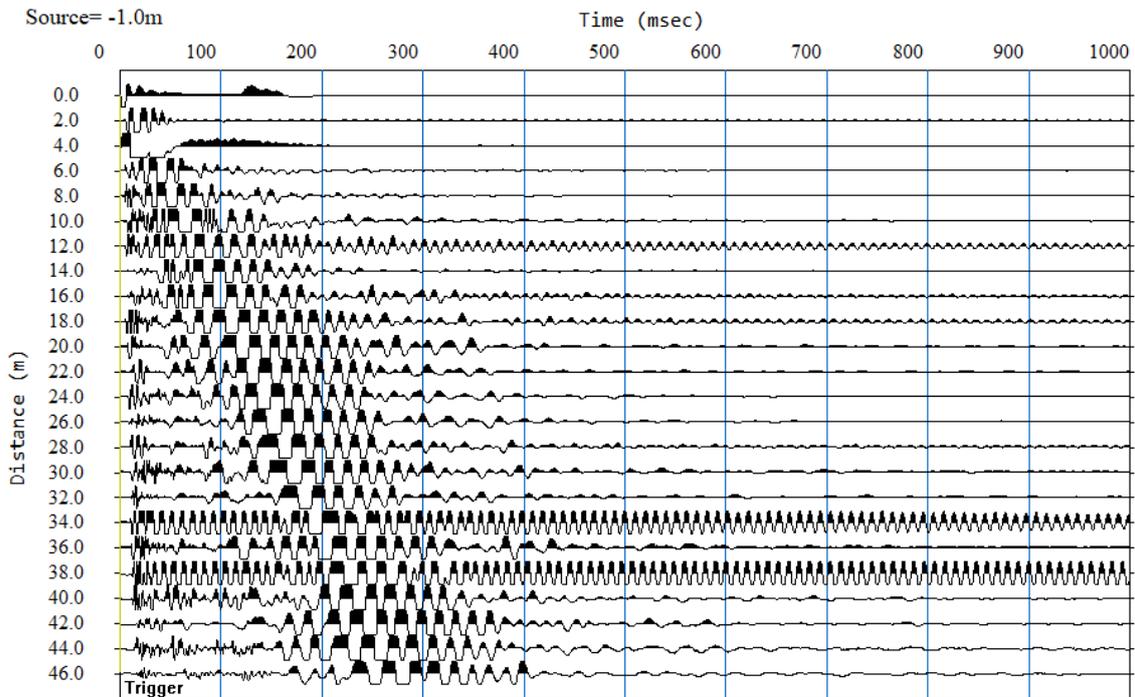


Figura 56. Registro sísmico de la línea LS-12-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

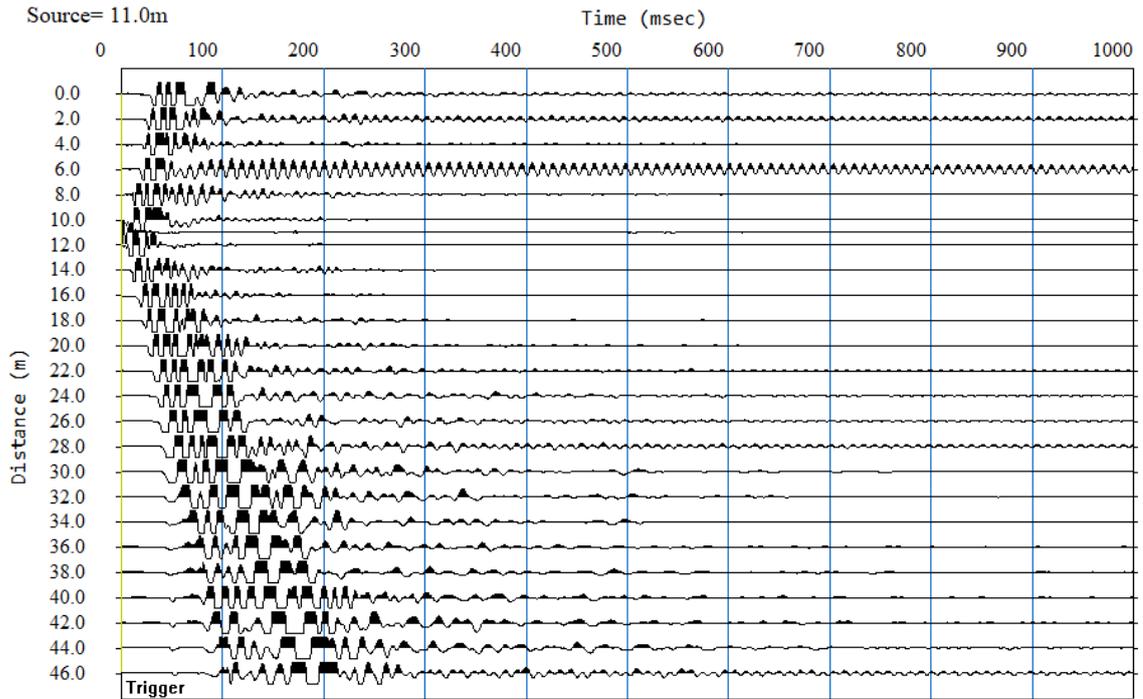


Figura 57. Registro sísmico de la línea LS-12-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

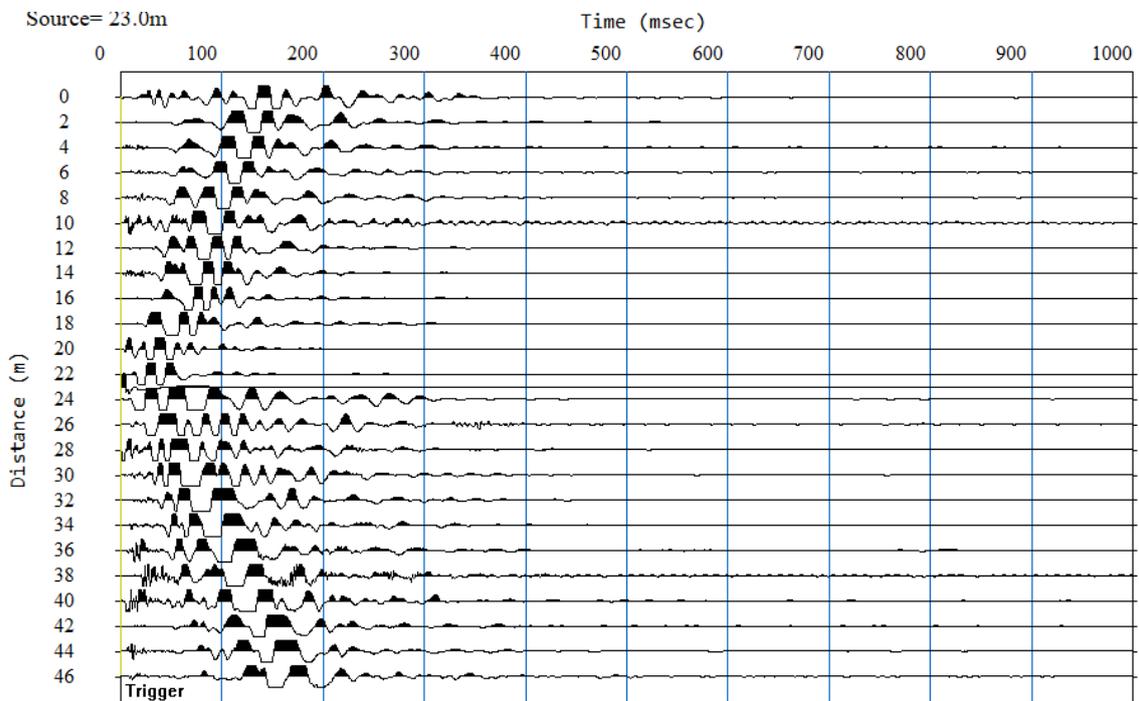


Figura 58. Registro sísmico de la línea LS-12-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

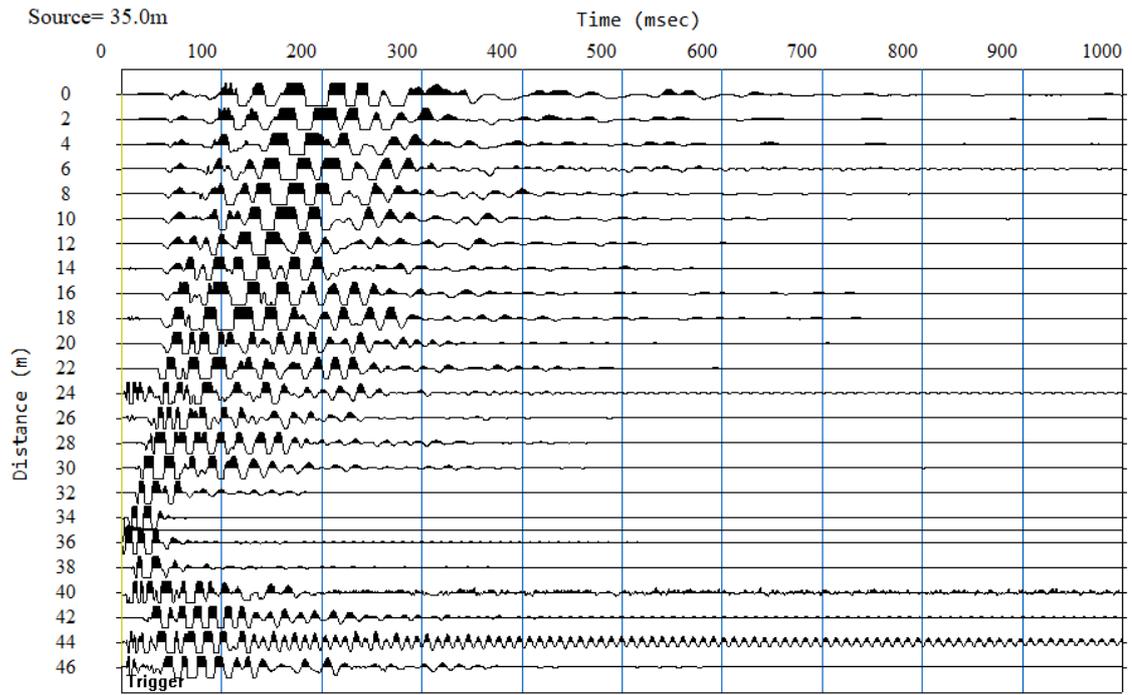


Figura 59. Registro sísmico de la línea LS-12-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

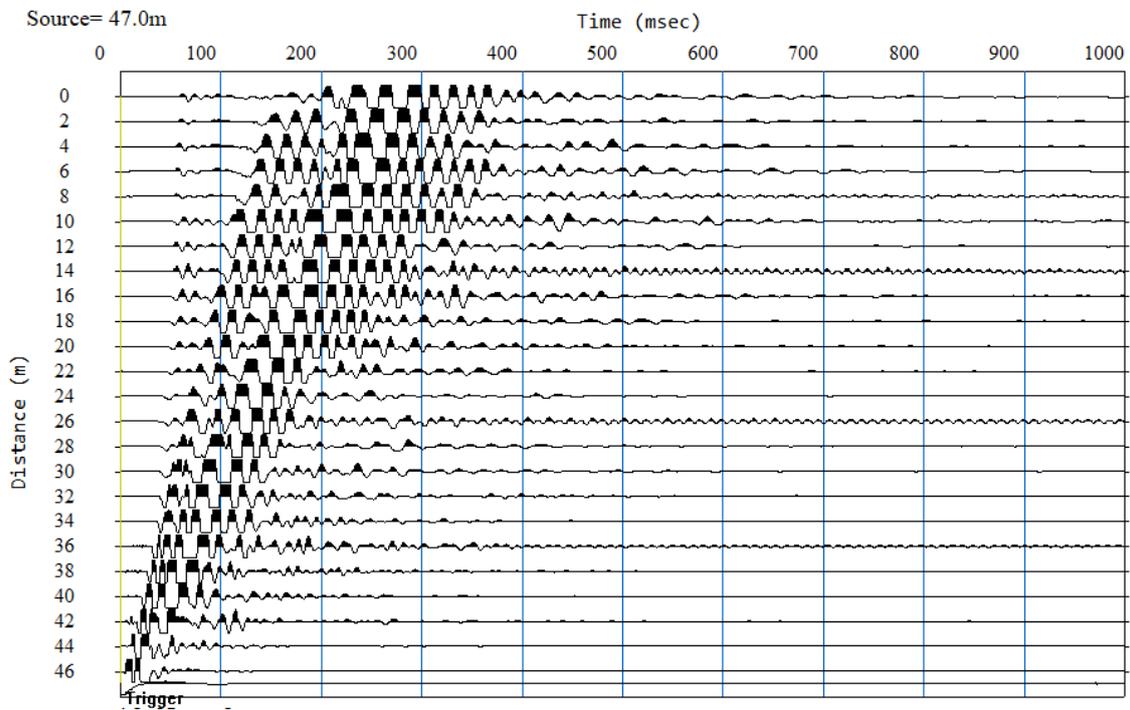


Figura 60. Registro sísmico de la línea LS-12-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

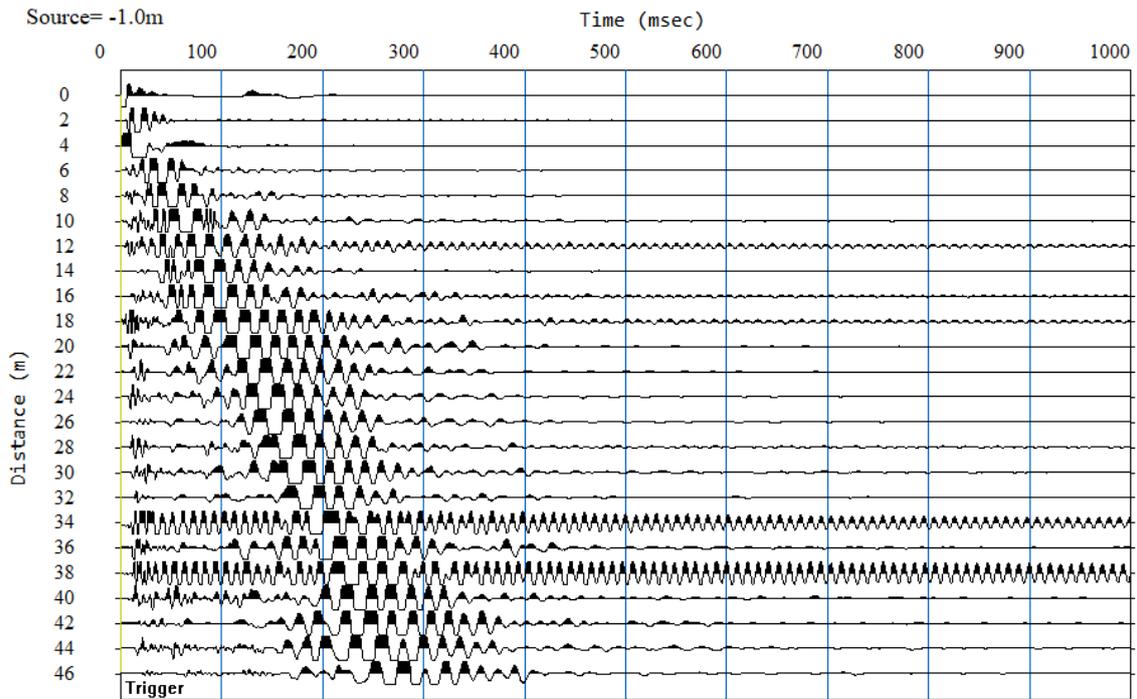


Figura 61. Registro sísmico de la línea LS-13-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

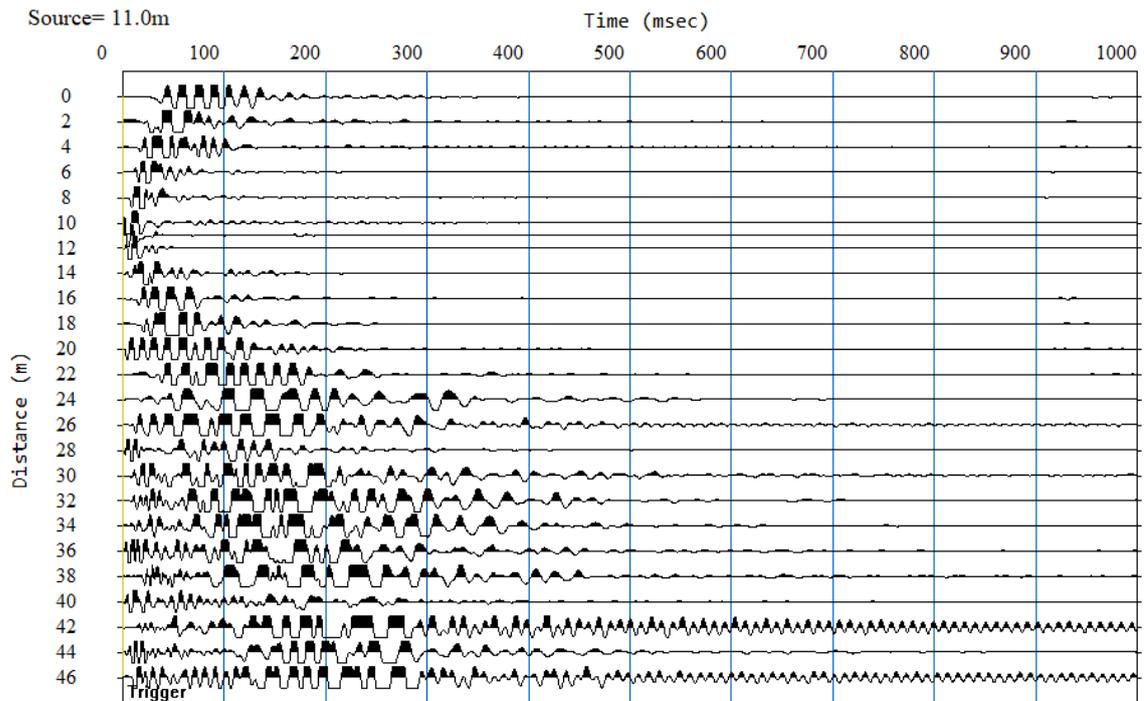


Figura 62. Registro sísmico de la línea LS-13-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

