

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
CHOTA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DEL PERFIL SÍSMICO DEL SUELO
MEDIANTE LOS MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA
Y MASW**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Presentado por:

Bach. MARELI MEDINA OCHOA

Asesor:

Msc. Ing. LUIS FERNANDO ROMERO CHUQUILIN

Chota, Perú

2022



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL – UNACH

1. DATOS DEL AUTOR:

Apellidos y nombres: **MEDINA OCHOA MARELI**

Código del alumno: **2014050146**

Correo electrónico: **mare.medi.09@gmail.com**

Teléfono: **945708934**

DNI: **71391075**

2. MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

Tesis

3. TÍTULO PROFESIONAL O GRADO ACADÉMICO:

Bachiller

Licenciado

Título

Magister

Segunda especialidad

Doctor

4. TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

“EVALUACIÓN DEL PERFIL SÍSMICO DEL SUELO MEDIANTE LOS MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW”

5. FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

6. ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

7. ASESOR:

Apellidos y Nombres: **MSC.ING.LUIS FERNANDO ROMERO CHUQUILIN**

Teléfono: **976481585**

Correo electrónico: **lfromeroch@unach.edu.pe**

D.N.I.: **26682903**

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Autónoma de Chota publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNACH, versión digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

FIRMA:

DNI:71391075

Fecha, 15 de septiembre 2022

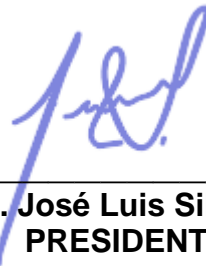
**EVALUACIÓN DEL PERFIL SÍSMICO DEL SUELO
MEDIANTE LOS MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA Y
MASW**

POR:

Bach. MARELI MEDINA OCHOA

**Presentada a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería
de la Universidad Nacional Autónoma de Chota para optar
el título de
INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR



**Mg. Ing. José Luis Silva Tarrillo
PRESIDENTE**



**Ing. Mg. Jefferson Ruiz Cachi
CIP N° 163808**

**Mg. Jefferson Ruiz Cachi
SECRETARIO**



**Mg. Cristhian Saul López Villanueva
VOCAL**

ACTA N° 01-2022/EPIC/UNACH

Siendo las 8:00 pm horas, del día 31 de agosto de 2022, en video conferencia del aplicativo Microsoft Teams, los miembros del Jurado de Tesis titulada:

“EVALUACIÓN DEL PERFIL SÍSMICO DEL SUELO MEDIANTE LOS MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW”, integrado por:

- | | | |
|----|--------------------------------------|------------|
| 1. | Mg. Ing. José Luis Silva Tarrillo | Presidente |
| 2. | Mg. Ing. Jefferson Ruiz Cachi | Secretario |
| 3. | Mg. Ing. Cristhian López Villanueva. | Vocal |



Sustentado por la Bach. Mareli Medina Ochoa, con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

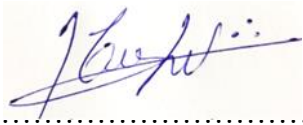
Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado, por el público asistente, y las respuestas contestadas por el Tesista, luego de la deliberación del Jurado Evaluador, se acordó Aprobar la tesis, calificándola con la nota de: dieciséis (16).

Asimismo se acordó elevar la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el TÍTULO de INGENIERO CIVIL.

Firmado en: Chota, 31 de Agosto del 2022


.....
Presidente


.....
 Ing. Mg. Jefferson Ruiz Cachi
CIP N° 163808
.....
Secretario


.....
Vocal

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por las bendiciones, las oportunidades y por permitirme llegar hasta aquí.

Agradezco a mi familia por su aporte moral y económico en todos estos años de manera incondicional.

A mis amigos por la valiosa amistad formada y el apoyo manifestado durante la elaboración de la presente investigación.

A mi asesor, Ing. Luis Fernando Romero Chiquilín, por la disposición y asistencia que me brindó durante la realización de la presente tesis.

Por sus valiosos conocimientos entregados y por el apoyo brindado en las diversas consultas en el transcurso de la investigación agradezco a los docentes.

DEDICATORIA

Dedicado mi investigación:

A Dios: Por la vida, por la salud, y regalarme cada maravilloso día para seguir y cumplir cada una de las metas trazadas.

A mis progenitores: Víctor Medina y Alcira Ochoa por su comprensión, sus sacrificios realizados y todo el amor.

A Lucelina, Alamiro, Rony y Joselito mis hermanos: Quienes siempre me apoyan y son mi inspiración para alcanzar mis objetivos.

A mis maestros: Por el tiempo y esfuerzo que dedicaron a compartir sus conocimientos.

Al mismo tiempo va dedicado a todos los que de alguna forma contribuyeron con el presente trabajo.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	xi
ABSTRAC	xii
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Planteamiento del problema	13
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Justificación.....	14
1.4. Delimitación de la investigación	15
1.5. Limitaciones	15
1.6. Objetivos.....	15
1.6.1 Objetivo general.....	15
1.6.2 Objetivos específicos	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes de la investigación	17
2.1.1. Antecedentes internacionales	17
2.1.2. Antecedentes nacionales	19
2.1.3. Antecedentes regionales.....	24
2.2. Marco conceptual	25
2.2.1. Geología.....	25
a) Geología regional.....	25
b) Geología local	27
2.2.2. Ondas sísmicas.....	30
a) Elementos de una onda	30
b) Tipos de ondas	31
2.2.3. Método de Refracción Sísmica	33
a) Expansión y trayectoria de ondas.....	33
b) Dispositivos de medición	36
c) Dromocronas.....	37
d) Principios de interpretación en refracción.....	39
e) Casos de Refracción Sísmica	45
2.2.4. Análisis de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanales (MASW).....	49
2.2.5. Parámetros elásticos del suelo.....	50
a) Módulo de Elasticidad (E_d).....	51
b) Módulo de Poisson (ν).....	51
c) Módulo de Corte ($G_{m\acute{a}x.}$).....	52
d) Incompresibilidad Volumétrica (K_v).....	52
2.2.6. Peligro sísmico	53
a) Zonificación	53

b)	Estudios de microzonificación sísmica y sitio	54
c)	Medios geotécnicos.....	54
d)	Parámetros de sitio (S, T _P , T _L)	57
2.2.7.	Clasificación del tipo del suelo (IBC ,2012)	58
2.3.	Definiciones básicas	60
CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES.....		61
3.1.	Hipótesis	61
3.2.	Variables.....	61
3.2.1.	Variable única	61
3.3.	Operacionalización de variables.....	61
CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO		62
4.1.	Ubicación geográfica del estudio	62
4.2.	Unidad de análisis, población y muestra	63
4.2.1.	Población.....	63
4.2.2.	Muestra	63
4.3.	Tipo y descripción del diseño de investigación.....	64
4.3.1.	Tipo de investigación	64
4.3.2.	Diseño de investigación	65
4.4.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	66
4.4.1.	Técnicas	66
4.4.2.	Instrumentos.....	66
a)	Geófonos o sensores.....	66
b)	Cable sísmico	67
c)	Fuente sísmica (sistema de disparo trigger)	68
d)	Sismógrafo	69
e)	Amplificadores.....	70
f)	Unidad de control y almacenamiento.....	70
4.5.	Técnicas para el procesamiento y análisis de información	71
4.5.1.	Recolección de información.....	71
4.5.2.	Procesamiento de información.....	75
a)	Módulo Pickwin.....	75
b)	Módulo Plotrefa	76
4.5.3.	Análisis de Información	79
4.6.	Matriz de consistencia	80
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		81
5.1.	Presentación de resultados.....	81
5.1.1.	Resultados de medición mediante Refracción Sísmica	81
a)	Resultados de ensayo LRS-01.....	81