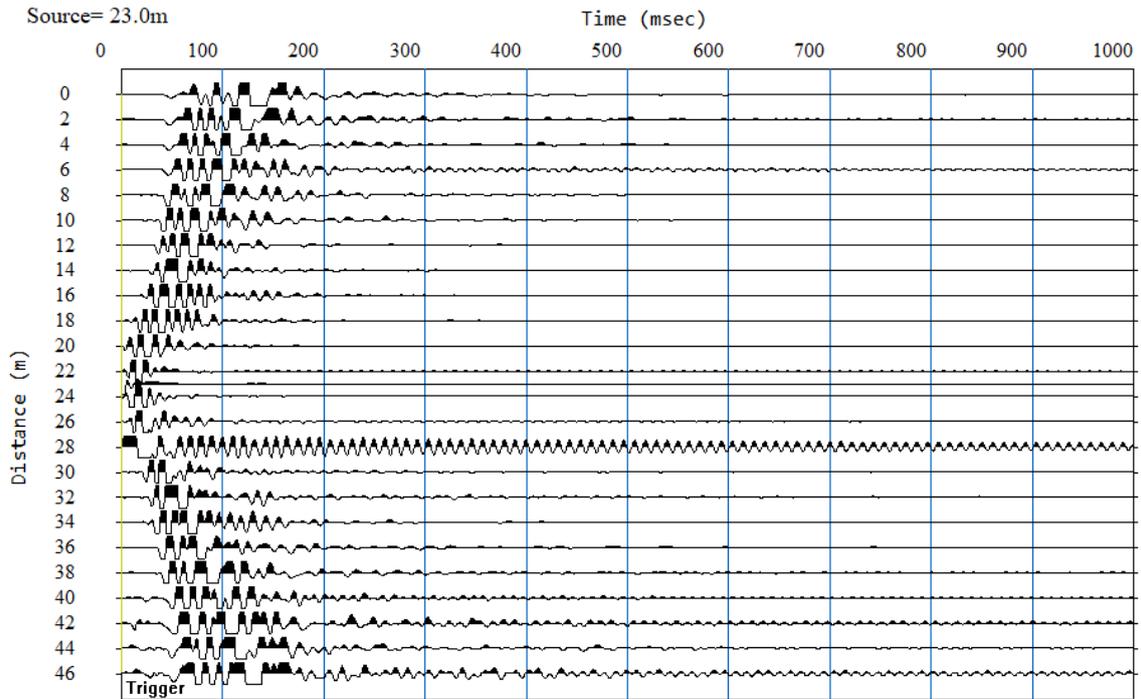


Figura 63. Registro sísmico de la línea LS-13-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

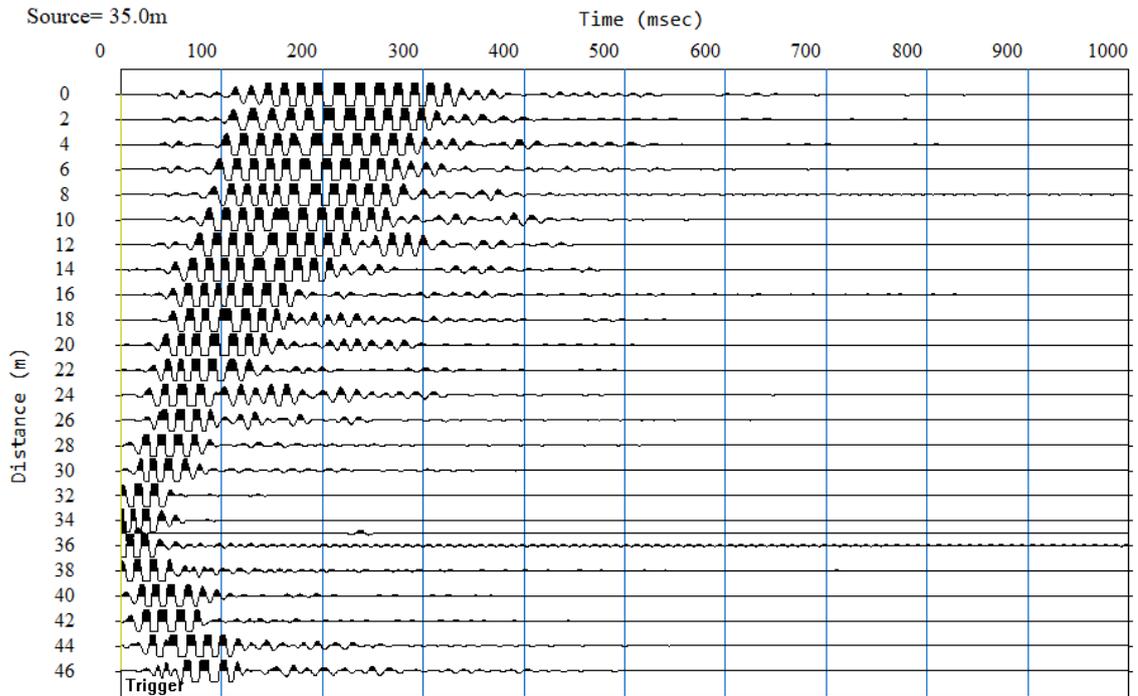


Figura 64. Registro sísmico de la línea LS-13-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

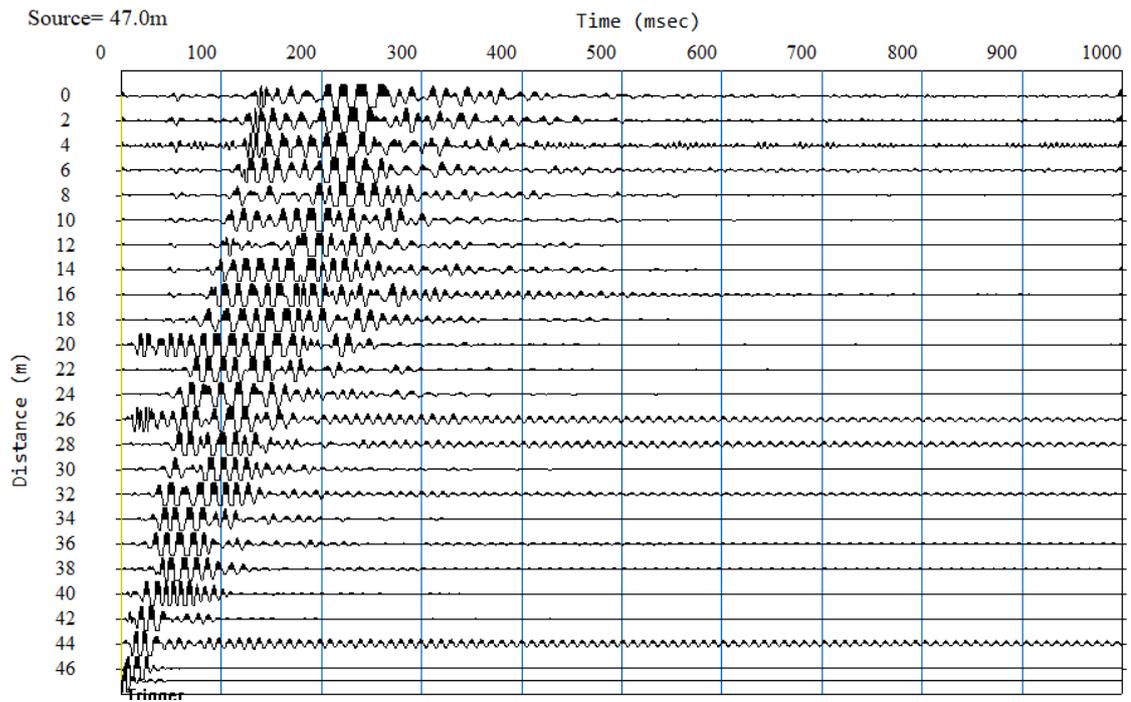


Figura 65. Registro sísmico de la línea LS-13-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

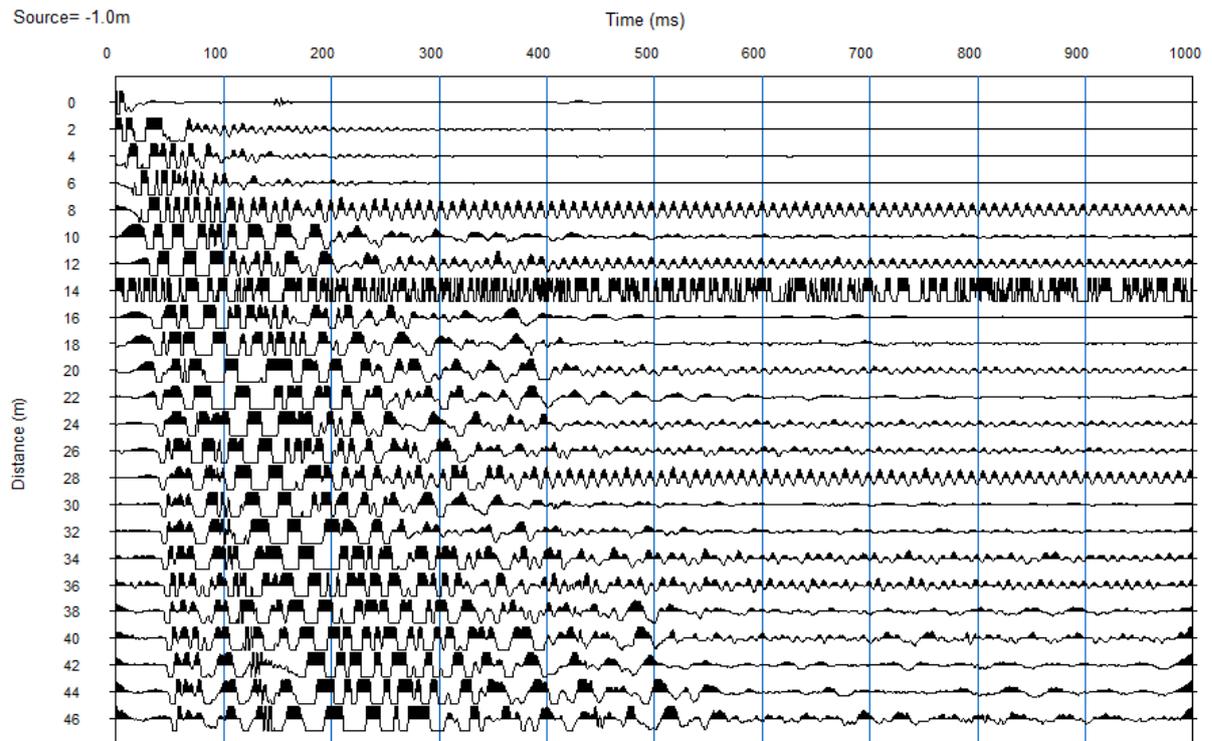


Figura 66. Registro sísmico de la línea LS-14-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

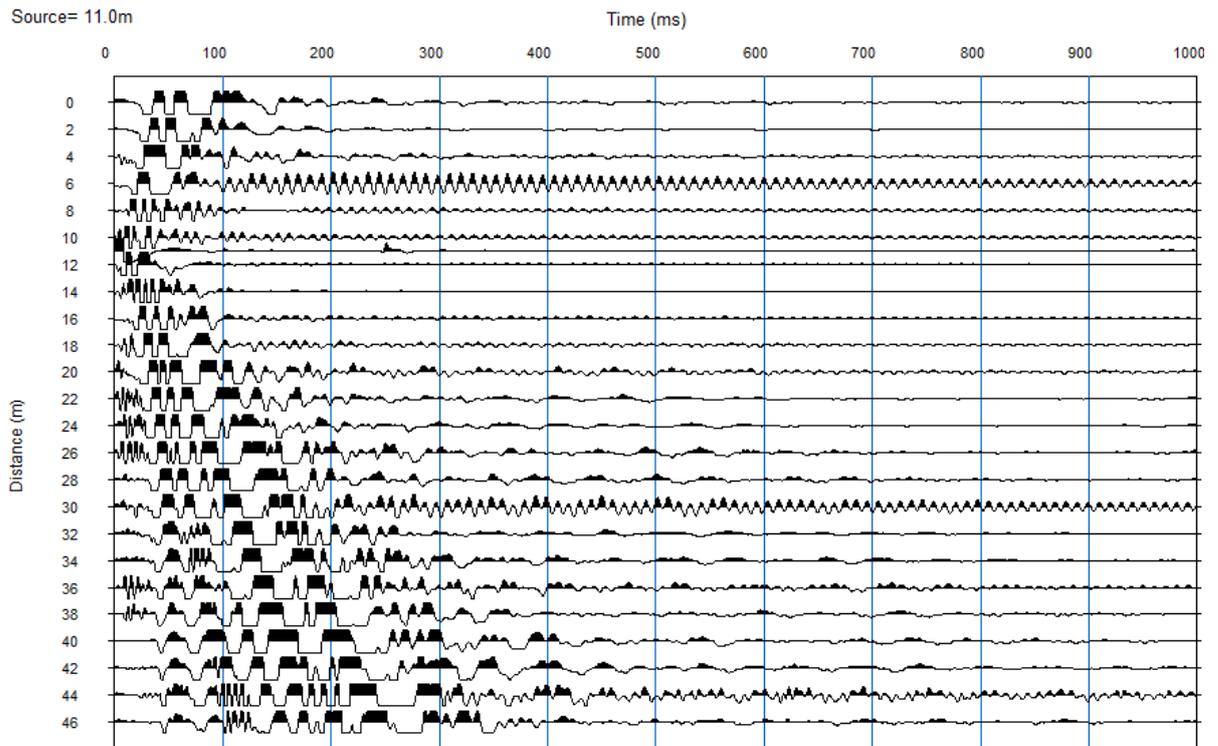


Figura 67. Registro sísmico de la línea LS-14-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

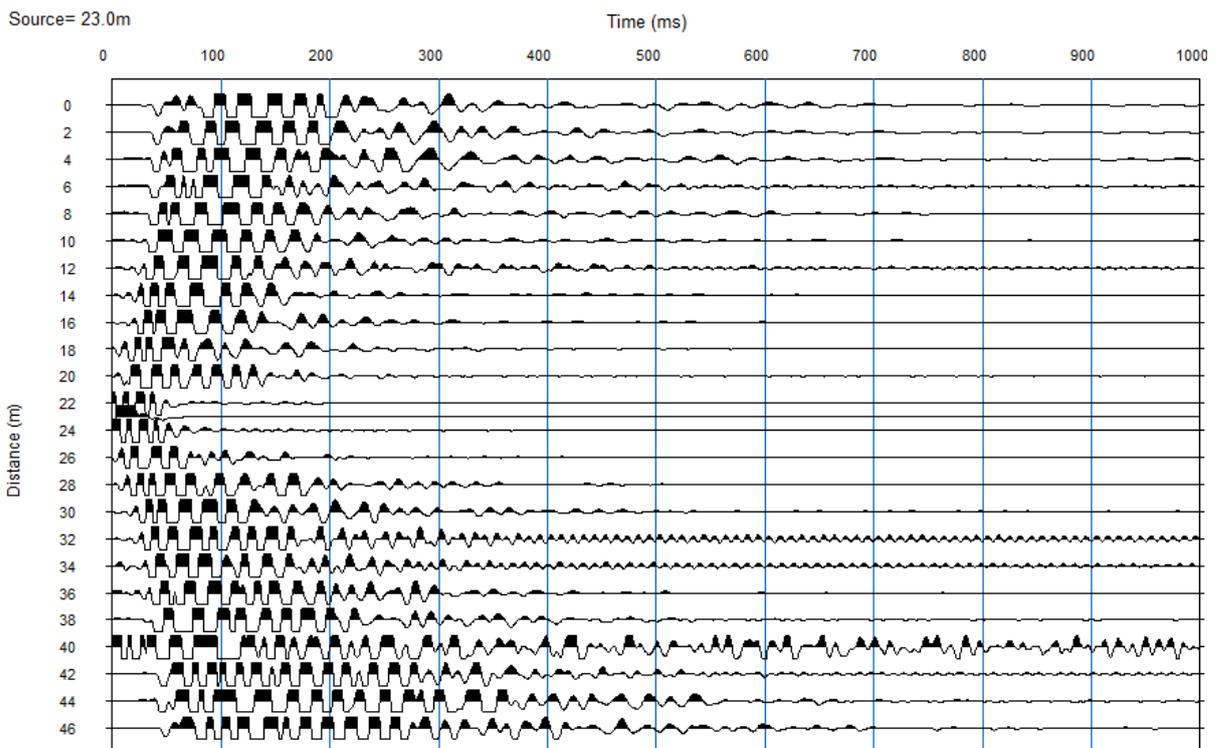


Figura 68. Registro sísmico de la línea LS-14-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

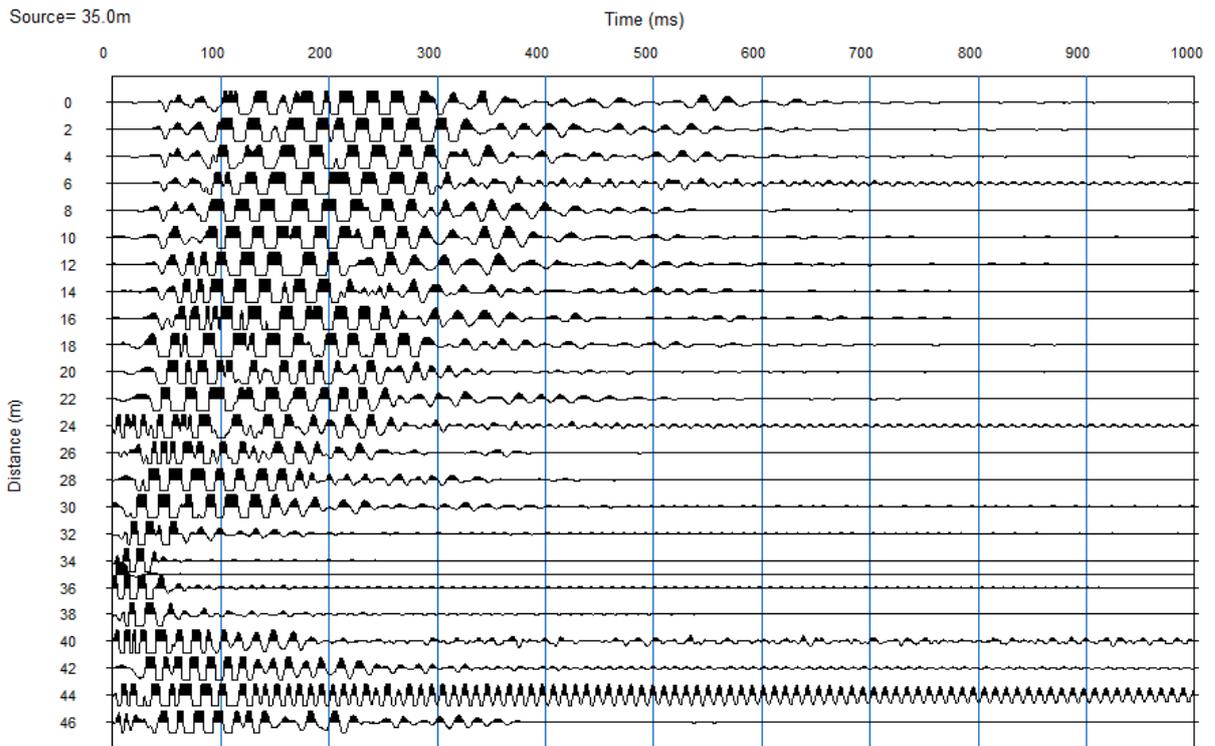


Figura 69. Registro sísmico de la línea LS-14-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

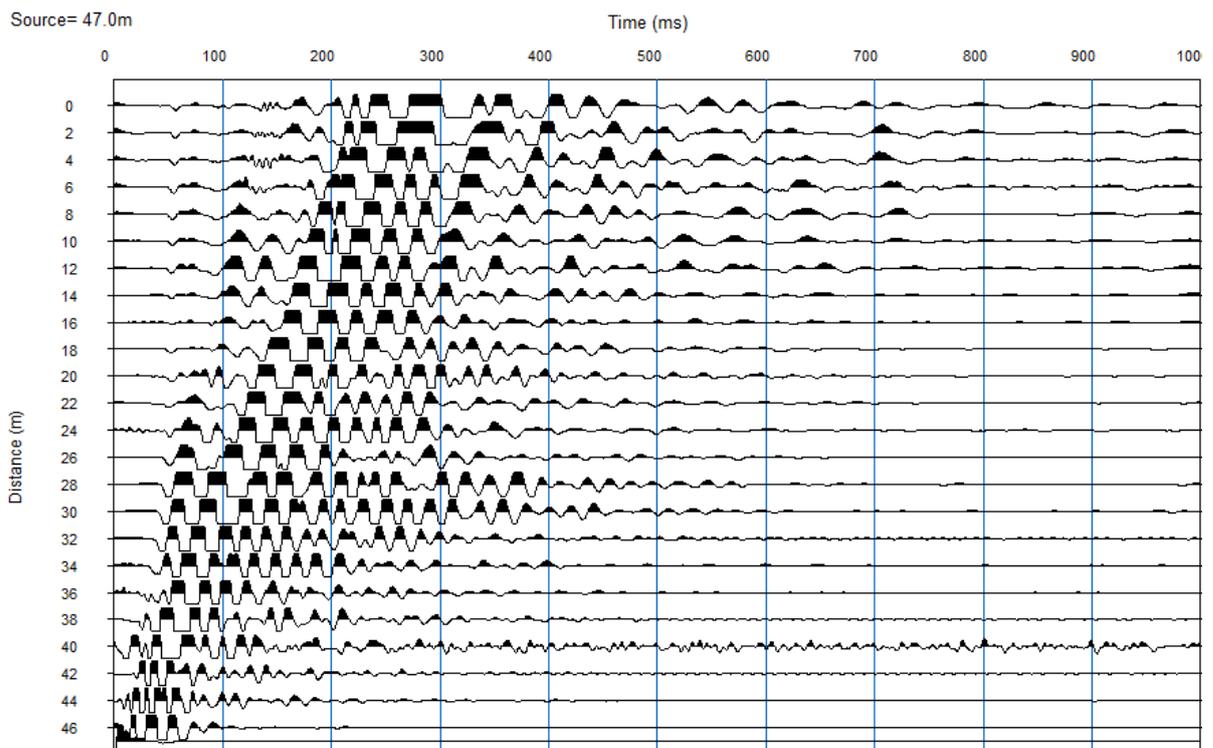


Figura 70. Registro sísmico de la línea LS-14-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

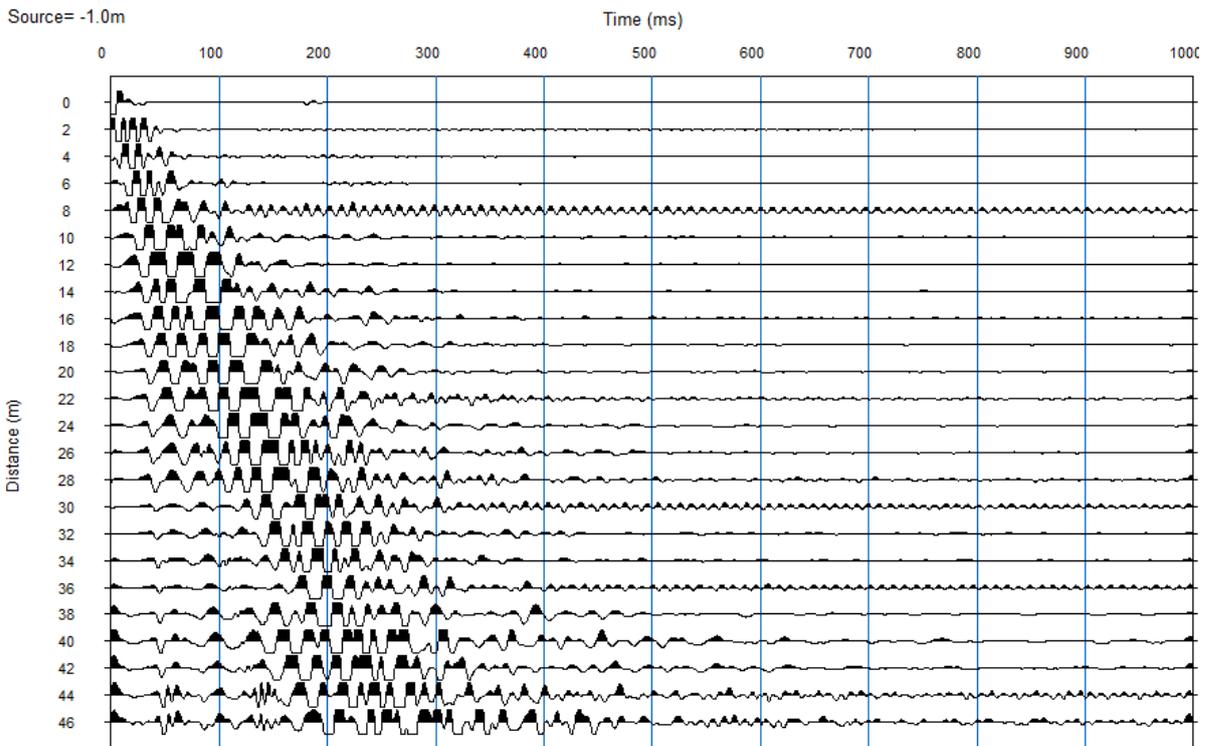


Figura 71. Registro sísmico de la línea LS-15-01 obtenido del punto de disparo en la coordenada menos uno (-1.00).

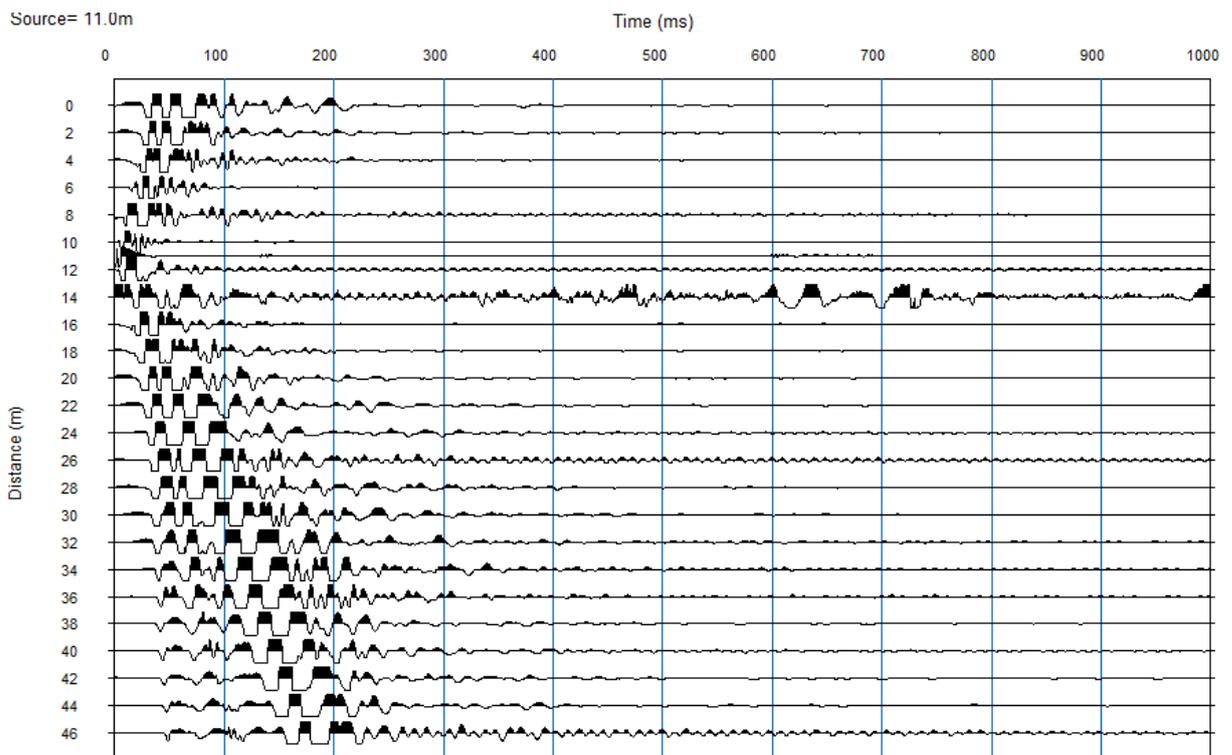


Figura 72. Registro sísmico de la línea LS-15-02 obtenido del punto de disparo en la coordenada once (11.00).

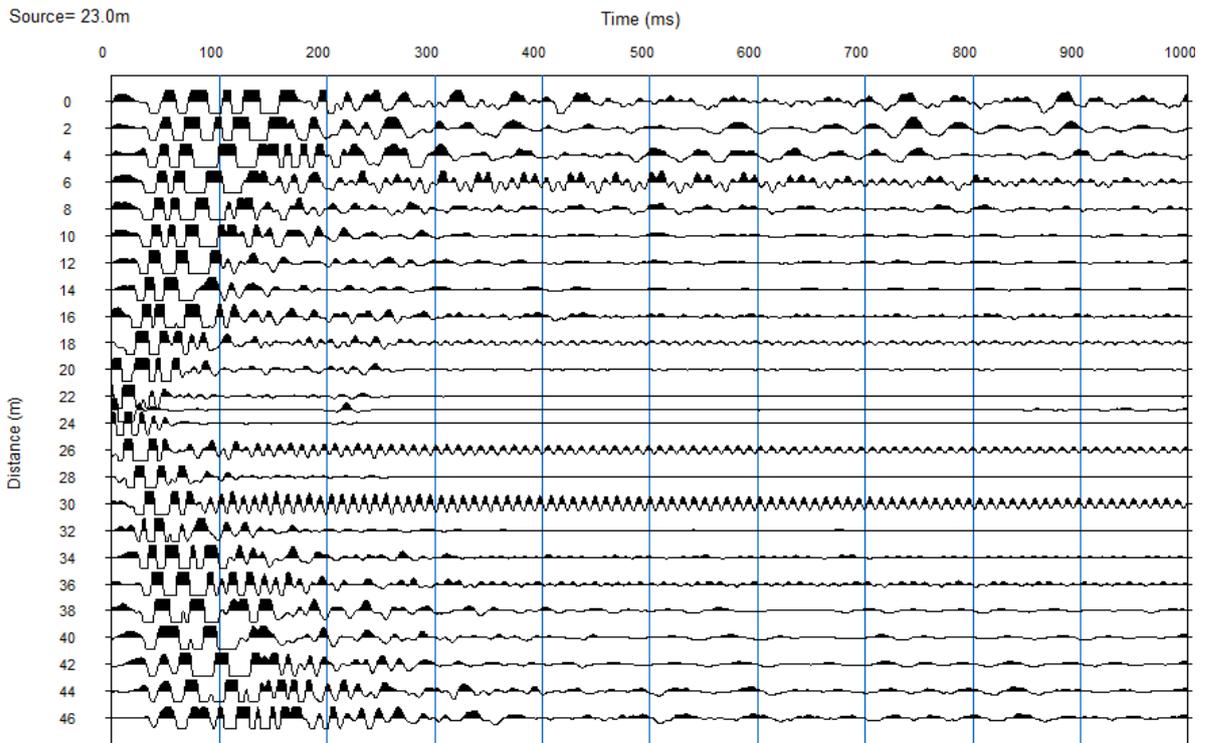


Figura 73. Registro sísmico de la línea LS-15-03 obtenido del punto de disparo en la coordenada veintitrés (23.00).

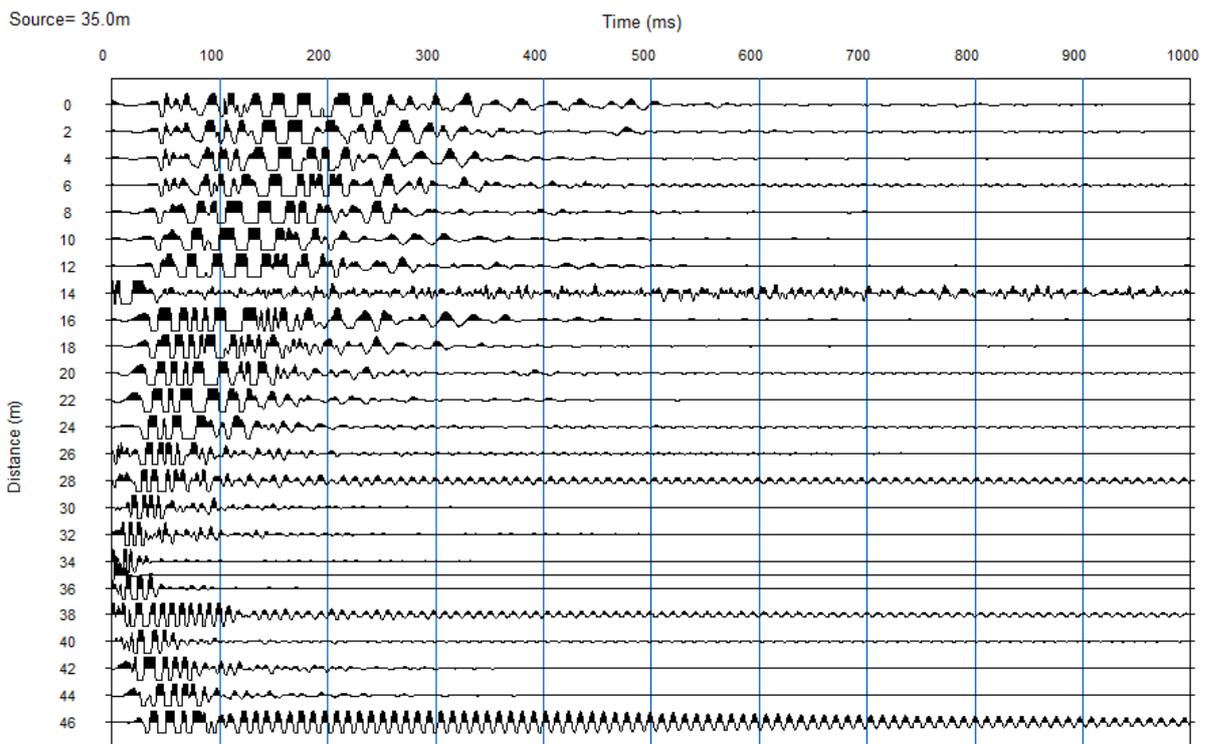


Figura 74. Registro sísmico de la línea LS-15-04 obtenido del punto de disparo en la coordenada treinta y cinco (35.00).

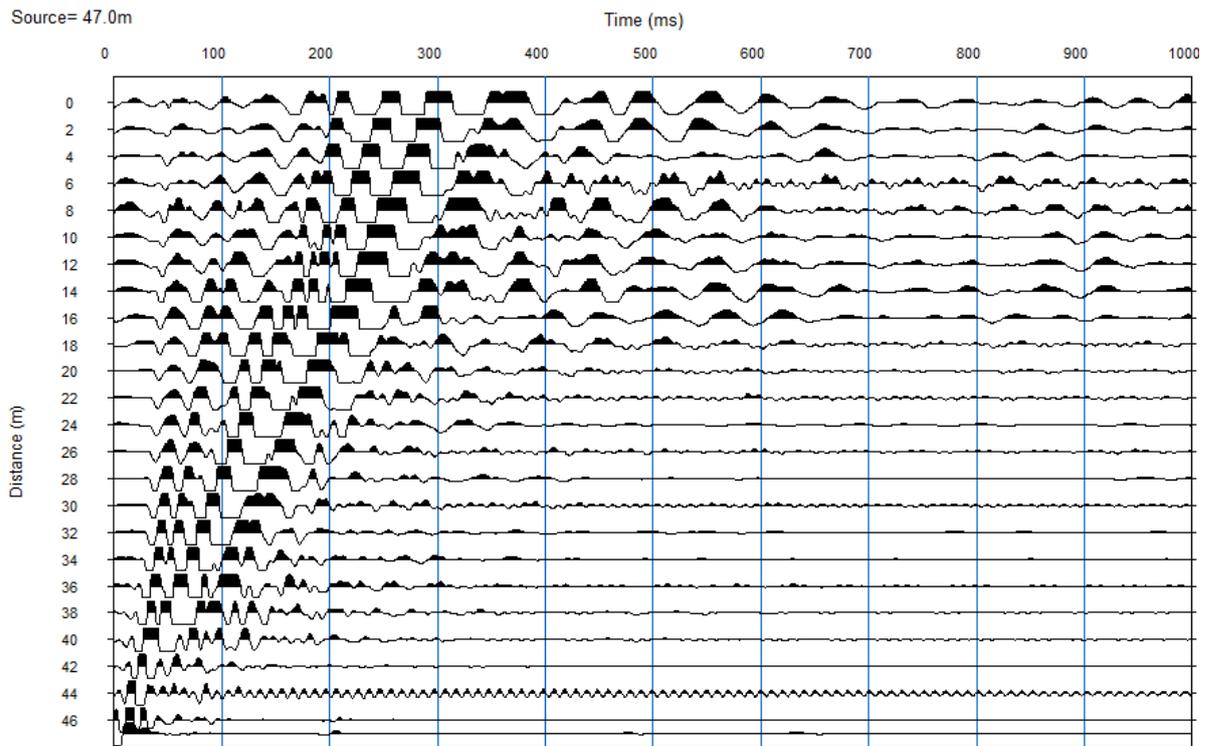


Figura 75. Registro sísmico de la línea LS-15-05 obtenido del punto de disparo en la coordenada cuarenta y siete (47.00).