b)	Resultados de ensayo LRS-02.....	82
c)	Resultados de ensayo LRS-03.....	83
5.1.2.	Resultados de medición mediante MASW.....	84
a)	Resultados de ensayo MASW-01.....	84
b)	Resultados de ensayo MASW-02.....	85
c)	Resultados de ensayo MASW-03.....	86
5.1.3.	Parámetros elásticos y capacidad portante del suelo.....	87
a)	Resultados de parámetros elásticos.....	87
b)	Resultados de capacidad portante.....	88
5.2.	Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	90
5.2.1.	Análisis y discusión de datos obtenidos para el ensayo de RS (Vp).....	90
a)	LRS-01.....	90
b)	LRS-02.....	91
c)	LRS-03.....	91
5.2.2.	Análisis y discusión de datos obtenidos para el ensayo de MASW (Vs).....	92
a)	MASW-01.....	92
b)	MASW-02.....	93
c)	MASW-03.....	93
5.2.3.	Análisis y discusión de parámetros elásticos y capacidad portante del suelo.....	94
a)	Tendido 01.....	94
b)	Tendido 02.....	95
c)	Tendido 03.....	95
5.3.	Contrastación de hipótesis.....	95
CONCLUSIONES.....		96
RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS.....		97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		98
ANEXOS.....		104
Anexo N° 1. Panel fotográfico.....		104
Anexo N° 2. Ensayos de Refracción Sísmica.....		115
Anexo N° 3. Ensayos de Análisis Multicanal de Ondas de Superficie (MASW).....		128
Anexo N° 4. Formatos de presentación de datos de clasificación sísmica y parámetros elásticos.....		141
Anexo N° 5. Formatos de presentación de datos-parámetros elásticos.....		145
Anexo N° 5. Planos.....		149

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Unidades estratigráficas del cuadrángulo 14f-Chota.....	28
Tabla 2. Factor "Z", según zonas sísmicas	54
Tabla 3. Resumen de valores para diferentes perfiles del suelo	57
Tabla 4. Factor "S", según zona y perfil sísmico del suelo	57
Tabla 5. Periodos "T _P " y "T _L "	58
Tabla 6. Denominación de tipos de suelo según IBC.....	59
Tabla 7. Operacionalización de variables.....	61
Tabla 8. Cantidad de puntos de estudio según tipo de edificación u obra.....	64
Tabla 9. Coordenadas de los puntos de estudio-Refracción Sísmica	64
Tabla 10. Coordenadas de los puntos de estudio -Sondeo MASW	64
Tabla 11. Clasificación del tipo de suelo según Norma ASTM D 5777	78
Tabla 12. Descripción del perfil sísmico - Refracción Sísmica - LRS-01.....	81
Tabla 13. Descripción del perfil sísmico - Refracción Sísmica - LRS-02.....	82
Tabla 14. Descripción del perfil sísmico - Refracción Sísmica - LRS-03.....	83
Tabla 15. Descripción del perfil sísmico - MASW - MASW-01	84
Tabla 16. Descripción del perfil sísmico - MASW - MASW-02	85
Tabla 17. Descripción del perfil sísmico - MASW - MASW-02	86
Tabla 18. Resultados de parámetros elásticos-Tendido 01.....	87
Tabla 19. Resultados de parámetros elásticos-Tendido 02.....	87
Tabla 20. Resultados de parámetros elásticos-Tendido 03.....	87
Tabla 21. Valores de n según V _s y tipo de suelo.....	88
Tabla 22. Resultados de capacidad portante -Tendido 01	89
Tabla 23. Resultados de capacidad portante -Tendido 02	89
Tabla 24. Resultados de capacidad portante -Tendido 3	89
Tabla 25. Factores sísmicos en zona de estudio	96

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición típica de la Formación Chota.....	27
Figura 2. Vista del afloramiento de la Formación Chota	28
Figura 3. Mapa geológico del cuadrángulo 14 f -Chota.....	29
Figura 4. Elementos de una onda	30
Figura 5. Comportamiento de ondas P	31
Figura 6. Comportamiento de ondas S	31
Figura 7. Comportamiento de ondas Rayleigh.....	32
Figura 8. Comportamiento de ondas Love	32
Figura 9. Comportamiento de un frente de onda según el principio de Huygens	33
Figura 10. Perfil del suelo con dos estratos, el inferior presenta mayor velocidad.....	34
Figura 11. Comportamiento de las ondas en un cuerpo de dos capas	35
Figura 12. Formación del ángulo crítico de refracción i_c	35
Figura 13. Registro típico de ondas	37
Figura 14. Curvas tiempo-distancia según ubicación de fuente de energía sísmica	38
Figura 15. Relación entre la longitud de tendidos y profundidad de estudio.....	39
Figura 16. Trayectoria de una onda sísmica entre dos medios elásticos	40
Figura 17. Llegada de energía sísmica a geófonos.....	41
Figura 18. Gráfica de velocidades aparentes.....	42
Figura 19. Representación del principio de reciprocidad.....	43
Figura 20. Gráfica del tiempo de intercepto en el origen	43
Figura 21. Gráfica del principio de paralelismo.....	44
Figura 22. Esquema de períodos de intercepto, para el caso de dos estratos	45
Figura 23. Periodos de intercepto	46
Figura 24. Metodología del intercepto, para geometrías planas.....	47
Figura 25. Esquema de períodos de intercepto, para el caso de varios estratos	48
Figura 26. Desarrollo del ensayo MASW y adquisición de datos.....	50
Figura 27. Mapa de Perú según su composición de zonas sísmicas.....	53
Figura 28. Localización del distrito de Chota donde se realizará los sondeos	62
Figura 29. Ubicación de Manzanas A, B y C de la Residencial El Mirador.....	63
Figura 30. Diseño de Investigación	65
Figura 31. Geófonos	67
Figura 32. Cable sísmico, para conexión de geófonos y sismógrafo	68

Figura 33. Instrumentos que conforman fuente sísmica.....	69
Figura 34. Sismógrafo	70
Figura 35. Conexión de sismógrafo y laptop.....	70
Figura 36. Incrustado de geófonos a suelo	71
Figura 37. Conexión de geófonos a cable sísmico	72
Figura 38. Placa donde se realiza el impacto o shot.....	72
Figura 39. Interruptor para marcar el tiempo cero	73
Figura 40. Posicionamiento de cable portador de geófonos y cable trigger.....	73
Figura 41. Esquema de ensayo para Refracción Sísmica y MASW.....	74
Figura 42. Distribución de shots para ensayos geofísicos.....	75
Figura 43. Registro de ondas-Refracción Sísmica-Módulo Pickwin	76
Figura 44. Perfil sísmico obtenido por método de Refracción Sísmica	77
Figura 45. Curva de dispersión obtenida por sondaje MASW	78
Figura 46. Sismograma de tendido sísmico para 24 canales	79

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el perfil sísmico del suelo obtenido mediante las técnicas de Refracción Sísmica y Análisis de ondas superficiales en arreglos multicanales (MASW), para determinar técnicamente cuál de ambos métodos nos permitirá obtener los parámetros de sitio: Factor de suelo (S) y los Periodos predominantes (T_P y T_L); para los suelos situados en las manzanas A, B y C de la Residencial El Mirador, ubicado en la ciudad, distrito y provincia de Chota, Región Cajamarca. La información obtenida de los ensayos de Refracción Sísmica, nos permitieron conocer la estratigrafía del sitio en estudio, con los sondeos MASW se logró obtener la clasificación del perfil sísmico del suelo y los parámetros de sitio mediante Norma Técnica E.030. Además, con este sondeo se logró determinar que el suelo de la Manzana A presentó una velocidad promedio de ondas secundarias (V_{S30}) = 328 m/s, para la Manzana B presento una V_{S30} = 439 m/s y para la Manzana C presento una V_{S30} = 462 m/s; llegando a la conclusión que todos los suelos del estudio pertenecen a un Perfil Tipo S_2 (Suelos intermedio). Los parámetros de sitio determinados fueron: Factor de suelo (1.20); periodo T_P (0.60 s) y periodo T_L (2.00 s). Para este estudio se realizaron 3 tendidos para ensayos de Refracción Sísmica y 3 puntos para sondeos MASW. Al evaluar los resultados obtenidos se determinó que al desarrollar los sondeos MASW, nos permite clasificar el perfil del suelo y por ende los parámetros de sitio.