ANEXO 9. Dromocronas de las líneas sísmicas

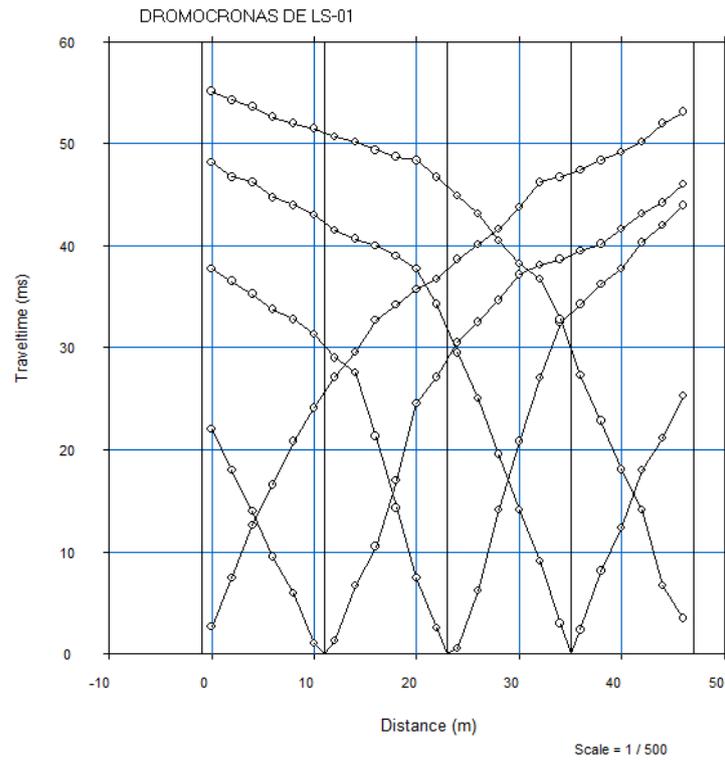


Figura 76. Dromocronas de la línea LS-01

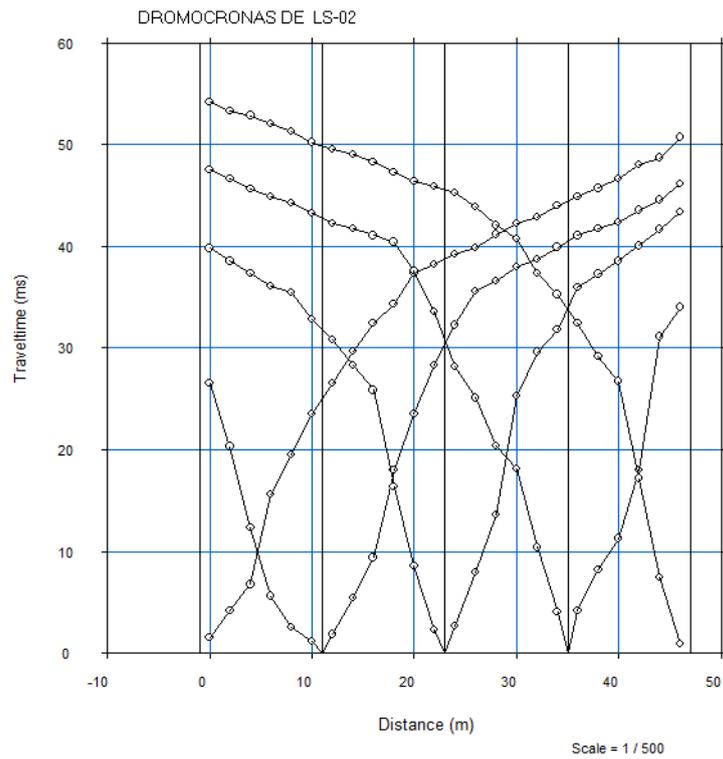


Figura 77. Dromocronas de la línea LS-02

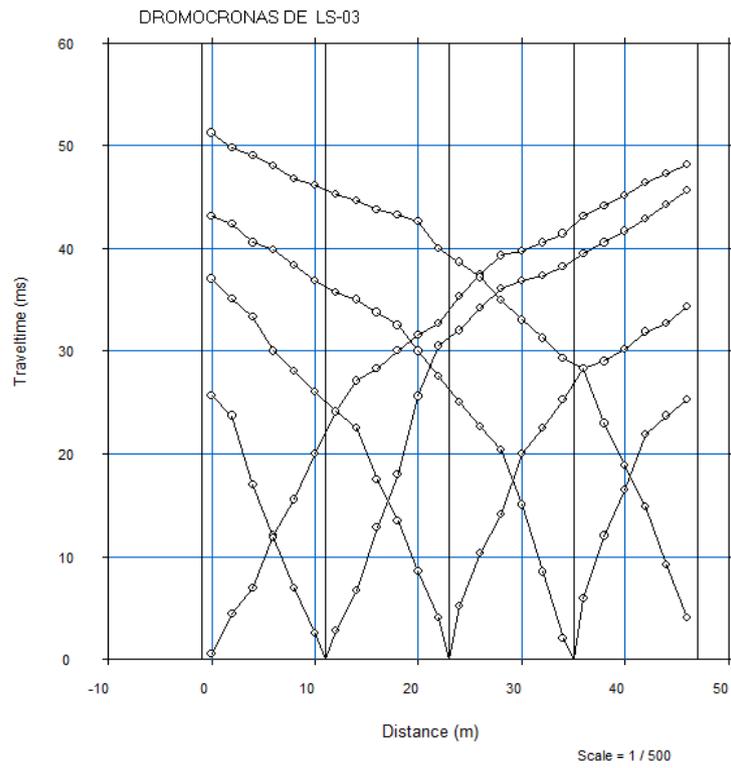


Figura 78. Dromocronas de la línea LS-03

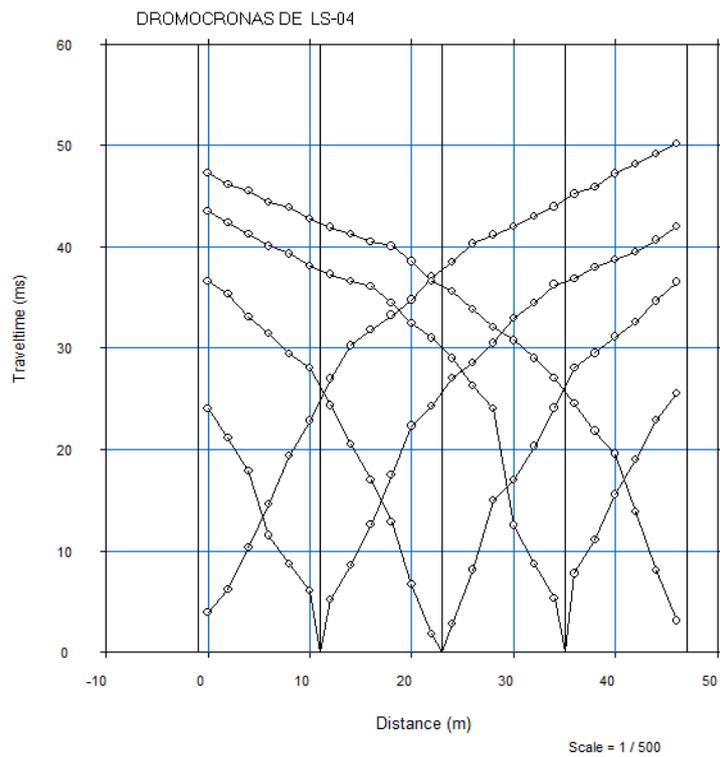


Figura 79. Dromocronas de la línea LS-04

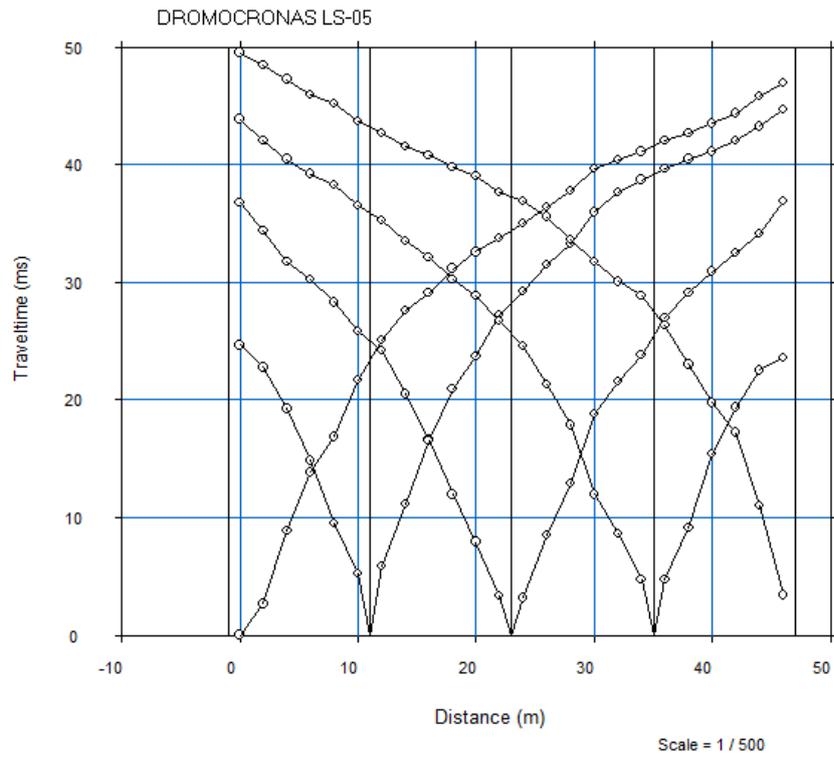


Figura 80. Dromocronas de la línea LS-05

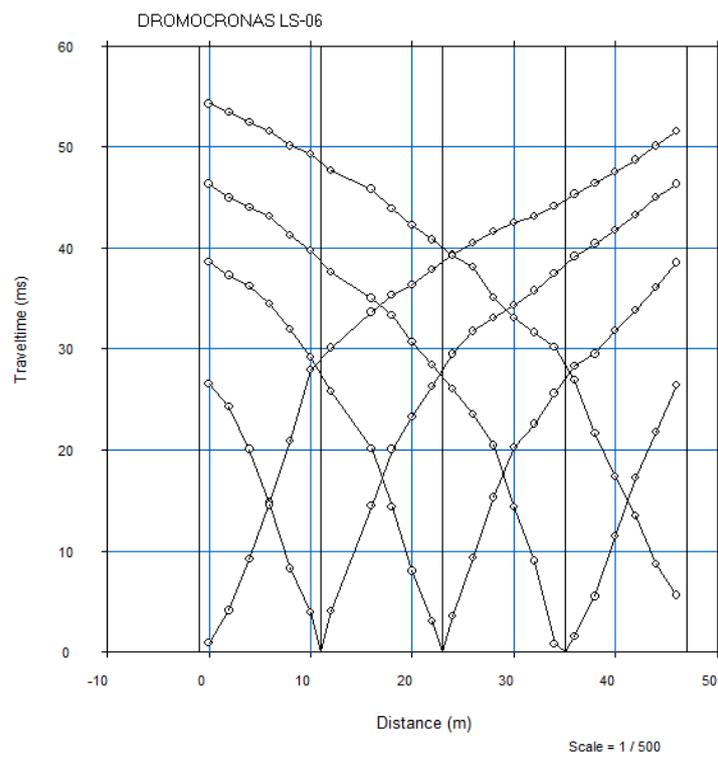


Figura 81. Dromocronas de la línea LS-06

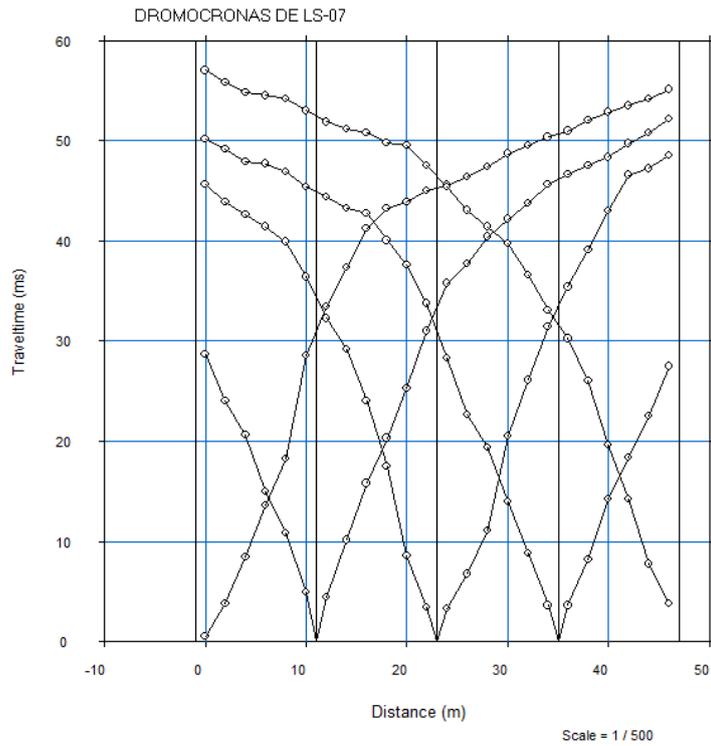


Figura 82. Dromocronas de la línea LS-07

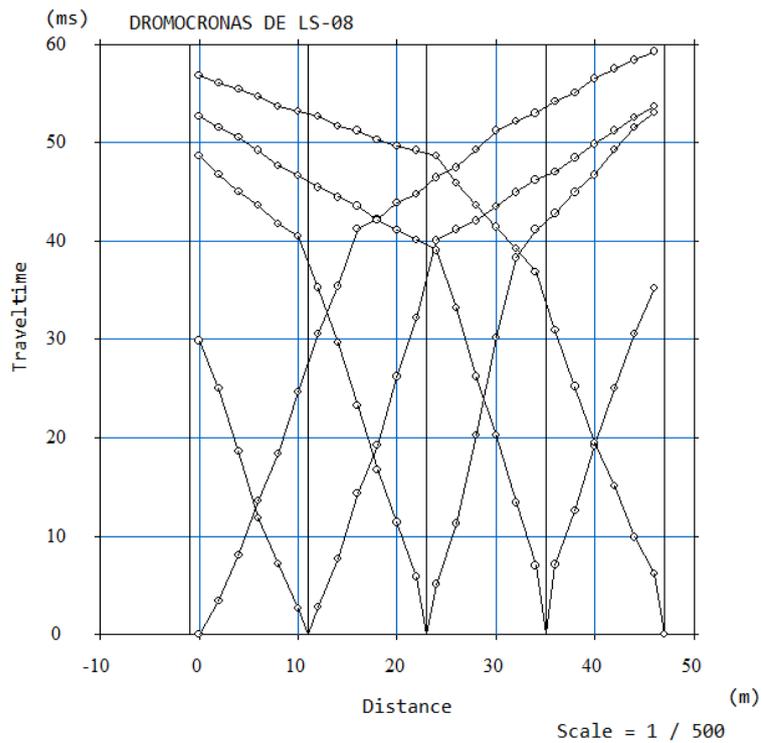


Figura 83. Dromocronas de la línea LS-08

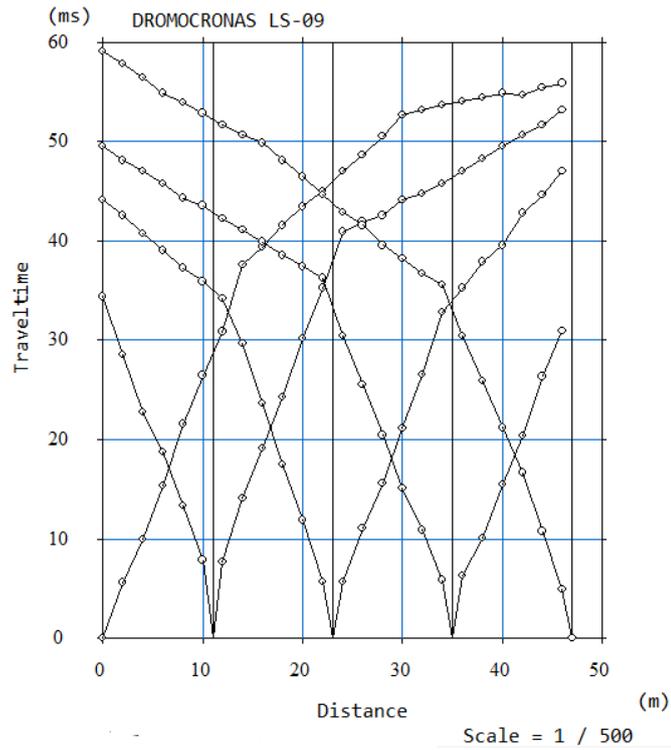


Figura 84. Dromocronas de la línea LS-09

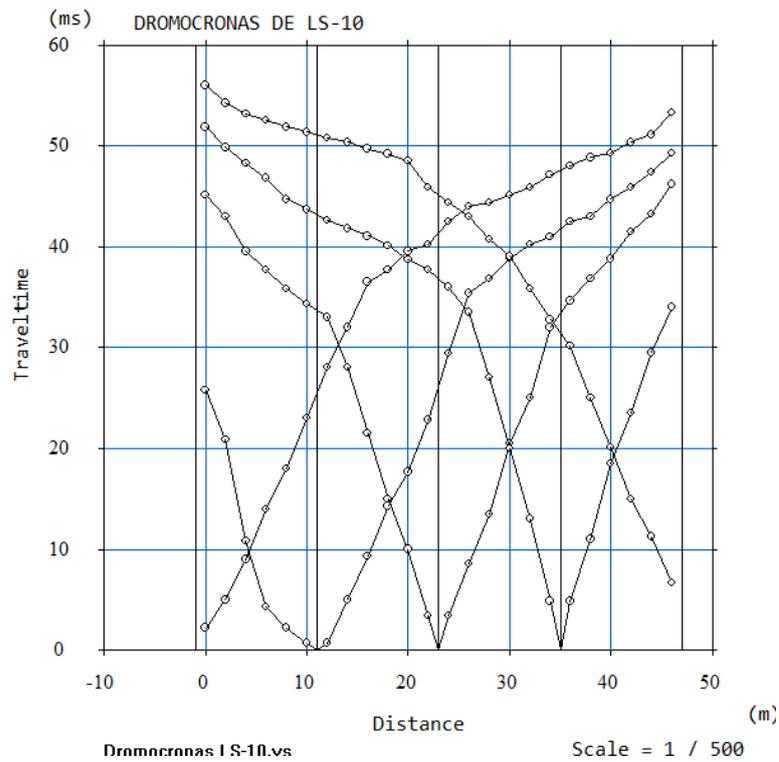


Figura 85. Dromocronas de la línea LS-010

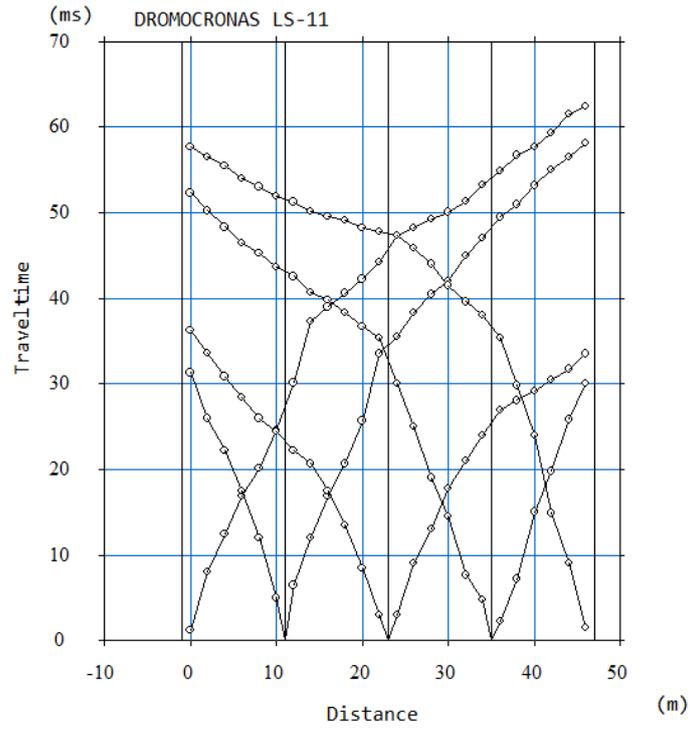


Figura 86. Dromocronas de la línea LS-11

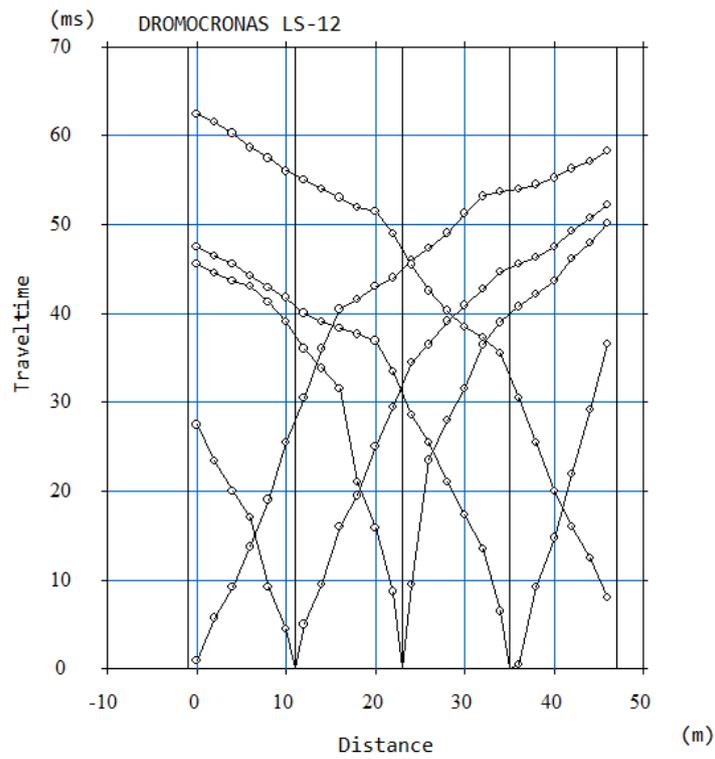


Figura 87. Dromocronas de la línea LS-12

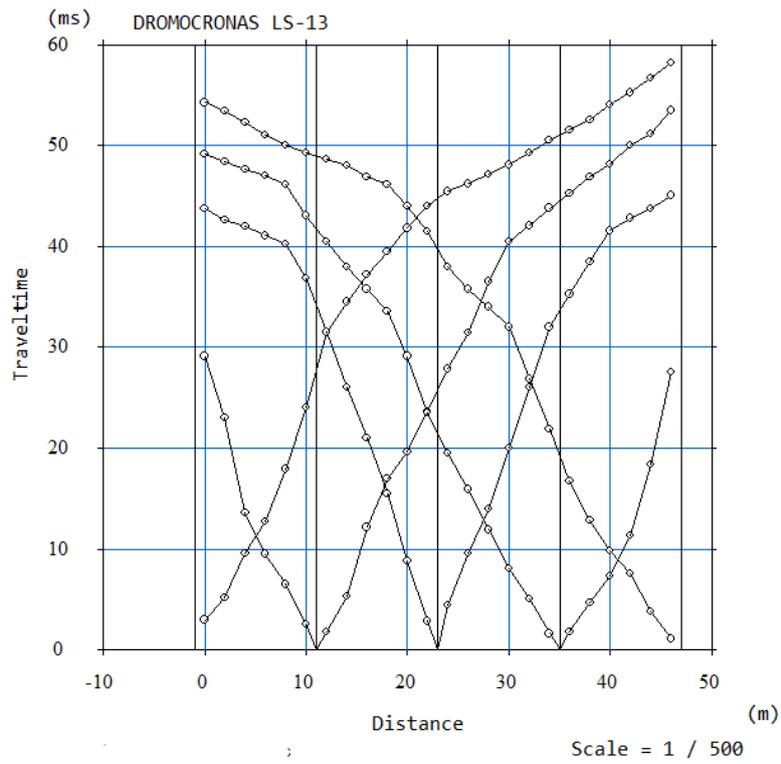


Figura 88. Dromocronas de la línea LS-13

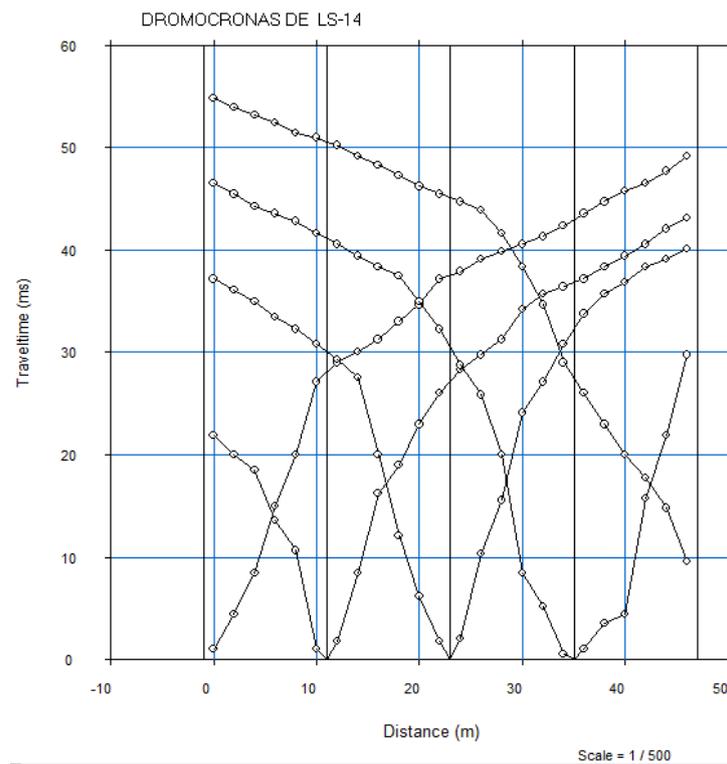


Figura 89. Dromocronas de la línea LS-14

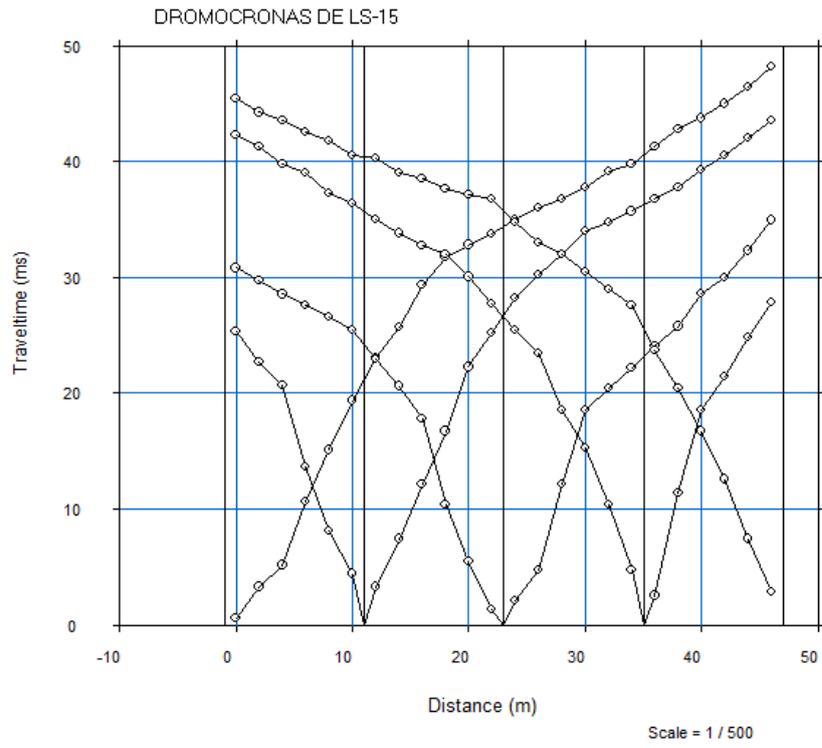


Figura 90. Dromocronas de la línea LS-15

ANEXO 10. RMS de las líneas sísmicas

Tabla 20. Valores de RMS

Línea sísmica	RMS (ms)
LS-01	0.481253
LS-02	0.755839
LS-03	0.328494
LS-04	0.588395
LS-05	0.389575
LS-06	0.680029
LS-07	0.500874
LS-08	0.564580
LS-09	0.655141
LS-10	0.579241
LS-11	0.538195
LS-12	0.947615
LS-13	1.154890
LS-14	0.730531
LS-15	0.704892