Palabras Clave: Parámetros de sitio, Ensayos Geofísicos, Velocidades de propagación de onda.

ABSTRAC

The objective of this research was to evaluate the seismic profile of the soil obtained through the techniques of Seismic Refraction and Analysis of surface waves in multichannel arrays (MASW), to technically determine which of both methods will allow us to obtain the site parameters: Soil factor (S) and the Predominant Periods (TP and TL); for land located in blocks A, B and C of Residencial El Mirador, located in the city, district and province of Chota, Cajamarca Region. The information obtained from the Seismic Refraction tests allowed us to know the stratigraphy of the site under study, with the MASW surveys it was possible to obtain the classification of the seismic profile of the soil and the site parameters through Technical Standard E.030. In addition, with this survey it was possible to determine that the soil of Manzana A presented an average speed of secondary waves (V_{s30}) = 328 m/s, for Manzana B it presented a V_{s30} = 439 m/s and for Manzana C it presented a V_{s30} = 462 m/s; concluding that all the soils in the study belong to a Profile Type S2 (intermediate soils). The determined site parameters were: Soil factor (1.20); TP period (0.60 s) and TL period (2.00 s). For this study, 3 lines were made for Seismic Refraction tests and 3 points for MASW surveys. When evaluating the results obtained, it was determined that when developing the MASW surveys, it allows us to classify the soil profile and therefore the site parameters.

Keywords: Site parameters, Geophysical tests, Wave propagation speeds.

CAPITULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Nuestro país se encuentra ante un peligro sísmico constante debido a la presencia en su territorio de las placas tectónica Sudamericana y Nazca, las cuales al colisionar entre sí nos posicionan en una de las zonas más activas sísmicamente del mundo (Cinturón de Fuego).

En la región Cajamarca, las provincias con más actividad sísmica por así decirlo son la que están al norte (San Ignacio y Jaén). Si bien es cierto la provincia de Chota no ha sido epicentro de sismos de gran magnitud, pero si ha sido afectada por sismos cercanos; el más reciente ocurrido el 28 de diciembre del 2021, con epicentro en la provincia de Condorcanqui en la región de Amazonas con una magnitud de 7.5, el cual se sintió en las ciudades de Chota y Jaén (Cajamarca) y en ciudades de otras seis regiones del Perú. (Gestión, 2021)

Ante esta situación y considerando que en la actualidad se ha incrementado la búsqueda de zonas de expansión y teniéndose muchas veces suelos que no cumplen con las condiciones apropiadas para construir edificaciones sobre estas. Se ha visto por conveniente evaluar las características de los suelos no mediante sondeos mecánicos; sino empezado a utilizar métodos de exploración geofísica, como el de Refracción Sísmica y MASW (Análisis multicanal de ondas superficiales), los cuales nos permitirán conocer de manera detallada el perfil sísmico del suelo.

Los ensayos antes mencionados, presentan ciertas ventajas, según como menciona Jaimes (2011), quien indica que estas son técnicas no destructivas y de amplia exploración, asimismo se obtienen diferentes parámetros tales como

densidad, velocidad de propagación de las ondas de compresión y de corte, parámetros elásticos, entre otras. Por su parte (Rivera, Piedra y Paripanca 2016), indican que las ventajas más importantes de utilizar las metodologías geofísicas son significativas por lo asequible y rápido que resultan al realizarse; y es ahí donde se resalta la importancia del estudio y difusión de estos métodos.

En la ciudad de Chota no se realizan estudios de suelos con estos métodos de prospección sísmica, es por ello que este trabajo de investigación pretende dar a conocer su metodología, y principalmente describir y comparar los perfiles sísmicos del suelo obtenidos mediante los ensayos de Refracción Sísmica y MASW en la Residencial El Mirador, en la ciudad de Chota, distrito y provincia de Chota-Región Cajamarca. Esto con la finalidad de obtener los parámetros de sitio como son: Factor de suelo (S) y los Periodos predominantes (T_P y T_L); para poder conocer el comportamiento del suelo ante sismos de distintas magnitudes y así tener en cuenta las consideraciones necesarias al momento de plantear el diseño para las cimentaciones en edificaciones.

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son los resultados de la evaluación del perfil sísmico del suelo de la Residencial el Mirador obtenidos por los métodos de Refracción Sísmica y MASW?

1.3. Justificación

Este estudio es importante debido a que se ha realizado la evaluación del perfil sísmico del suelo, permitiéndonos conocer la estratigrafía del suelo y según sus velocidades de onda que presentan, se realizó su clasificación según la Norma E.030 (2019).

El conocimiento de los métodos geofísicos (Refracción Sísmica y MASW) utilizados en esta investigación es muy importante porque nos permitió reconocer sísmicamente el suelo de cimentación, además presenta ventajas considerables tales como son: Son más rápidos de realizar y de procesar los datos; son ensayos no destructivos al no perjudicar el medio ambiente y sobre todo nos brinda información del suelo a grandes profundidades. Con los métodos geofísicos se logró evaluar y determinar los perfiles del suelo y finalmente obtener los parámetros de sitio (factor de suelo y los periodos predominantes) para los suelos de la Residencial el Mirador en la ciudad de Chota.

1.4. Delimitación de la investigación

Esta investigación se desarrolló en las manzanas A, B y C de la Residencial El Mirador en la ciudad de Chota, distrito y provincia de Chota, Región Cajamarca. Donde se realizaron tres tendidos para ensayos de Refracción Sísmica y tres puntos para ensayos MASW. El periodo de estudio tuvo una duración de 9 meses.

1.5. Limitaciones

La investigación se vio retrasada por la pandemia producida por la Covid-19, debido a que los equipos y el técnico de apoyo para la ejecución de los ensayos tenían que viajar desde Lima a Chota

1.6. Objetivos

1.6.1 *Objetivo general*

Evaluar el perfil sísmico del suelo mediante los métodos de Refracción Sísmica y MASW con el fin de obtener los parámetros de sitio para la Residencial El Mirador, Chota.

1.6.2 *Objetivos específicos*

- Obtener la velocidad de propagación de ondas de compresión (V_p), para determinar el perfil sísmico y tipo de suelo.
- Obtener el promedio de las velocidades de propagación de ondas de corte (V_{s30}), para determinar el perfil sísmico del suelo, según la clasificación dada por la Norma Técnica E.030 (2019).
- Comparar los resultados obtenidos por el método de Refracción Sísmica y MASW.
- Determinar los parámetros de sitio: Factor de suelo (S) y los Periodos predominantes (T_P y T_L) para los suelos de la Residencial El Mirador, Chota.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Jaimes (2011) realizó su trabajo de investigación denominada “Métodos Geofísicos aplicados a la caracterización de suelos: Estado de arte”, donde tuvo como objetivo estudiar a los ensayos geofísicos aplicados a la identificación de suelos y asimismo compararlos con los métodos geotécnicos utilizados en Ecuador. El autor llegó a la conclusión que la caracterización de suelos mediante métodos geofísicos es ventajosa frente a los métodos convencionales debido a que en estos no hay necesidad de manipular los suelos mediante sondeos o perforaciones. Además, indica que los métodos geofísicos brindan información sin alterar las muestras, abarcando grandes extensiones de terreno por ende optimizando tiempo y costo.

Naranjo y Dranichnikov (2012) desarrollaron su investigación “Cálculo de capacidad portante basado en geofísica y método convencional, El caso del puente sobre el río Maicito”; toma como punto de partida el desconocimiento en Chile de los ensayos geofísico y plantea un estudio comparativo con el fin de obtener la capacidad portante del suelo sobre el que se construirá el puente, evaluándose costos e impacto ambiental en la ejecución de ensayos para métodos geofísico, el método triaxial y los ensayos SPT (ensayo de penetración estándar).

Llegando a la conclusión que los ensayos de exploración sísmica son aceptables, confiables y recomendables para la obtención de parámetros elásticos del suelo. Además, no generan cambios en las características del suelo al

momento de realizar el ensayo y son menos costosos que los demás ensayos en estudio.