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 10. Perfiles sísmicos

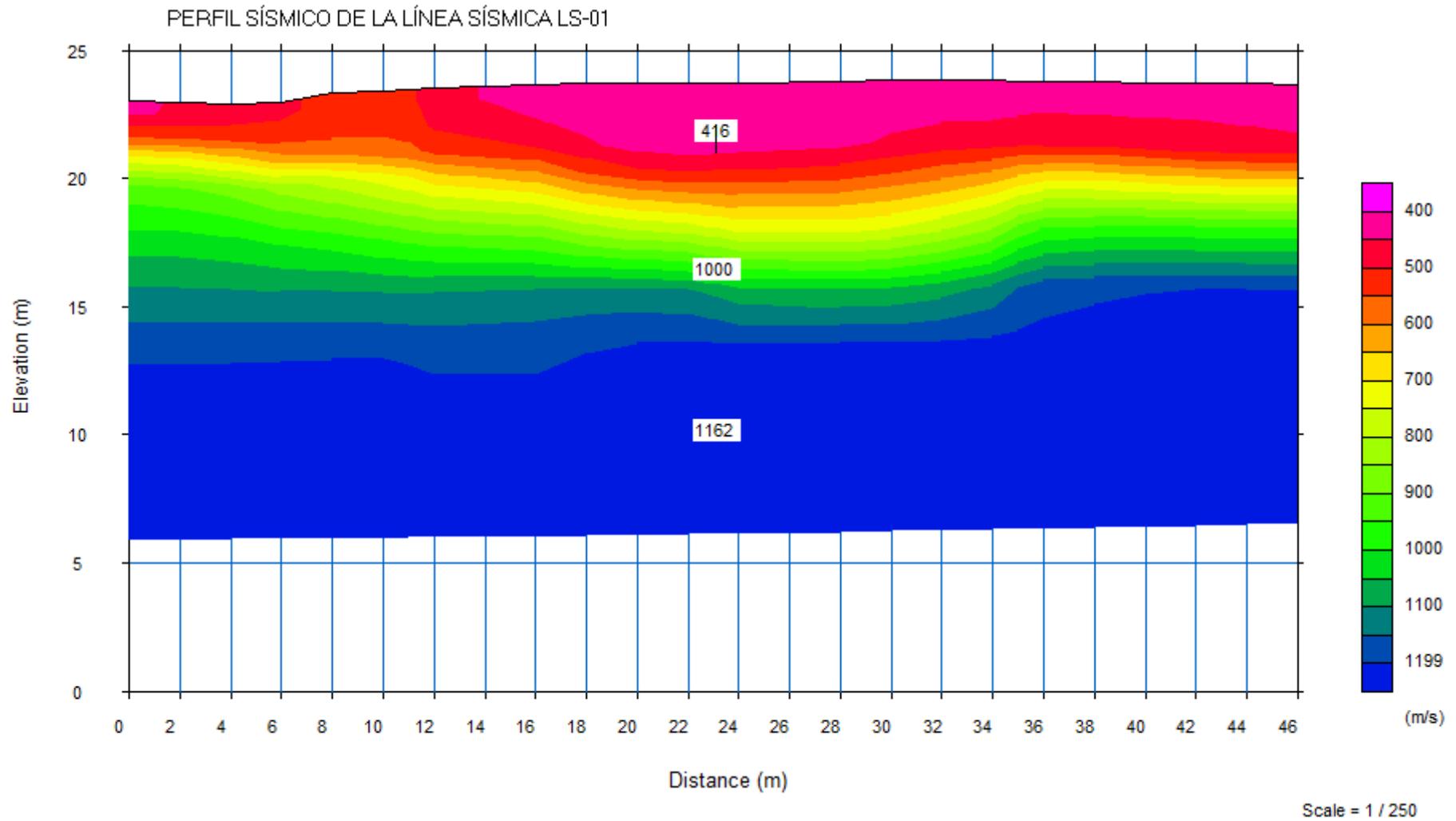


Figura 91. Perfil sísmico de la línea LS-01

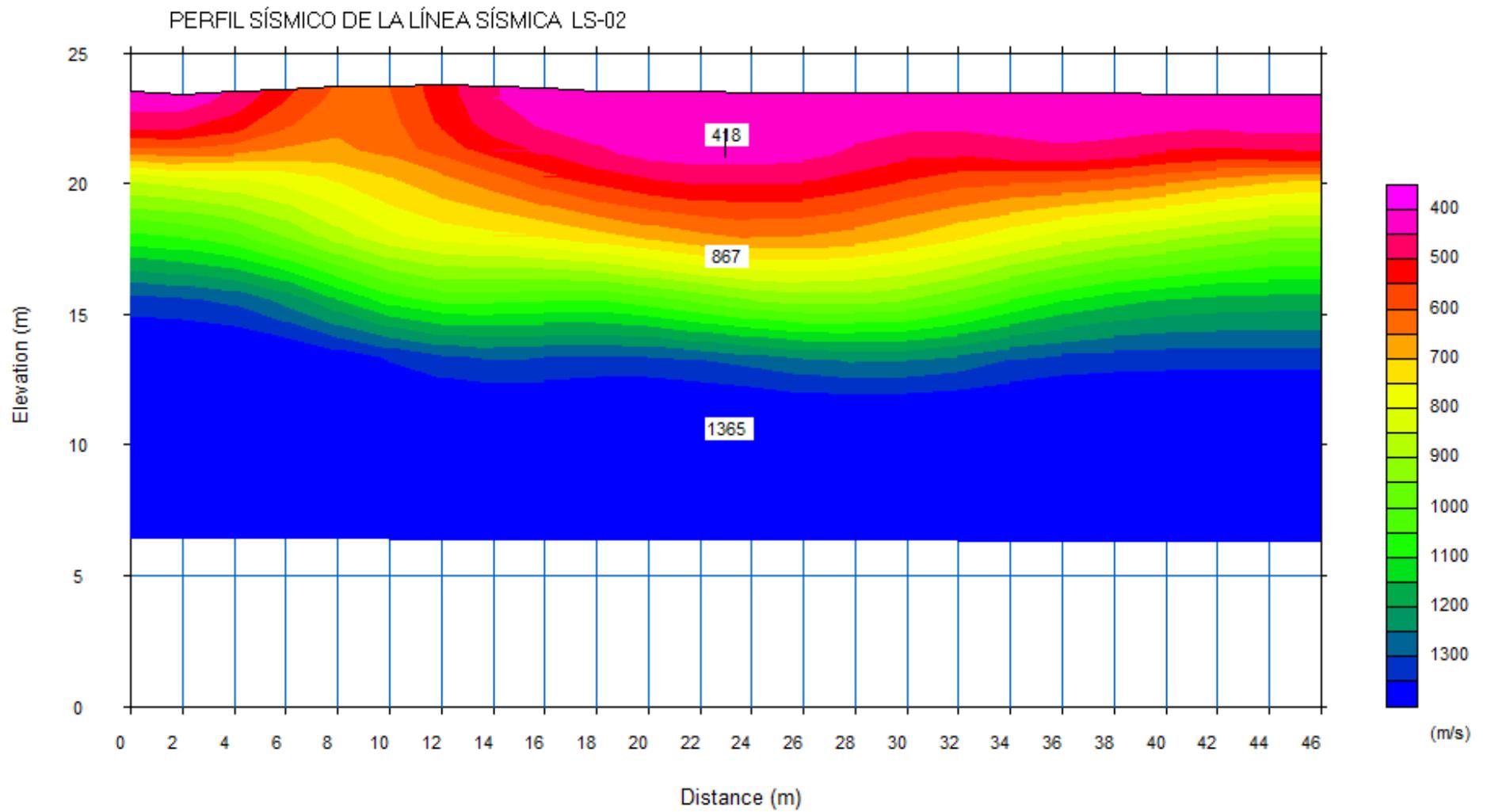


Figura 92. Perfil sísmico de la línea LS-02

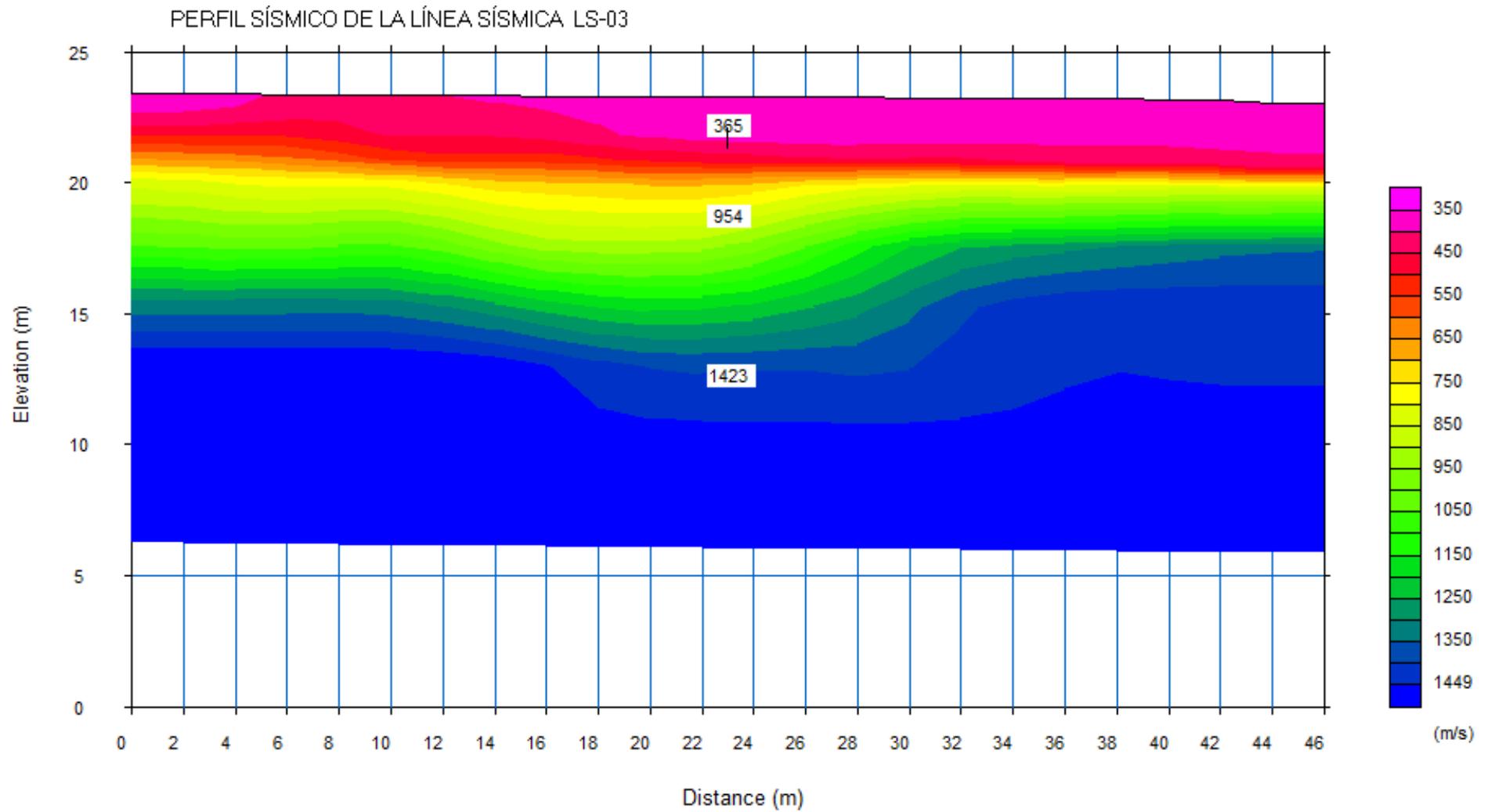


Figura 93. Perfil sísmico de la línea LS-03

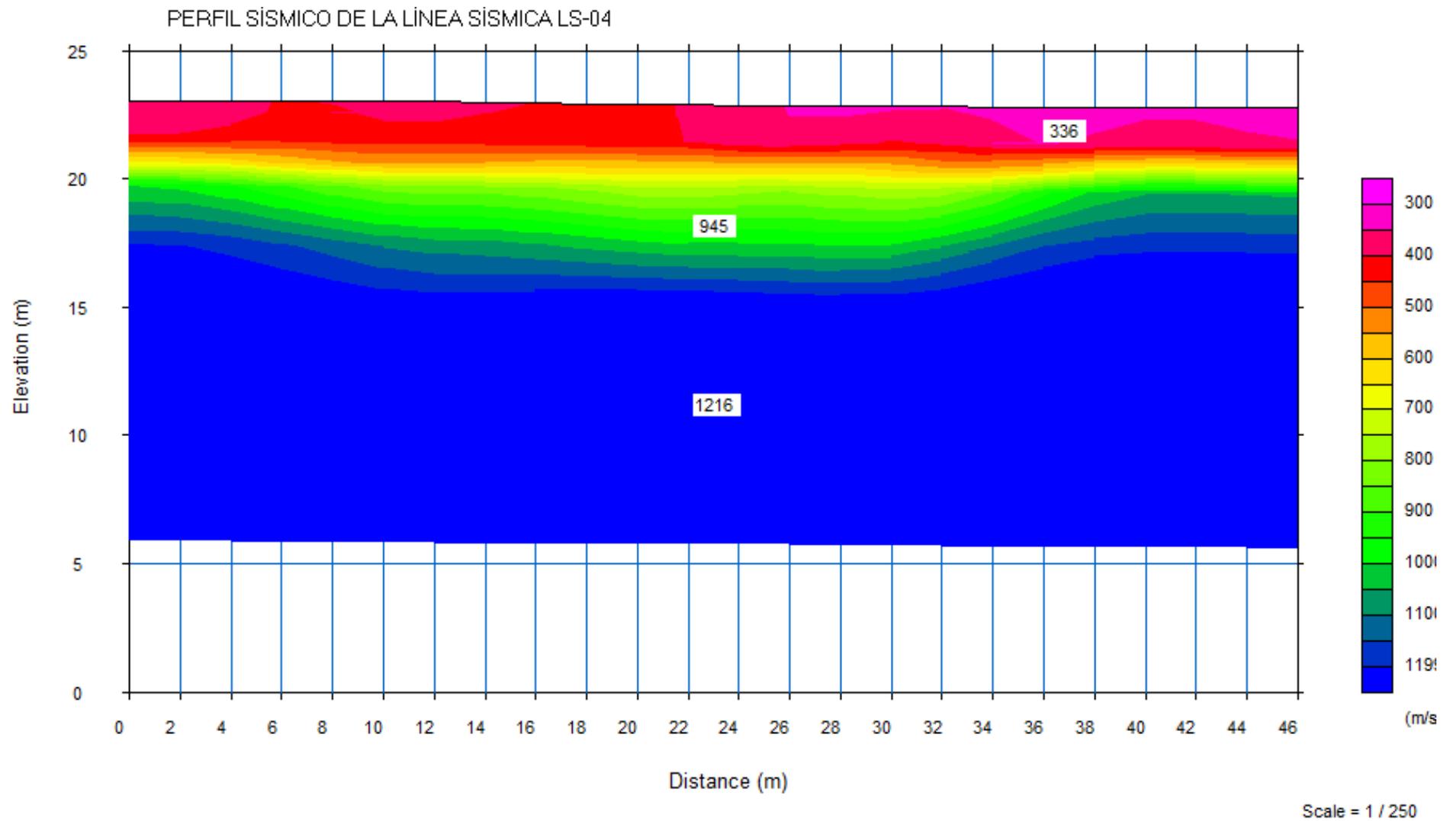
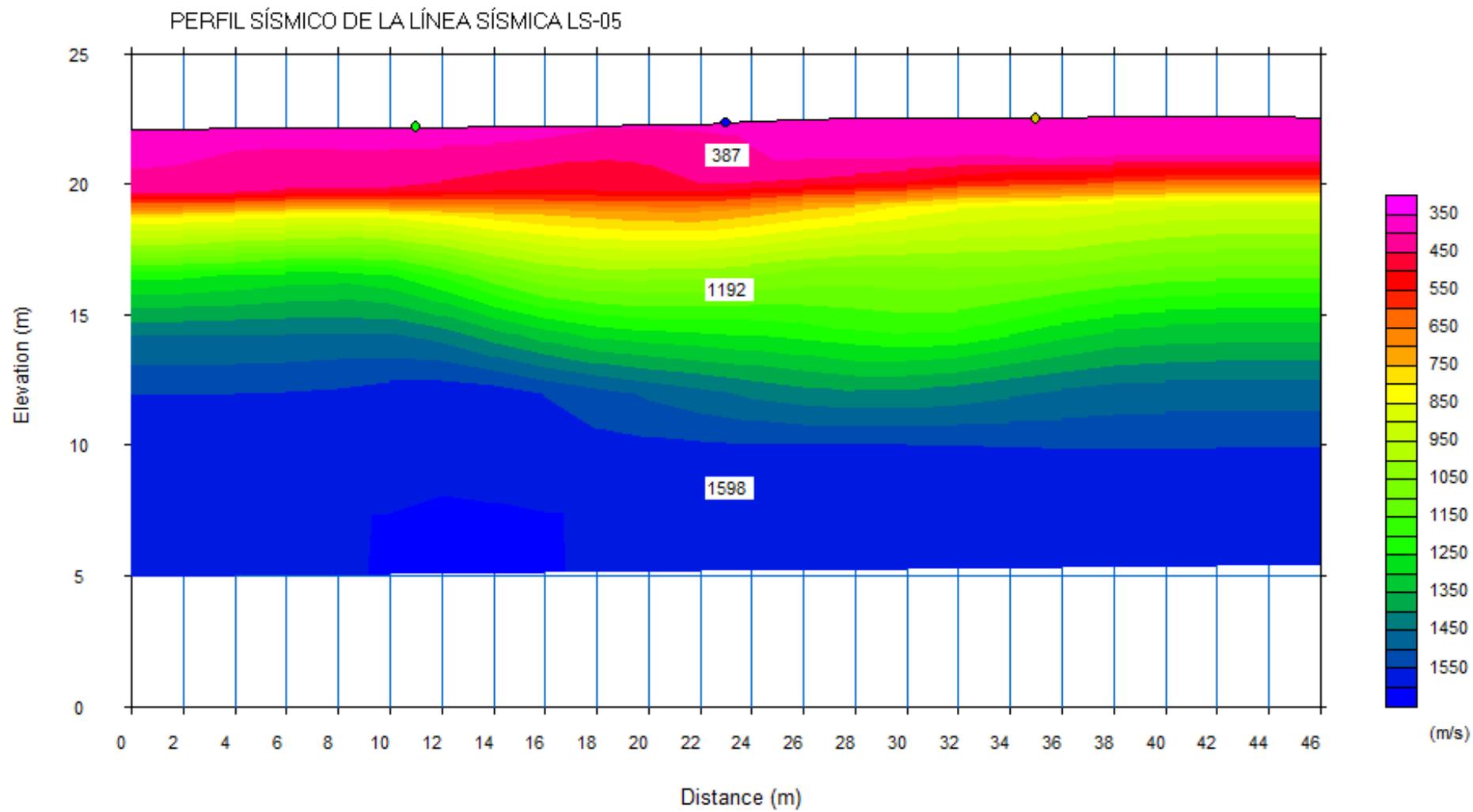


Figura 94. Perfil sísmico de la línea LS-04



Scale = 1 / 250

Figura 95. Perfil sísmico de la línea LS-05

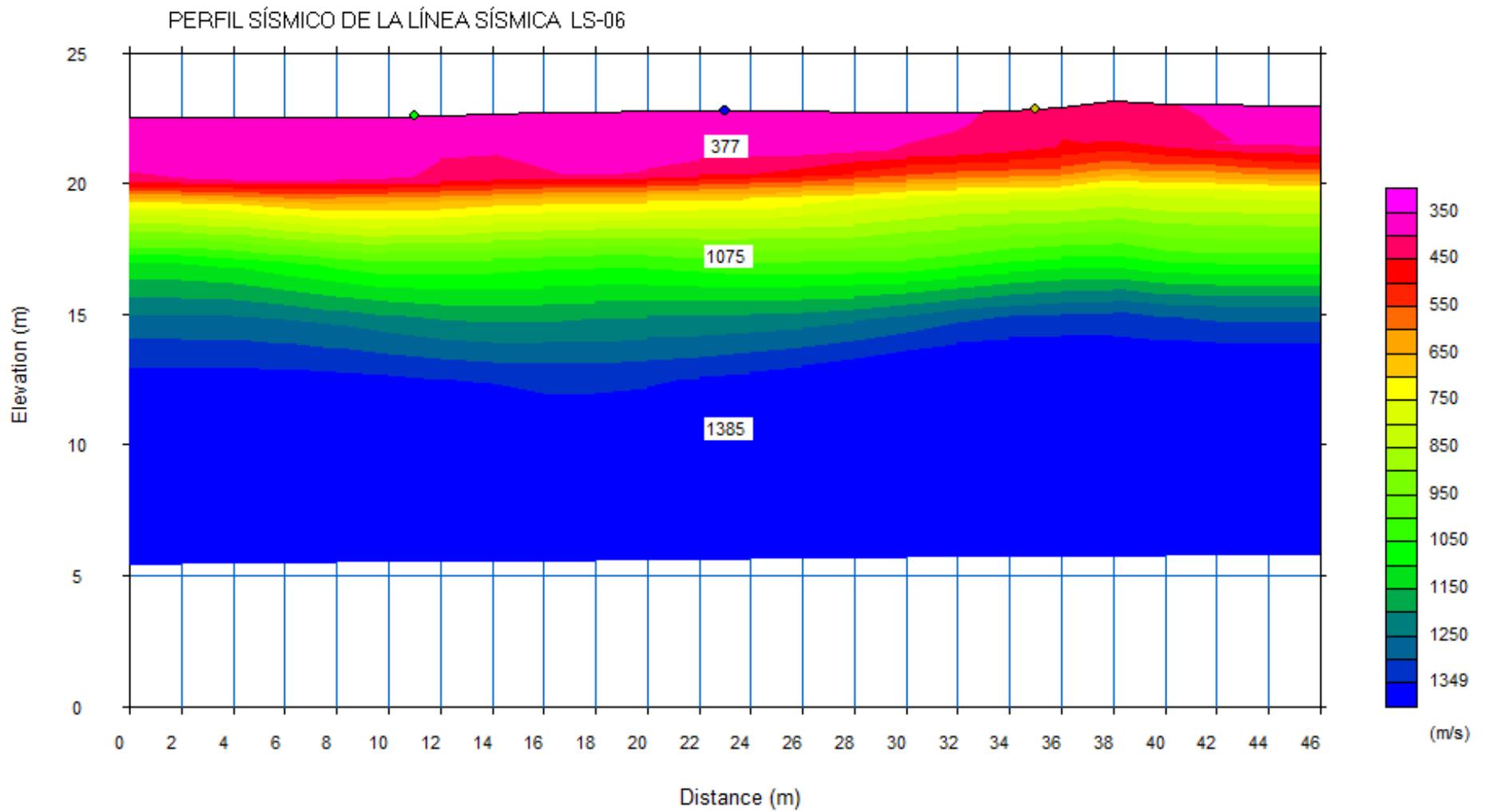


Figura 96. Perfil sísmico de la línea LS-06

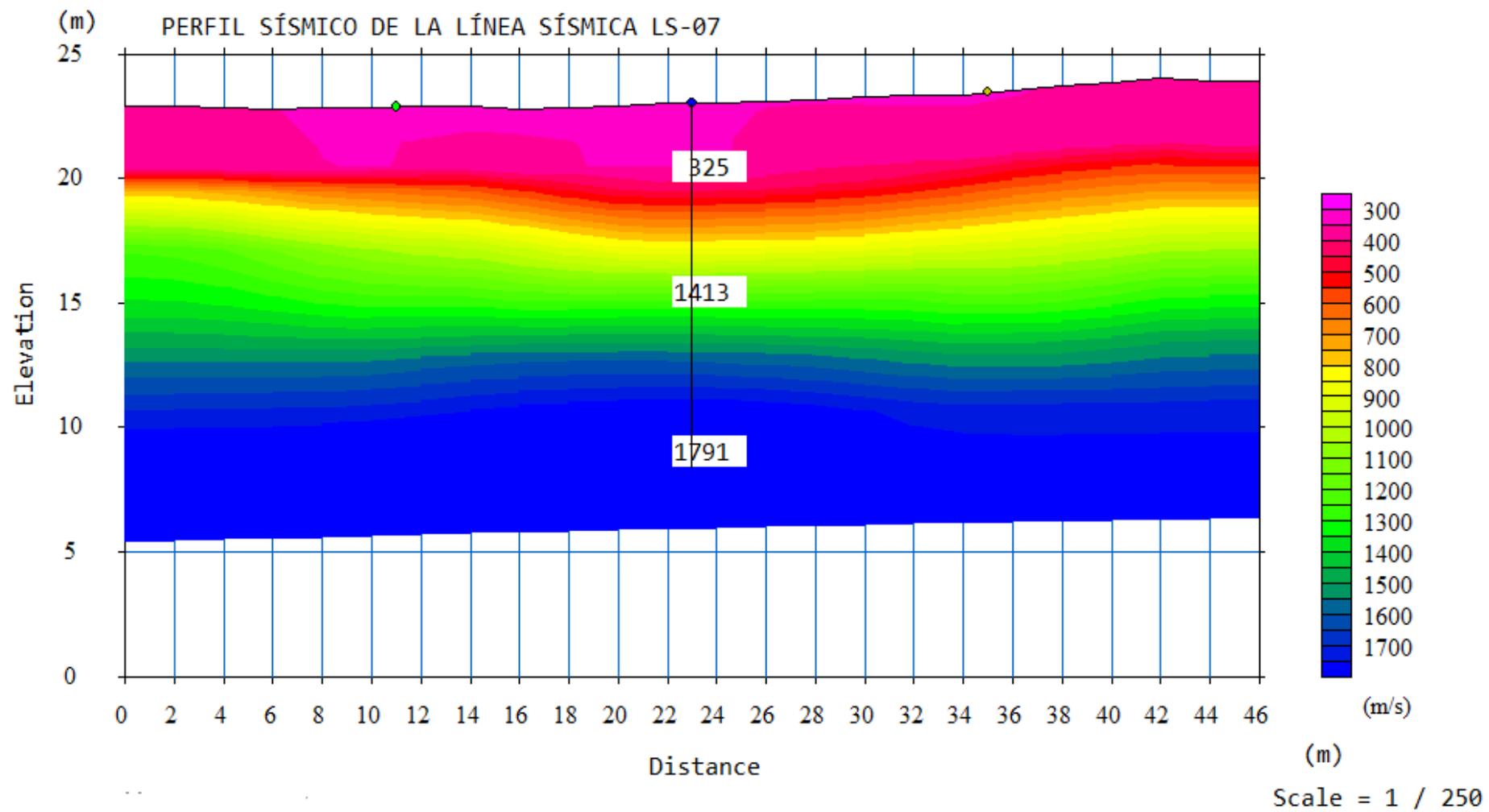


Figura 97. Perfil sísmico de la línea LS-07

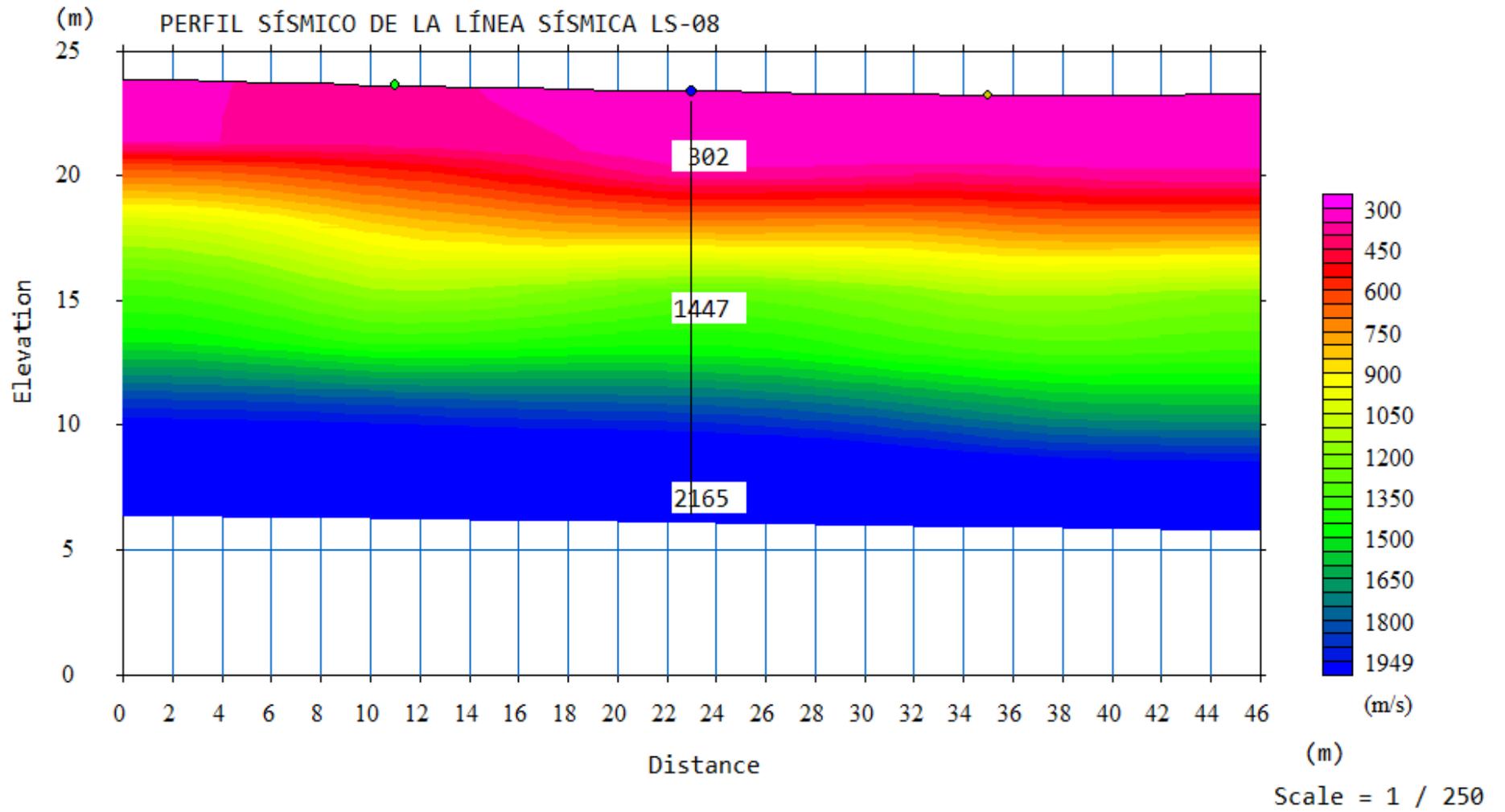


Figura 98. Perfil sísmico de la línea LS-08

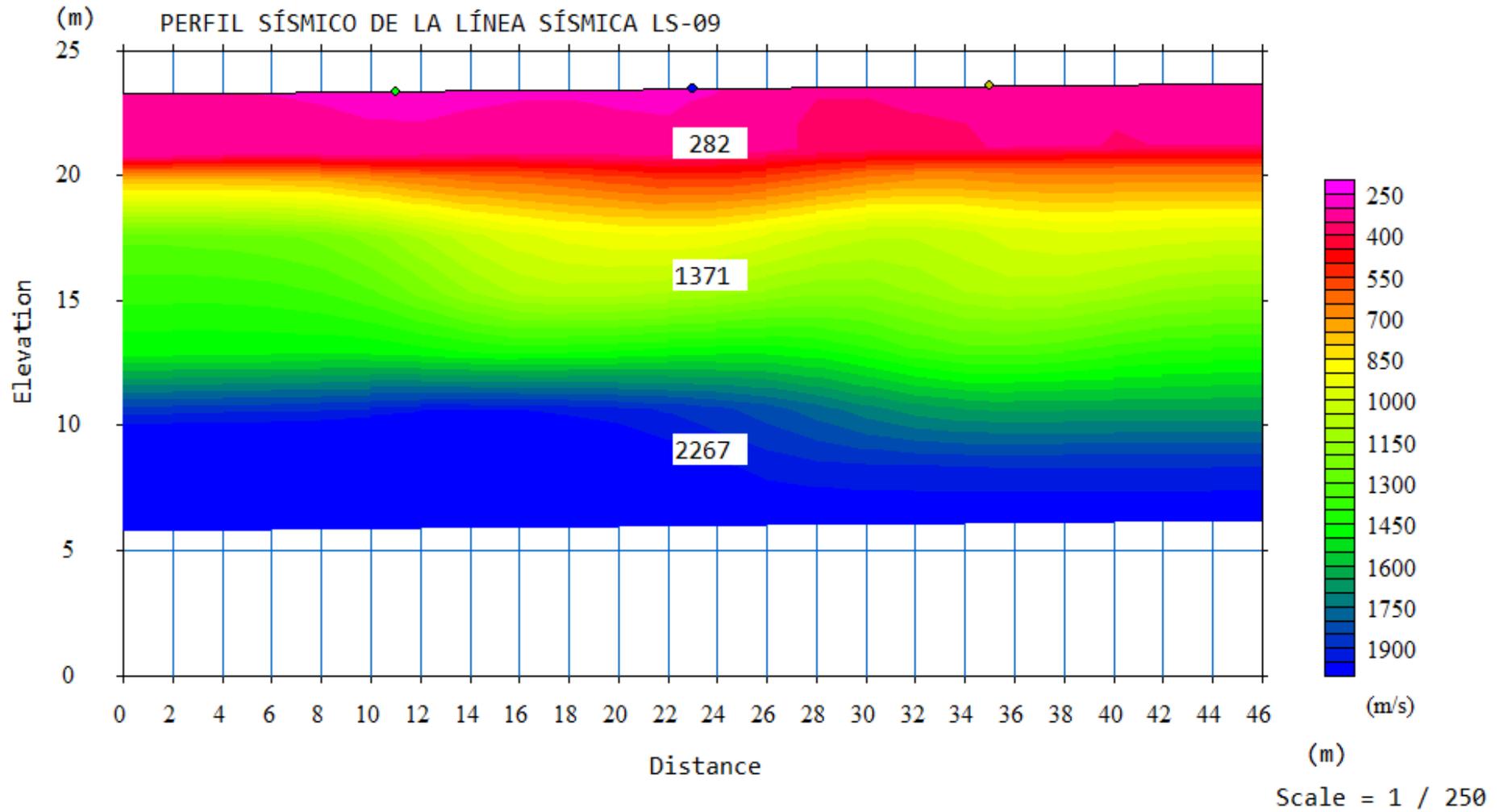


Figura 99. Perfil sísmico de la línea LS-09

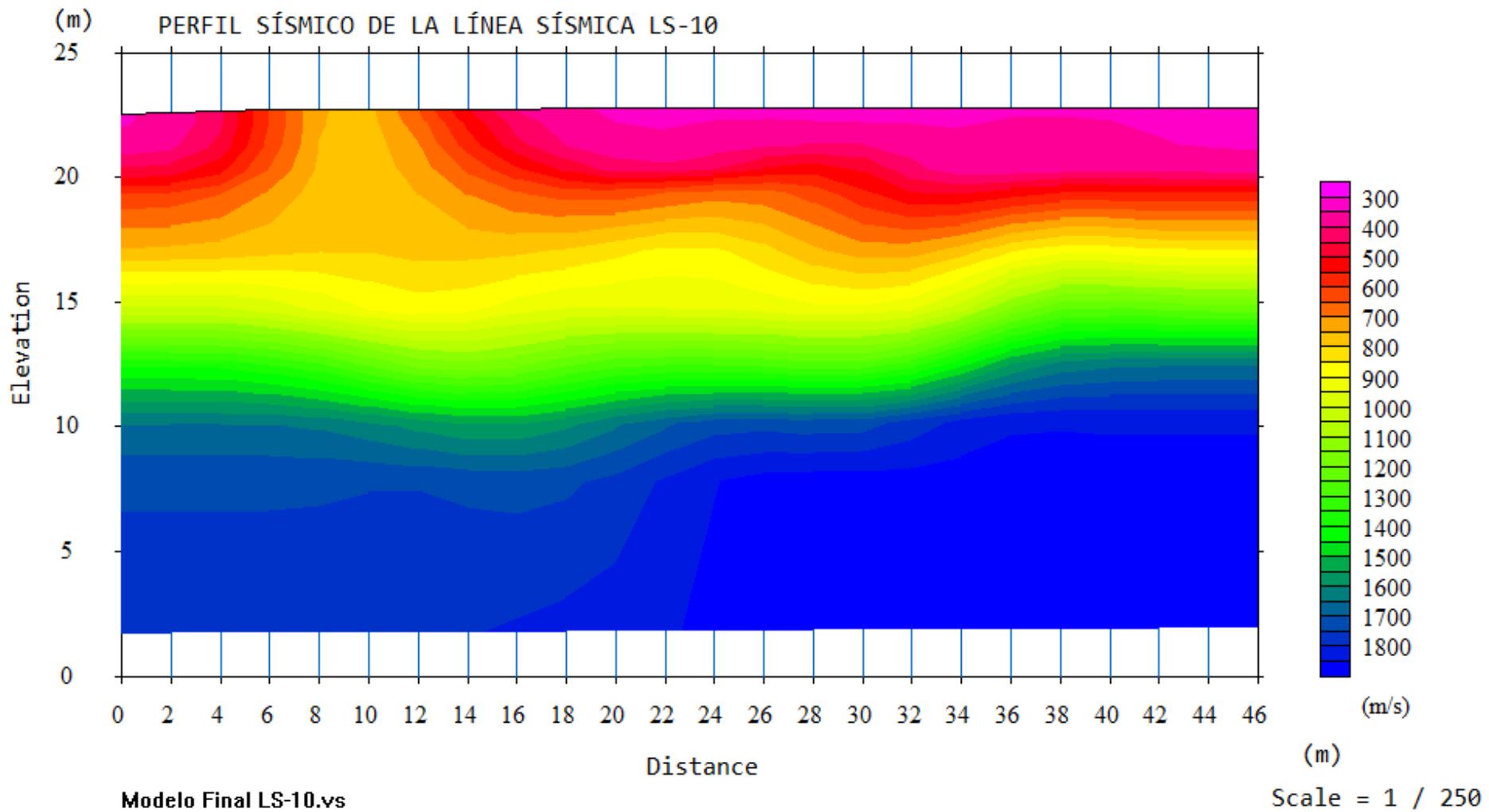


Figura 100. Perfil sísmico de la línea LS-10

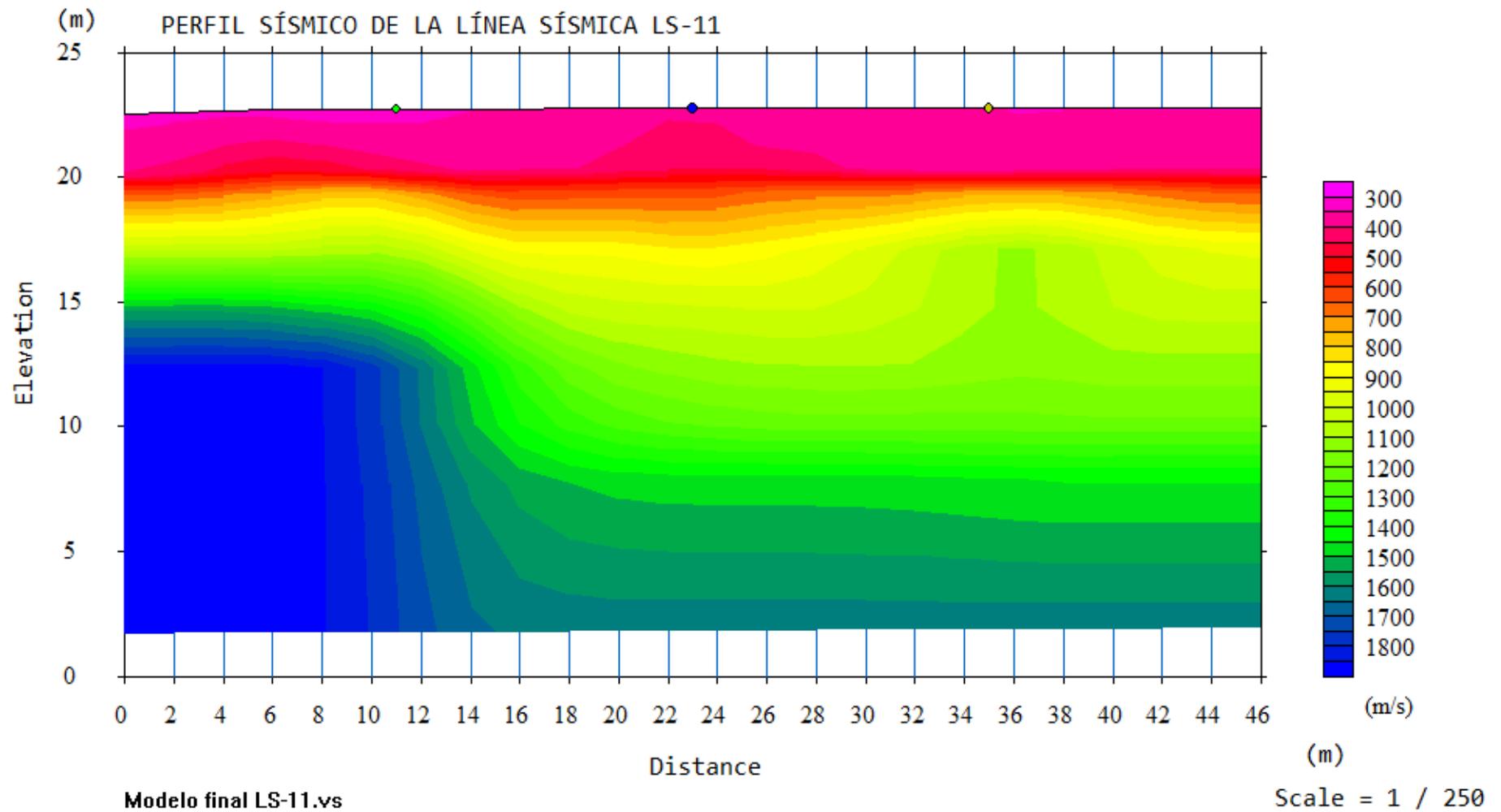


Figura 101. Perfil sísmico de la línea LS-11

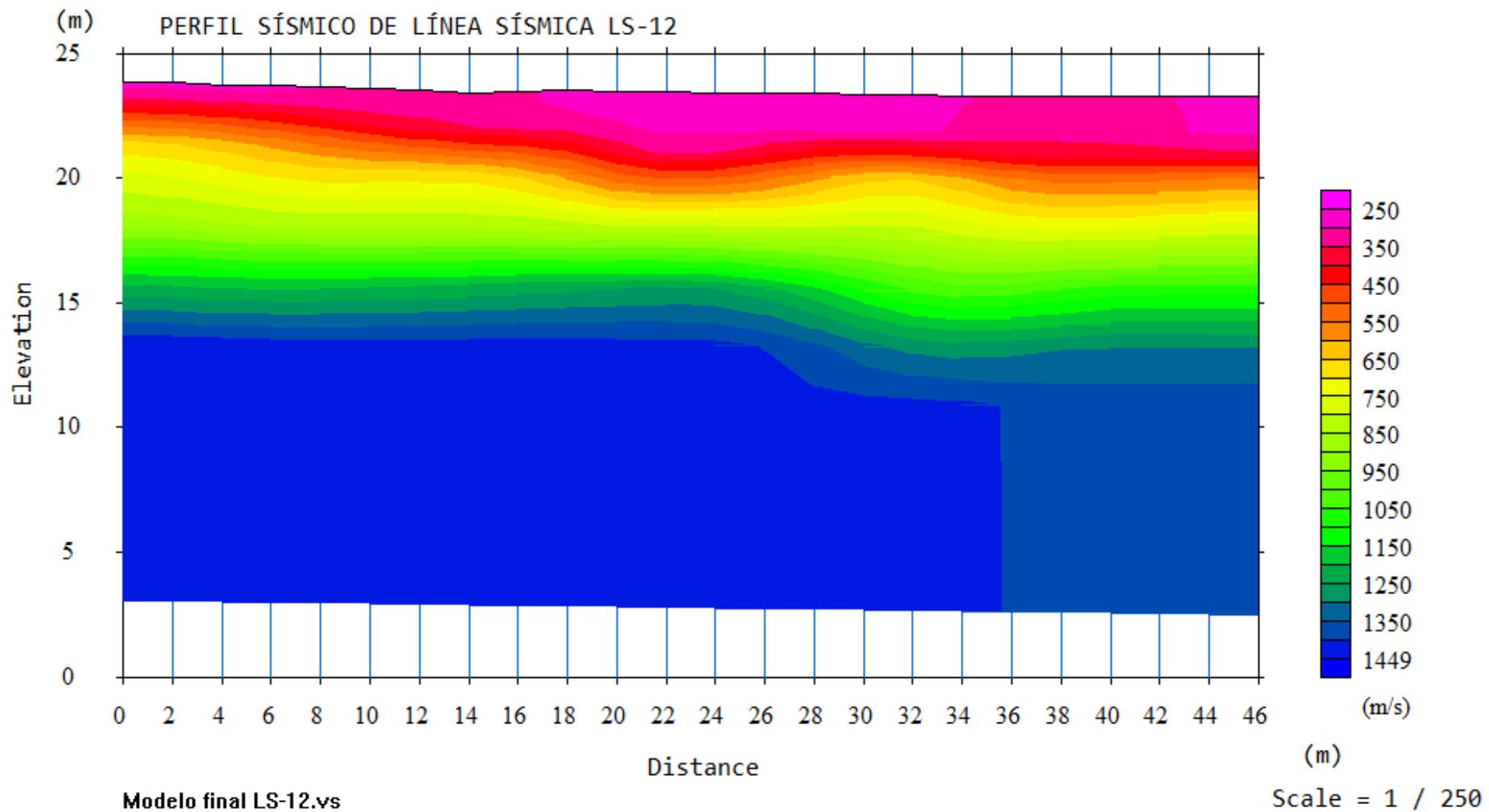


Figura 102. Perfil sísmico de la línea LS-12

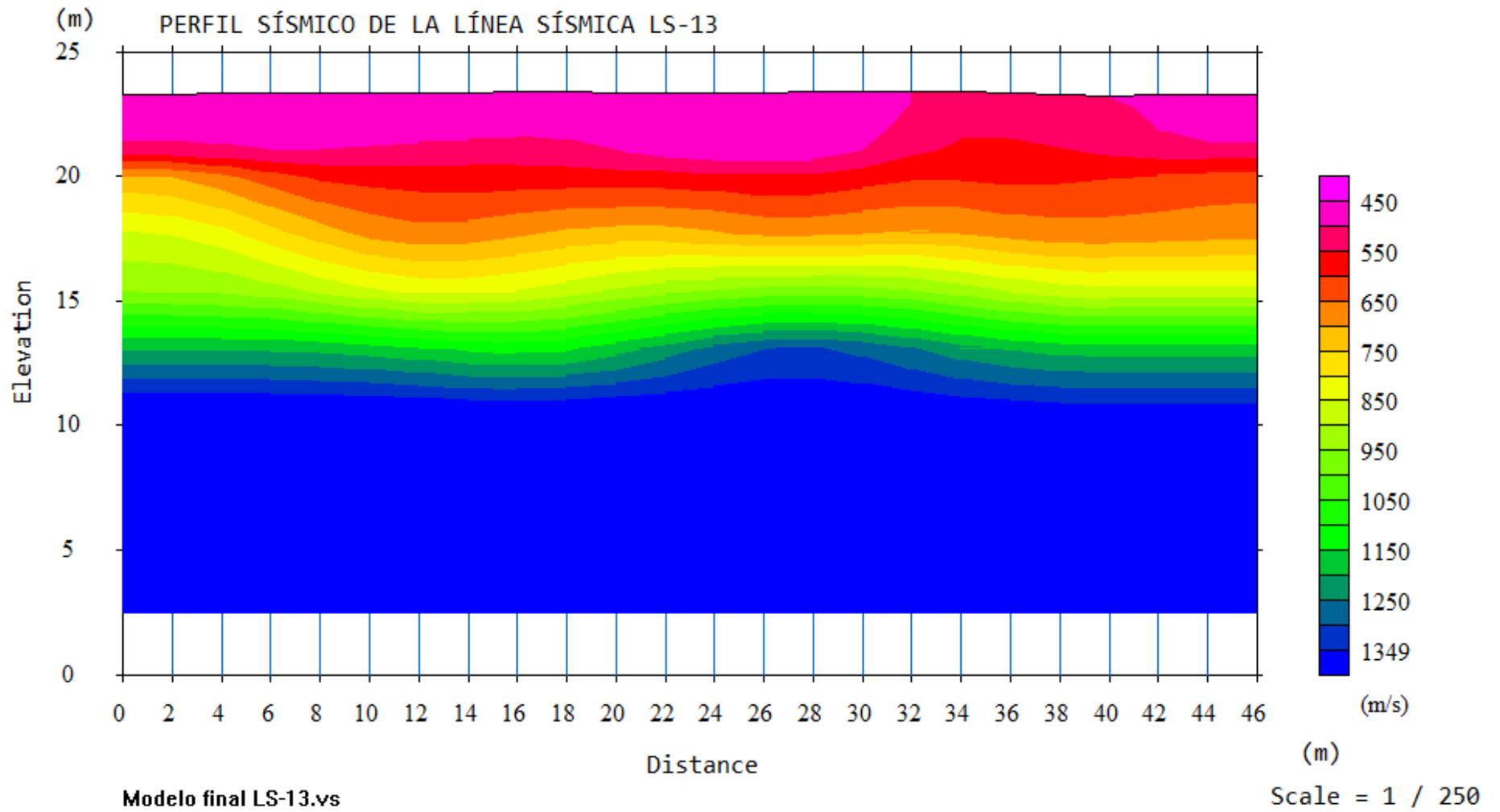


Figura 103. Perfil sísmico de la línea LS-13

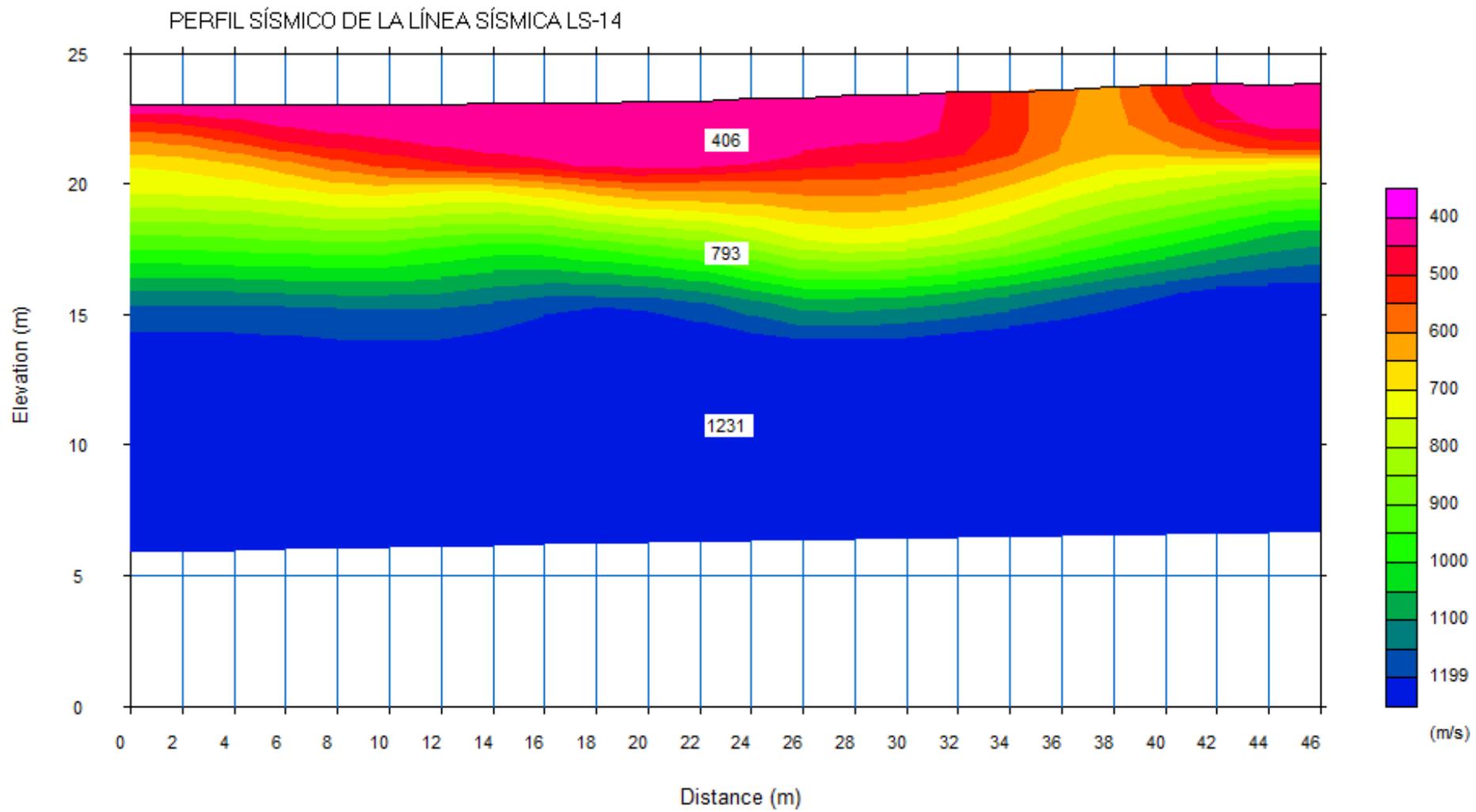


Figura 104. Perfil sísmico de la línea LS-14

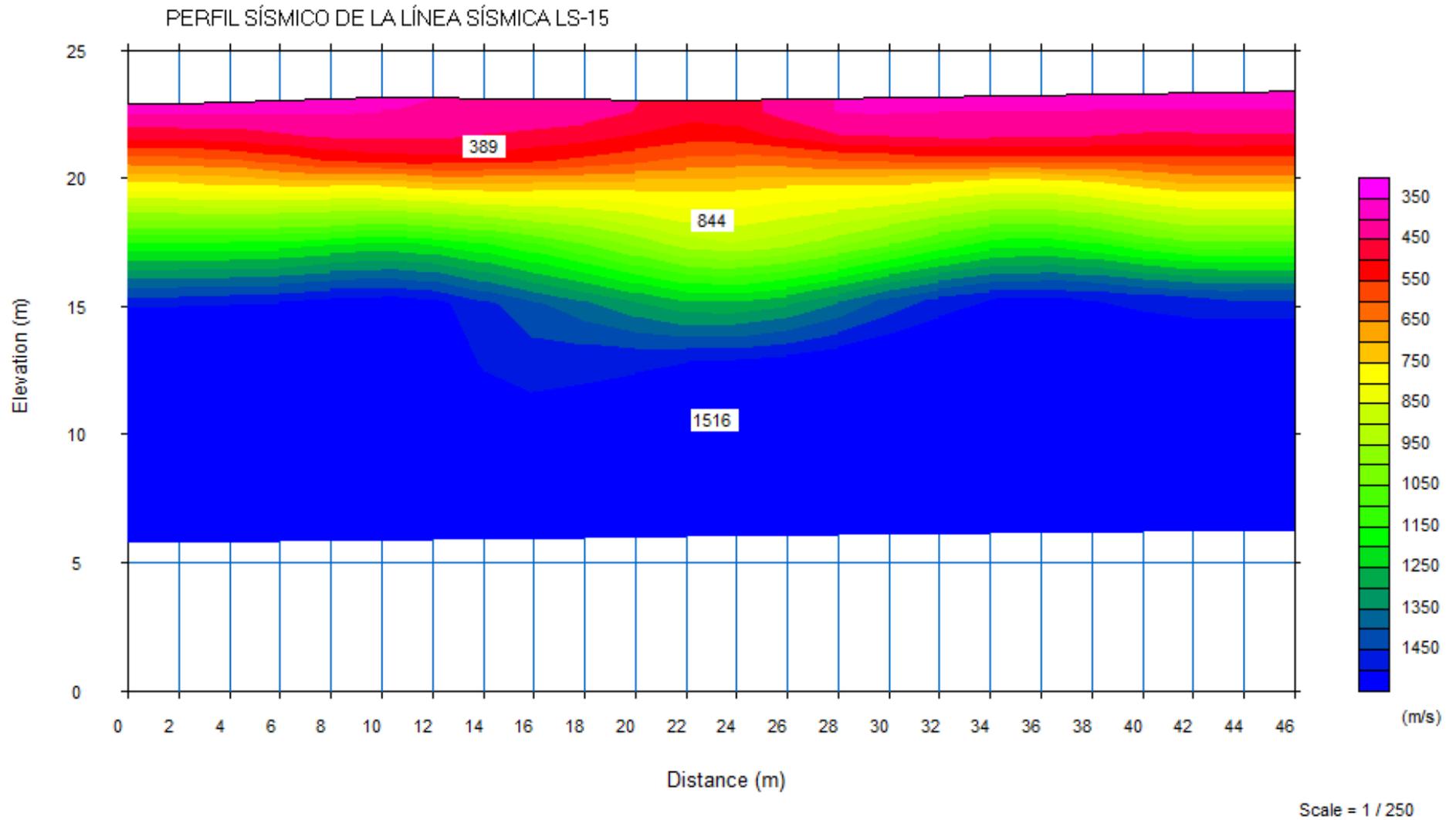
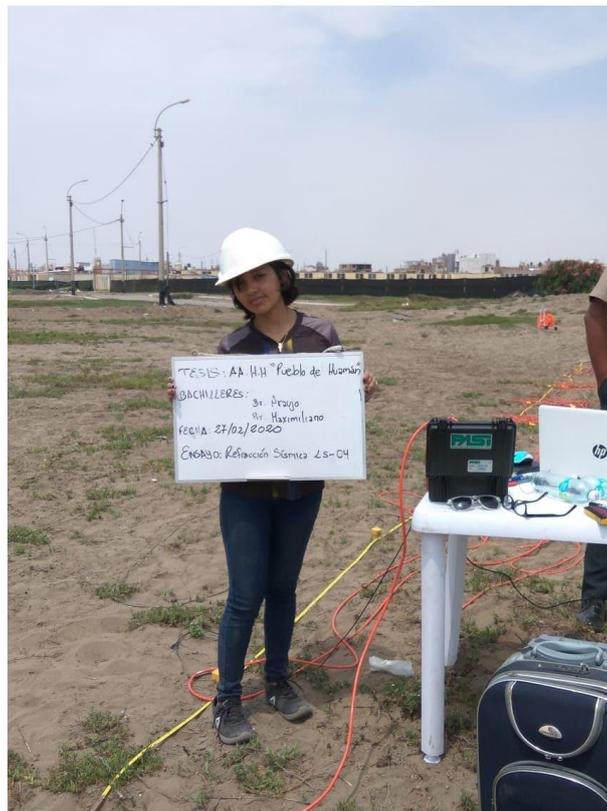


Figura 105. Perfil sísmico de la línea LS-15

ANEXO 11. Panel fotográfico de las líneas sísmicas en campo



Fotografía 1. Línea sísmica LS-01 llevada a cabo el 09 de marzo de 2020 en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”.



Fotografía 2. Línea sísmica LS-04 llevada a cabo el 09 de marzo de 2020 en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”.



Fotografía 3. Línea sísmica LS-05 llevada a cabo el 27 de febrero de 2020 en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”.