Avilés y Barzallo (2016) realizaron su estudio titulado “Caracterización de suelos del centro histórico de la ciudad de Cuenca mediante métodos geofísicos”. Según mencionan los autores en Ecuador se han venido haciendo uso de métodos geofísicos y que estos dan resultados de estudios de suelos de manera más rápida y sobre todo se obtuvo resultados más exactos.

Para este estudio se utilizaron los ensayos geofísicos (MASW y Refracción Sísmica) en tres lugares del centro histórico de la ciudad de Cuenca, donde los autores determinaron que sus suelos eran heterogéneos y la utilización de ensayos tradicionales como el SPT no eran suficientes para determinar la profundidad exacta de cada estrato. Por lo antes mencionado, Avilés y Barzallo concluyeron que realizar estudios de Refracción Sísmica resultan más favorables, debido a que son procedimientos no invasivos y de bajo costo.

Suárez (2017) en su informe de tesis “Optimización de parámetros para la adquisición de datos in situ por medio del método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)” dirigió su investigación, no en la comparación del método geofísico con los tradicionales, sino por el contrario se centró en evaluar los cuantificadores que intervienen en la toma de registro de ondas. Los cuantificadores evaluados fueron: distanciamiento entre geófonos, longitud total del tendido, longitud desde la fuente sísmica al receptor y la fuente sísmica. La finalidad del autor fue tener datos confiables para elaborar el perfil sísmico del suelo, tomando como punto base las velocidades de propagación de ondas secundarias (V_s).

Las conclusiones a las que llegó el autor para los parámetros evaluados fueron: Para la fuente emisora logro comprobar que mientras la fuente proporciona más energía de impacto al suelo, genera ondas superficiales con frecuencias más bajas, por ende, genera longitudes de onda más largas, incrementando la profundidad de exploración. Para el parámetro de la distancia de la fuente sísmica menciona que las ondas que presentan longitudes de onda más amplia requieren mayores distancias para desarrollarse. Para la distancia entre geófonos logró comprobar que mientras más pequeño es el espaciamiento entre ellos, el perfil del suelo resultante no tendrá mucha profundidad. Al evaluar la longitud total del tendido, el autor llego a la conclusión que este parámetro es el más importante debido a que se relaciona con la profundidad máxima del estudio, tal como sucede con el distanciamiento entre geófonos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Quispe (2012) plasmó en su estudio “Exploración Geofísica mediante métodos de Refracción Sísmica y MASW en proyectos de Ingeniería Civil” el desarrollo de estudios geofísicos a suelos en distritos de Lima y Callao, esto con el objetivo de evaluar las características de los suelos en sus diferentes ubicaciones.

Una de las intenciones del autor fue de mostrar los estudios geofísicos como una alternativa a los problemas ingenieriles típicos que presentan las técnicas directas puntuales (calicatas, perforaciones, ensayos In situ, ensayos de laboratorios, entre otros), ante esto propone la aplicación de técnicas indirectas, como son la metodología de los ensayos de Refracción Sísmica y MASW 1D.

Los resultados obtenidos para cada proyecto evaluado ayudaron a proporcionar acciones paliativas ya sea al momento de realizar el diseño del

proyecto, la construcción sismorresistente y en el caso de las construcciones existentes plantear un reforzamiento.

Rivera, Piedra y Paripanca (2016) detallan en su artículo científico “Ensayos Geofísicos de Refracción Sísmica y de Medición de Ondas de Corte (MASW y Análisis de Micro trepidaciones en Arreglo Multicanal (MAM)) para usos de cimentación en obra de edificaciones” la inquietud que existe por conocer el comportamiento del suelo no solo de ahora, sino desde hace mucho tiempo atrás, desarrollándose nuevos métodos de exploración entre ellos los de prospección sísmica.

En este estudio los autores evalúan los pro y contras de los ensayos geofísicos, a los cuales llegaron a la conclusión de que estos métodos son beneficiosos debido a la rapidez con la que se desarrollan generando ahorro económico. Además, los autores realizaron la microzonificación de los suelos teniendo en consideración la norma de Diseño Sismorresistente (E.030, 2016), mediante los perfiles del suelo.

López (2016) al desarrollar su tesis de maestría “Ensayos geofísicos para la exploración de suelos en estructuras patrimoniales “donde tuvo por objetivo evaluar el suelo y determinar sus parámetros dinámicos, pero teniendo en consideración que los lugares en estudio son estructuras patrimoniales y para ser evaluadas fue necesario el uso de técnicas no destructivas. Es por esto que el autor plantea la utilización de métodos geofísicos para la exploración de suelo.

El autor utilizó los métodos geofísicos de Refracción Sísmica, coeficiente espectral y MASW, con los que logró evaluar la estratigrafía del perfil del suelo, determinar características como la velocidad de propagación de ondas secundarias (V_s) e incluso determinar la rigidez del suelo. Además, logró

demostrar la eficacia de los métodos geofísicos, ya que estos son ensayos no destructivos.

Zevallos (2017) en su investigación “Métodos de Refracción Sísmica MASW-MAM y parámetros elásticos del puente vehicular interregional Pampas, Ayacucho - Apurímac 2016” su objetivo fundamental fue evaluar las normas que se deben considerar al momento de seleccionar los métodos de prospección sísmica antes mencionados para el procesamiento y cálculo de los indicadores elásticos del lugar de estudio.

Se realizaron 6 sondajes MASW, tres para el estribo derecho y tres para el estribo izquierdo; 6 sondajes de Refracción Sísmica (tres tendidos para cada estribo) y 2 sondajes MAM (un tendido para cada estribo). Una de las conclusiones que llegó el autor fue que los ensayos de MASW-MAM, proporcionan aceleraciones de ondas secundarias, ondas principales y el peso específico de los materiales, las que son útiles para la obtención de los indicadores elásticos del suelo. Para el caso de los ensayos MASW-MAM, existe normativa nacional que los rige (E. 030), caso contrario sucede con la metodología de los ensayos de Refracción Sísmica que se encuentran enmarcados por normativa internacional. Finalmente, el autor luego de analizar ambos métodos recomienda la utilización del método MASW en cualquier tipo de suelo.

Huanca y Flores (2019) llegó a desarrollar su tesis “Estudio geotécnico y geofísico con fines de cimentación para tres asociaciones de vivienda en la ciudad de Tacna” con el fin principal de evaluar las características del suelo mediante ensayos geofísico (Refracción Sísmica y MASW), apoyados por los ensayos geotécnicos mediante ensayos de laboratorio para obtener los parámetros físicos, mecánicos y dinámicos, esto con el propósito de obtener un prospecto de cimiento

para las viviendas de las asociaciones: “El Manantial”, “Los Damnificados del 23 de junio B” y “Corazón de María” situadas en el distrito Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa. Los autores llegaron a la conclusión que los métodos geofísicos nos permiten calcular las características dinámicas del suelo y se complementan con los ensayos de laboratorio, determinado que los suelos en estudio eran aptos para la construcción.

Bernales y Huanca (2019) en su investigación “Evaluación geotécnica para mejorar el diseño de muros en la vía Yurimaguas - Munichis, distrito de Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas” tomaron como punto de estudio las progresivas comprendidas entre los kilómetros 14+650 – 14+760 del proyecto “Mejoramiento y Rehabilitación de la carretera Yurimaguas – Munichis, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto”, debido a que este presentaba hundimiento de vía. Para el tramo en evaluación se efectuaron ensayos de penetración dinámica ligera (DLP), ensayos de Prospección Sísmica (MASW), ensayos de Refracción Sísmica, ensayos de Tomografía Eléctrica (ERT) y ensayos de laboratorio.

Basándose en ensayos MASW los autores concluyen que la zona de estudio presenta baja compacidad en sus suelos y que a partir de una profundidad de 4.50 m las aceleraciones comienzan a aumentar.

Jurado y Pérez (2019) al desarrollar su estudio “Análisis comparativo de métodos destructivos y no destructivos en la determinación de parámetros geotécnicos para estabilización de un talud en la costa verde-Miraflores”, la principal finalidad de los autores fue contrastar las características de resistencia obtenida tanto por metodologías destructivas y no destructivas, y así determinar

la estabilización, luego de haberse realizado la evaluación del talud ubicado en la Costa Verde -Miraflores.

Las conclusiones a las que llegaron los autores fueron:

- Los ensayos de Refracción sísmica y MASW (no destructivos), no son ensayos que puedan remplazar a los ensayos geotécnicos (Ensayos In Situ y de laboratorio). Por el contrario, son un complemento o de verificación.
- Según indican los autores al hacer el análisis de costos determinaron que los ensayos destructivos son 4 veces más costosos que los ensayos de prospección sísmica.
- Al evaluar los periodos de ejecución de los ensayos, llegaron a la conclusión de que los métodos no destructivos toman un tiempo de 4 días aproximadamente para la toma y procesamiento de datos. Mientras que para el desarrollo de los ensayos destructivos tomaría más tiempo debido a que se desarrolla en dos partes, primero la obtención de muestras y finalmente la evaluación de estas en el laboratorio.

Merma (2021) en su estudio “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de suelos aplicando el ensayo de Refracción Sísmica y el método (MASW) en el pueblo Joven Belén Distrito Yauri Espinar-Cusco” concluyo que mediante ensayos de Refracción Sísmica se pudo identificar que el perfil sísmico estaba conformado por tres estratos con profundidad total de 30 m, su aceleración promedio de ondas de corte fue de 360 m/s lo que indica según la Norma E.030 que se tratan de suelos tipo S₂. Además, indican que los parámetros obtenidos mediante ensayos de MASW son: Módulo de Poisson, Módulo de Elasticidad, Módulo de Corte y la capacidad portante del suelo.

2.1.3. Antecedentes regionales

Chapilliquen (2017) en su estudio “Caracterización Geotécnica del suelo y roca para el diseño de pozas sedimentarias en la zona de Ciénega Norte-Tantahuatay, Cajamarca”; realizó múltiples ensayos y a esto vio conveniente adicionar datos obtenidos para 4 tendidos de Refracción Sísmica y 3 puntos de MASW/MAM. Estos ensayos fueron desarrollados anteriormente por Ausenco (2014) el cual realizó los ensayos geofísicos en el lugar de Ciénega Norte. La idea principal del autor al tomar los datos antes mencionados fue de determinar de manera indirecta la composición estratigráfica del suelo y además obtener las principales características sísmicas del suelo, para lograr una caracterización geotécnica

Salas (2021) en su tesis “Comparación de la respuesta estructural de una edificación utilizando espectros de diseño probabilísticos y espectros de la normativa vigente para la ciudad de Cajamarca”, realizó una evaluación a la edificación ubicada en la ciudad de Cajamarca aproximadamente a 200 m del Complejo deportivo Qhapac Ñan, para parte de este estudio el autor tomo como punto de partida los 21 ensayos MASW realizados por Alva (2008) para el complejo deportivo, en el cual indica que las velocidades de propagación de onda resulta pertenecer a un tipo de suelo S_2 (Suelos intermedios). El autor describe que los utilizó para obtener los factores de ampliación F_a y F_v lo que le ayudaron a obtener los espectros de diseño de manera probabilística.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Geología

a) Geología regional

Litoestratigrafía: Las unidades estratigráficas más relevantes de la región Cajamarca son las siguientes:

- **Formación Chota:** En una evaluación que realiza el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2022), cita a Reyes quien define que la Formación está compuesta por conglomerados calcáreos de color gris parduzco, areniscas de color rojizo combinadas con lechos de arenas tobáceas de color claro, verdosos y violáceo. Por otra parte, da a conocer que esta estratigrafía está formada por tres capas: La inferior presenta conglomerados de clastos redondeados cubiertos por material arenolimoso; en la parte media muestra una sucesión de arenisca polimíctica con tonalidades que varían entre gris verdosa a pardo y en la parte superior corresponde a flujos piroclásticos ovalados de color gris blanquecinos, con aglomerantes y una que otra presencia de tobas riolíticas.
- **Formación Celendín:** (INGEMMET, 2022) alude a Reyes quien, detalla que la Formación es una combinación de calizas claras, cremas o amarillentas, margas y lulitas las cuales están levemente meteorizadas, muy fracturadas (generalmente es bastante fosilífera). Además, menciona que esta la formación es suprayacente uniformemente a la Formación Cajamarca, se ha presentado casos de que esta infrayace a depósitos continentales de la Formación Chota con divergencia angular.
- **Formación Cajamarca:** Al ser similar a la Formación Pulluicana, presenta geomorfos a manera de farallones escarpados que son visibles en

la superficie actual manteniéndose resistentes a la erosión. Esta Formación está conformada por lechos de calizas desde finas hasta macizas, micríticas y biomicríticas que van desde un color gris hasta un color pardo claro, y en su interior presentan inserciones delgadas de calizas arcillíticas que envuelven fósiles entre estratos ondulados con espesores de 50 cm a 1m. Según Aliaga (2003), menciona que el espesor de esta Formación no excede los 100 m, es suprayacente a la Formación Quilquiñan e infrayacente a la Formación Celendín.

- **Formación Quilquiñan-Mujarrúm (Ks-qm):** Según el estudio geológico para la Zonificación Ecológica y Económica de la Región Cajamarca realizada por Crisólogo en el año 2009, describe que esta formación está conformada por dos partes: Una formación superior (Quilquiñan), la que es infrayacente con divergencia paralela a la formación Cajamarca; mientras que la parte inferior (Mujarrúm) descansa concordantemente sobre la formación Yamagual. La composición de esta formación está dada por calizas nodulares, intercalada por margas y lulitas amarillentas con abundantes elementos del género *Exogyra* en la base, seguida por delgados depósitos de caliza nodulares con margas de color pardo amarillento y algunas fosilíferas. Finalmente está conformada por lechos de calizas claras con lulitas arenosas y margas delgadas con amplia presencia de fósiles. Alcanzando una profundidad de aproximada de 500 m. Esta formación está presente en la Pampa de la culebra cerca de La Encañada. La edad y correlación a la que pertenece la fauna identificada en las formaciones Mujarrúm y Quilquiñan está comprendida entre el Cenomaniano medio y el Turoniano inferior.

- **Formación Pulluicana:** Conformada por calizas nodulares, por lo general en estratos mayores a 50 cm presentan estratigrafía con límites ondulados. Además, esta formación tiene como característica formar farallones pronunciados y escarpados altamente resistentes a la erosión, donde sobresalen las calizas macizas. Este tipo de formación se ha desarrollado en ambas márgenes del Sinclinal de Bagua, alcanzando paralelamente a los estratos contiguos del cretáceo. (Aliaga, 2003, p. 39)

b) Geología local

INGEMMET (2022), realizó una evaluación de deslizamientos en el sector denominado las Lagunas (cercana a zona Residencial El Mirador). En la cual nos describe que la Formación Chota es la que predomina en la zona de estudio, en su parte inferior se encuentra análoga a la Formación Celendín la cual es infrayacente. Litológicamente la Formación Chota está compuesta por clastos redondeados con diámetros entre 5-20 cm, envueltos por un conglomerado de areniscas, areno limosos, que van de colores desde gris a pardo en la superficie.

Véase Figuras 1 y 2

Figura 1.

Composición típica de la Formación Chota



Nota: INGEMMET (2022)

Figura 2.

Vista del afloramiento de la Formación Chota



Nota: INGEMMET (2022)

Para el desarrollo del estudio geológico de zona Residencial El Mirador se utilizará la información dada por el INGEMMET del mapa geológico del cuadrángulo de Chota - hoja 14-f cuadrante I. Véase Tabla 1 y Figura 3.

Tabla 1.