Fotografía 4. Línea sísmica LS-06 llevada a cabo el 27 de febrero de 2020 en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”.



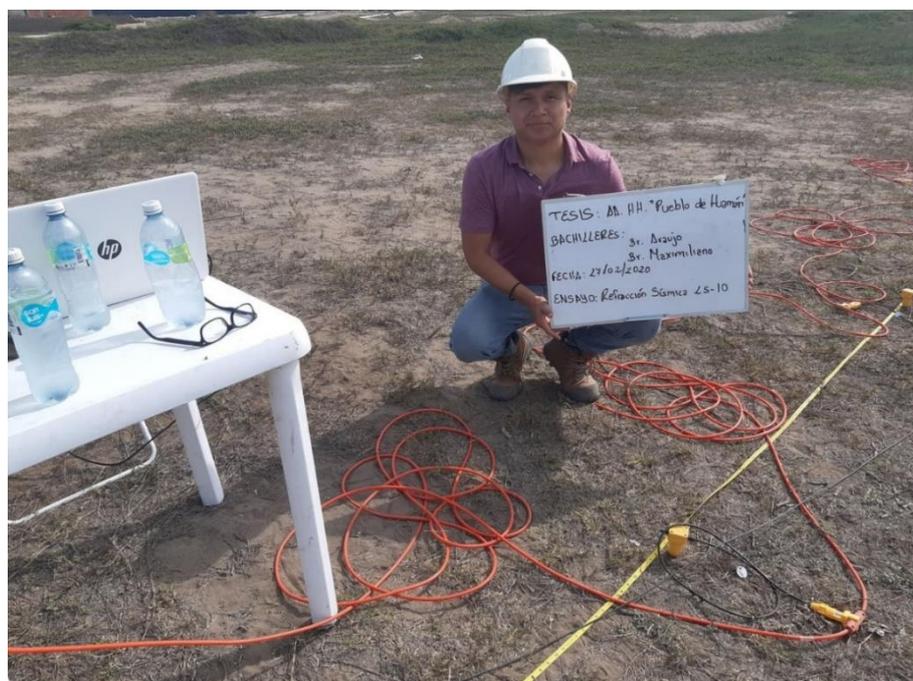
Fotografía 5. Línea sísmica LS-07 llevada a cabo el 27 de febrero de 2020 en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”.



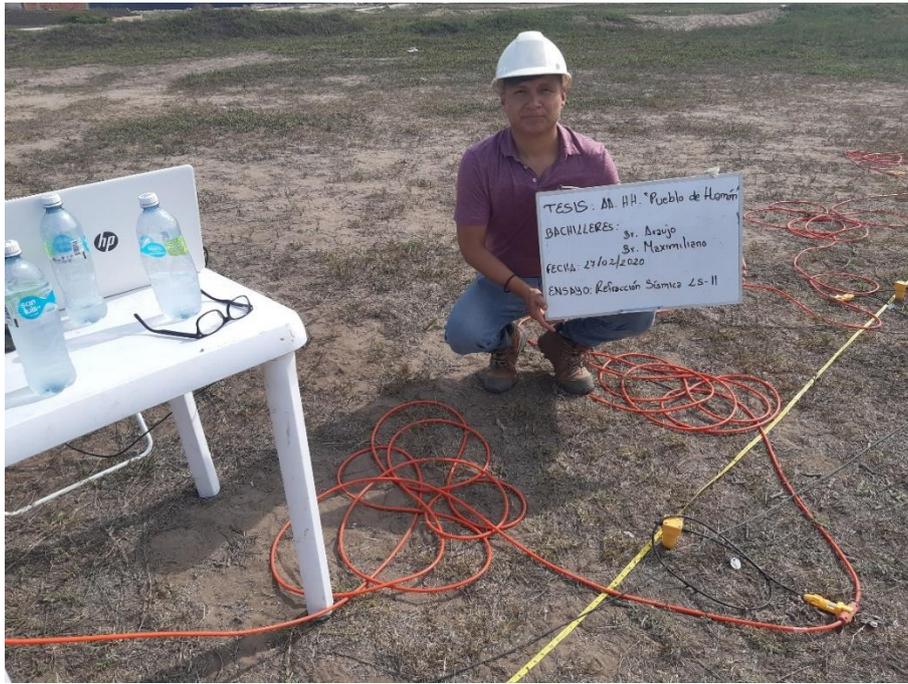
Fotografía 6. Línea sísmica LS-08 llevada a cabo el 27 de febrero de 2020 en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”.



Fotografía 7. Línea sísmica LS-09 llevada a cabo el 27 de febrero de 2020 en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”.



Fotografía 8. Línea sísmica LS-10 llevada a cabo el 27 de febrero de 2020 en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”.



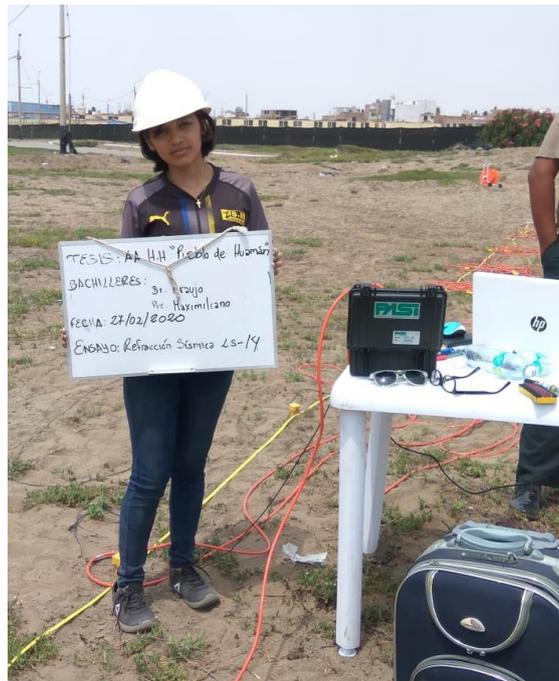
Fotografía 9. Línea sísmica LS-11 llevada a cabo el 27 de febrero de 2020 en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”.



Fotografía 10. Línea sísmica LS-12 llevada a cabo el 27 de febrero de 2020 en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”.



Fotografía 11. Línea sísmica LS-13 llevada a cabo el 27 de febrero de 2020 en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”.



Fotografía 12. Línea sísmica LS-14 llevada a cabo el 27 de febrero de 2020 en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”.



Fotografía 13. Línea sísmica LS-15 llevada a cabo el 09 de marzo de 2020 en el Asentamiento Humano “Pueblo de Huamán”.