Unidades estratigráficas del cuadrángulo 14f-Chota

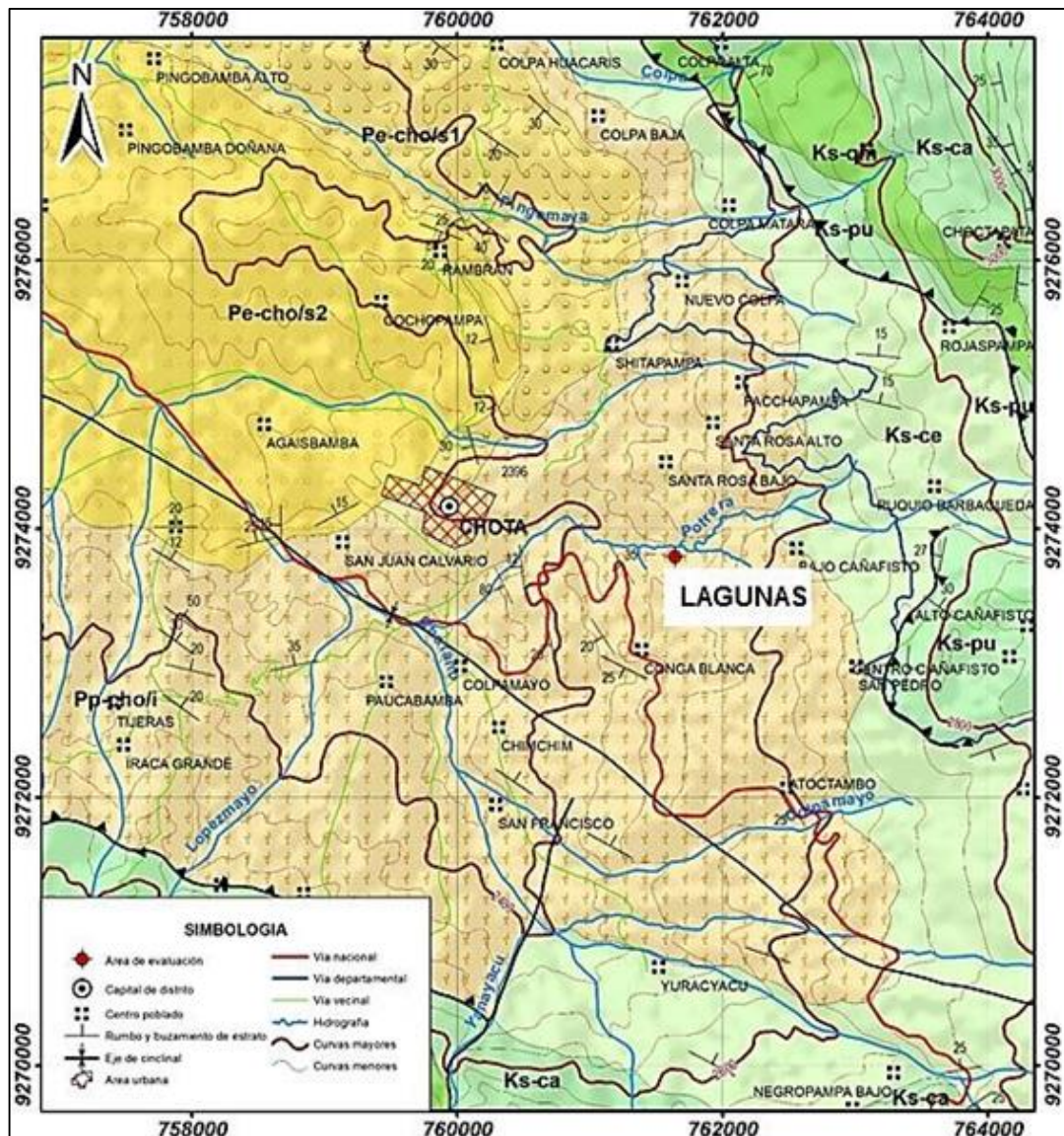
ERA	SISTEMA	SERIE	
CENOZOICO	PALEOGENO	EOCENO	Pe-cho/s Formación Chota superior (45-42 Ma) Flujos piroclásticos re trabajados con líticos sub-redondeados de color gris blanquecinos, con lentes conglomerantes y niveles de tobas riolíticas de cristales cuarzo redondeado
			Pe-hu/1 Rocas de la Secuencia Volcánica de Huangas Depósitos de lavas andesíticas porfíricas gris verdosas
			Pe-cho/m Secuencia de arenisca polimictica feldespático, gris verdoso a pardo, laminación horizontal con canales conglomerados
	PALEOCENO	Pp-cho/i Formación Chota Inferior (66-45 Ma) Conglomerados con clastos redondeados principalmente de cuarcitas y escasos clastos volcánicos, tamaño promedio de 10 cm envueltos en una matriz areno-limoso	

MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	Ks-ce	Formación Celendín Calizas mudstone a packstone, grises en capas de 2 a 5 cm. intercaladas con niveles de margas amarillentas. Espesor 150 m.
			Ks-ca	Formación Cajamarca Calizas mudstone gris oscura, bien estratificada en estratos de 0.2 a 0.5 m. Espesor 300 m.
			Ks-qm	Formación Quilquiñan Calizas packstone, colores grises en capas de 2 a 5 cm intercaladas con niveles de margas pardo amarillentas y lulitas grises calcáreas. Espesor de 150 m.
			Ks-pu	Formación Pullucana Calizas mudstone a wacktone nodulares gris oscuro en capas de 0.2 a 0.5 m. Alcanza un espesor de 500 m.

Nota: INGEMMET (2022)

Figura 3.

Mapa geológico del cuadrángulo 14 f -Chota



Nota: INGEMMET (2022)

2.2.2. Ondas sísmicas

Los diversos tipos de ondas generadas por los sismos o perturbaciones mecánicas hechas al suelo (comba, explosivo, entre otras) componen ondas como son: las ondas compresión (primarias) y las ondas de corte (secundarias) viajan en el interior del medio elástico, mientras las ondas Rayleigh y Love se transportan por medios superficiales.

a) Elementos de una onda

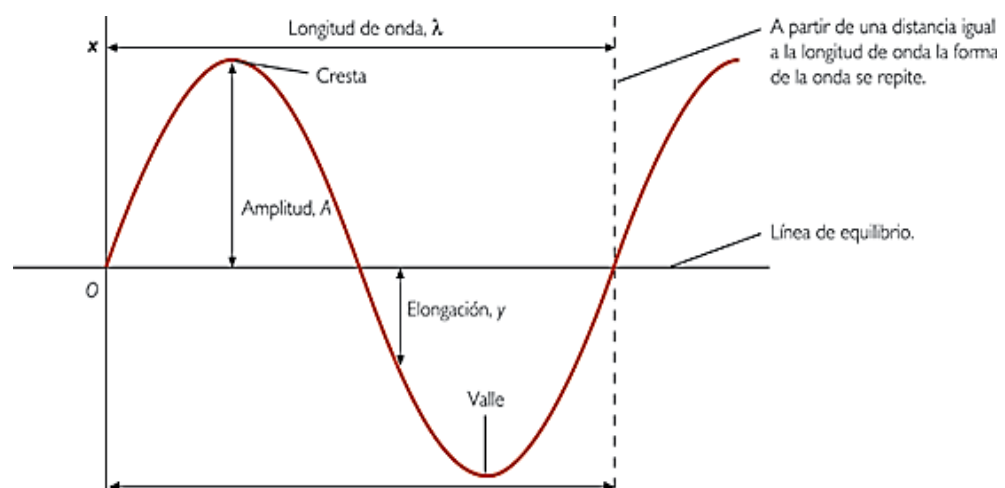
Arguello (2011) menciona que la onda está compuesta por varios elementos:

- Cresta: Es el punto máximo que se encuentra sobre el eje central o línea de equilibrio.
- Valle: Es el punto máximo que se encuentra debajo del eje central o línea de equilibrio.
- Longitud de onda: Viene a ser el espaciamiento entre cresta y cresta.
- Amplitud: Es la altura presente entre la línea de equilibrio y la cresta.

(p.1)

Figura 4.

Elementos de una onda



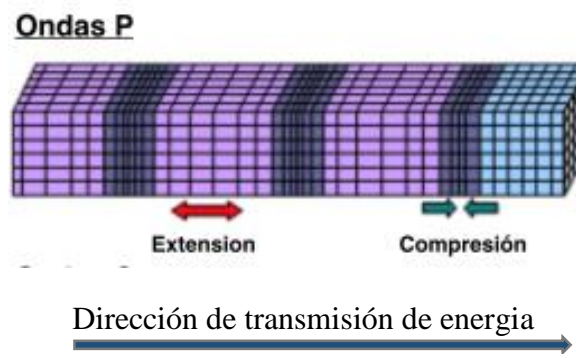
Nota: Nguyen (2022)

b) Tipos de ondas

- **Ondas primarias:** También llamadas ondas de compresión (ondas P). Según Dueñas son llamadas así debido a que trascienden a través del medio (sólido o líquido) más acelerado que los otros tipos de onda. Además, menciona que las partículas de las ondas primarias se movilizan paralelamente a la trayectoria que la propagación de la onda. (2014 p. 36)

Figura 5.

Comportamiento de ondas P

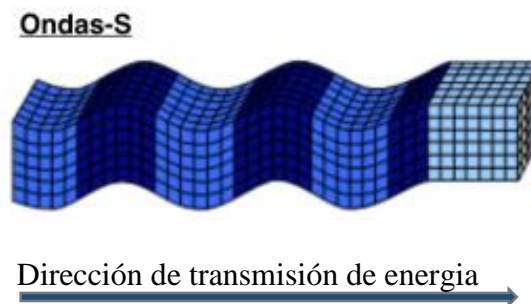


Nota: Arias (2016)

- **Ondas secundarias:** También llamadas ondas de corte (ondas S) u ondas de cizallas, este tipo de ondas son las que viajan por el interior del medio y se manifiestan cuando se aplica una perturbación en dirección paralela a la superficie del medio. Estas ondas no se propagan a través de fluidos. (Dueñas, 2014, p.37)

Figura 6.

Comportamiento de ondas S

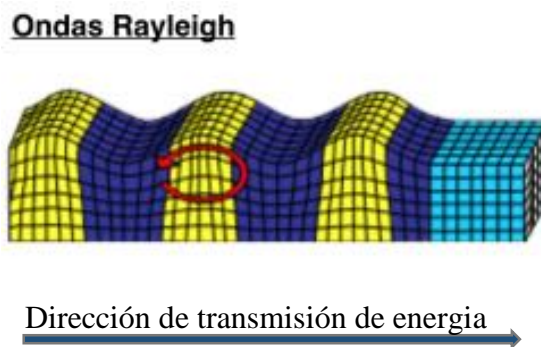


Nota: Sáez (2016)

- **Ondas Rayleigh:** Estas ondas producen una perturbación itinerante similar a las olas del mar, donde su cuerpo se desplaza de manera elipsoidal y verticalmente a la trayectoria de difusión. Es decir, se genera un movimiento de partículas del suelo elíptico y retrocedo. (Griem, 2020, p.1)

Figura 7.

Comportamiento de ondas Rayleigh

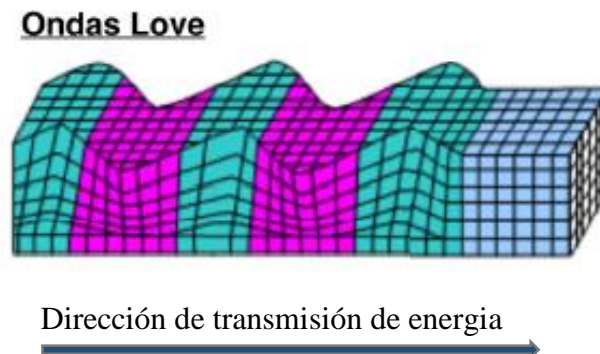


Nota: Sáez (2016)

- **Ondas Love:** Rojas menciona que este tipo de ondas se trasladan superficialmente sobre el suelo desde su epicentro. Moviéndose de extremo a extremo. Estas son similares a las ondas de corte, su ámbito de vibración es normal al ámbito del rayo. (2019, p.1)

Figura 8.

Comportamiento de ondas Love



Nota: Sáez (2016)

2.2.3. Método de Refracción Sísmica

Según (Naranjo y Dranichnicov) este procedimiento se basa en las distintas aceleraciones de expansión de las ondas vibratorias que se transportan a través de diferentes medios. Indica que las perturbaciones originan dos tipologías de ondas: Longitudinales “P” y las transversales “S”, las cuales son fundamentales para la prospección en la Refracción Sísmica. (2012, p. 12).

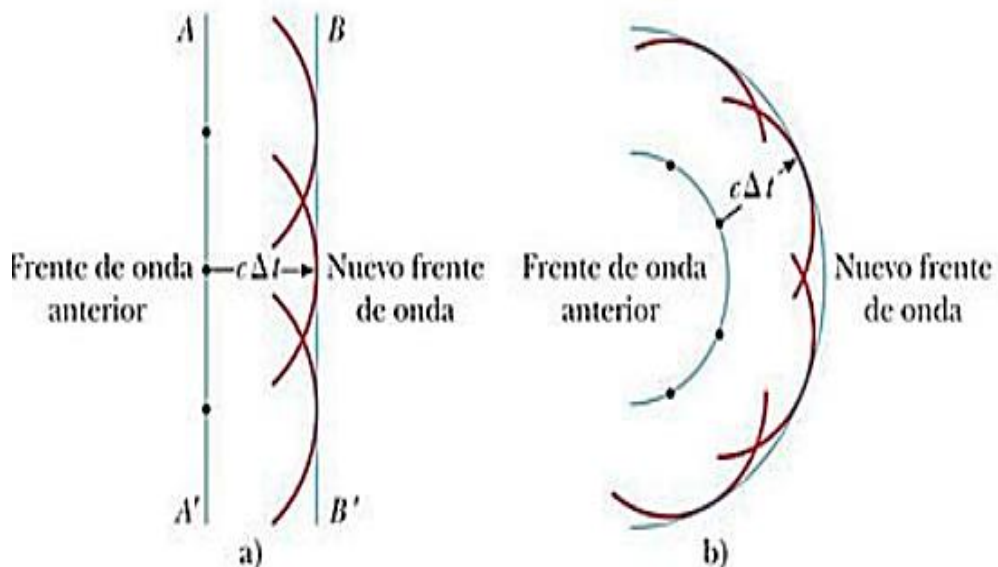
a) Expansión y trayectoria de ondas

La expansión y trayectoria de las ondas sísmicas están gobernadas por un conjunto de leyes y principios, estos son:

- **Principio de Huygens:** Botero et al. (2016), menciona que este principio da a entender que en su mayoría los puntos localizados sobre una cara de onda son considerados como fuentes precisas que generan nuevo frente de onda (ondas secundarias) con características esféricas llamadas onditas, las cuales se expanden alejándose con rapidez. (p.8)

Figura 9.

Comportamiento de un frente de onda según el principio de Huygens



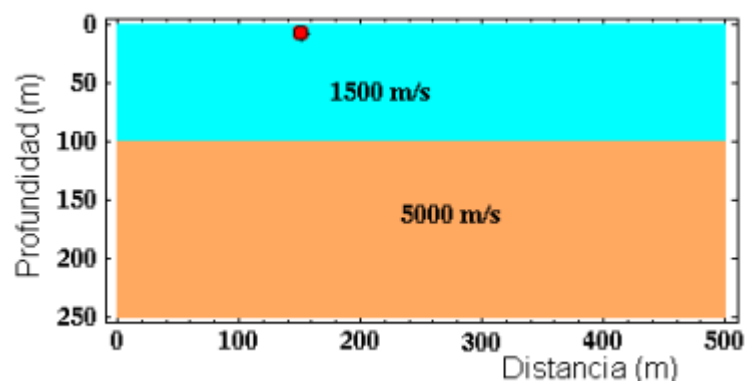
Nota: Botero et al. (2016)

- **Principio de Fermat:** este principio menciona que el recorrido realizado por una chispa luminosa que se transporta de un sitio a otro persigue un trayecto tal que, al ser contrastada con los recorridos cercanos, el periodo que demanda para viajarla es el mínimo. La refracción y la Ley de Snell siguen este fundamento. (Schlumberger, 2022)
- **Ley de Refracción:** Esa ley tiene como base los principios de Huygens o conocido como el principio de Fermat. Esta ley indica que la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es igual a la relación que existe entre la velocidad de la onda incidente y la velocidad de la consecuente onda refractada. (Naranjo y Dranichnicov) (2012, p.12)

Para un mejor entendimiento del recorrido de las ondas para el ensayo de Refracción Sísmica, se considerará un medio con dos velocidades: C1 y C2 (mayor velocidad) (Figura 10). Una vez realizada la perturbación en el sitio de estudio, las ondas emprenden viaje por el cuerpo superior formando frentes de onda en el lugar.

Figura 10.

Perfil del suelo con dos estratos, el inferior presenta mayor velocidad

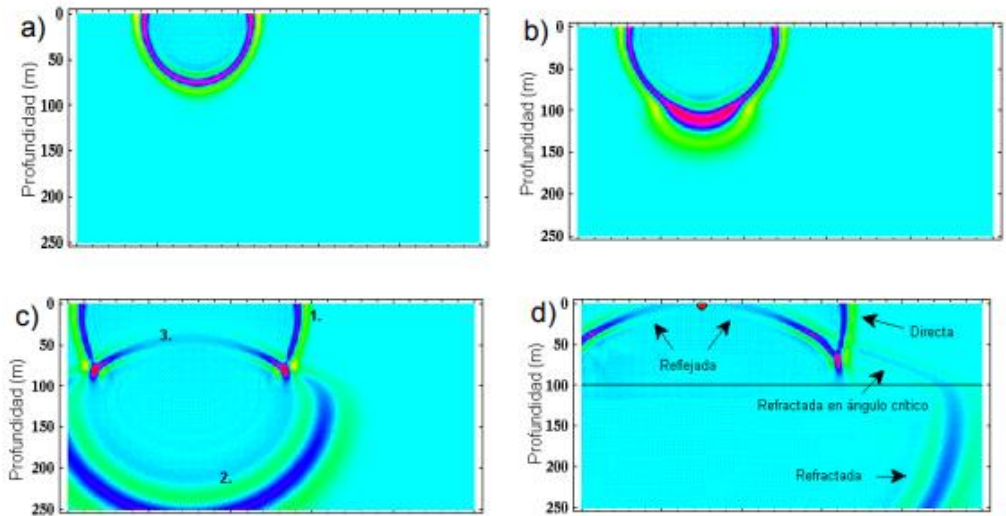


Nota: Adaptado de Boyd (1999)

Luego de que se realiza la perturbación al suelo, la energía se transporta en todas las direcciones, así como se presenta en la Figura 11.

Figura 11.

Comportamiento de las ondas en un cuerpo de dos capas

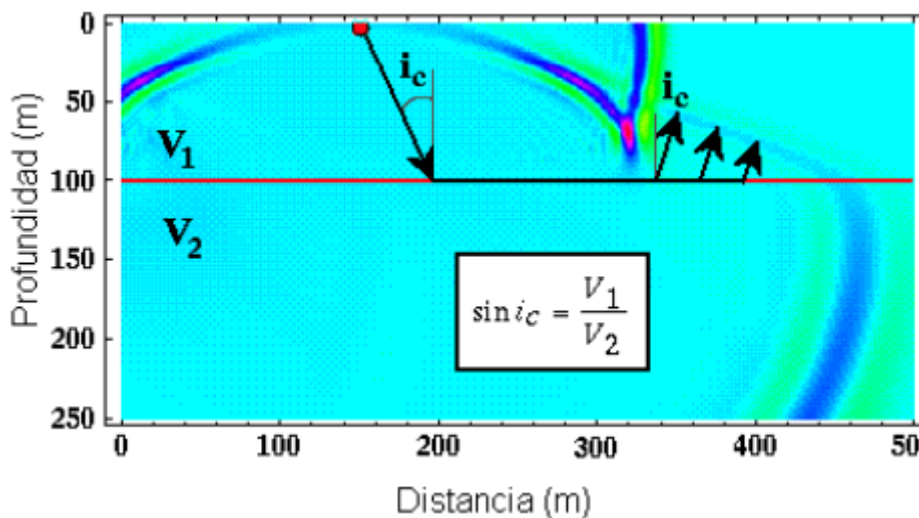


Nota: Las figuras a) y b) muestran cortes verticales del desarrollo de la difusión en el periodo del frente de onda resultante. En la figura c) se puede visualizar con mayor explicación las ondas iniciales y las refractadas. Finalmente, se logra visualizar en la figura d) todos los frentes de onda formados en los términos de refracción y reflexión que acontecen en el instante de que el frente de onda colisiona con el espacio de interface. Adaptado de Boyd (1999)

El ángulo crítico será aprehendido siempre y cuando el ángulo de refracción sea superior al ángulo de incidencia, vale mencionar que al ser este perpendicular da como resultado una expresión definida solamente por la velocidad correspondiente a cada capa.

Figura 12.

Formación del ángulo crítico de refracción i_c



Nota: Adecuado de Boyd (1999)

b) Dispositivos de medición

Según Rosales (2001, p.106) los componentes para la medición de Refracción Sísmica son:

- **Fuente generadora de ondas sísmicas:** Para producir ondas mediante Refracción Sísmica es necesaria la presencia de una perturbación instantánea, generada por la mano del hombre, el cual también es conocido como impulso sísmico. La finalidad de estas fuentes son generar ondas ocasionadas por un único incidente de período instantáneo, y así evitar la sobrescrita de ondas causadas por algún otro movimiento detectado por los geófonos. Existen tres tipos de fuente: Disparos (balas o cartuchos); Cargas explosivas (son utilizadas principalmente para estudios de prospección petrolera) y Fuentes de impacto (martillos, porras, cargas grandes soltados de 2 o 3 metros de altura. Indicando que la energía resultante de cada golpe depende de la energía cinética (E), la cual reúne la masa de la comba (m) y la aceleración de la comba (v). Teniéndose que:
$$E = m \cdot v^2$$
- **Detección de los movimientos del terreno:** Se realiza mediante un arreglo vertical compuesto por geófonos, para captar el movimiento en los diversos puntos distanciados igualmente a lo largo del arreglo de geófonos para el ensayo de Refracción Sísmica. En la actualidad se utilizan arreglos con 12, 24 (más utilizados) o 48 geófonos, para el último caso es necesario una mayor resistencia mecánica porque en refracción se requiere geófonos que presenten frecuencias entre 8 y 40 Hz. (Jakosky, 1950, como se citó en Rosales, 2001)

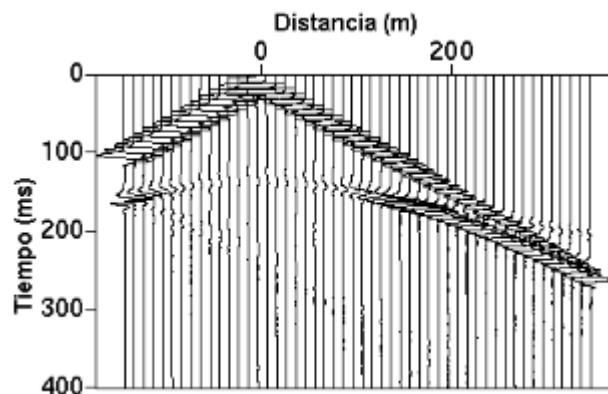
- **Almacenamiento de datos:** Los componentes del equipo de obtención y almacenamiento de datos son: Unidad de acopio y digitalización (Tienen entradas capaces de recibir los caracteres expedidos por los geófonos, a cada geófono le pertenece un canal y sus caracteres son digitalizados según las configuraciones realizadas por el interesado); Cables sísmicos (Están conectados a los geófonos mediante dos salidas. Y son los encargados de llevar la señal de cada geófono al dispositivo de almacenamiento de datos) y Trigger (viene a ser el cable que va acoplado debidamente a la fuente sísmica de tal forma que, al generarse el impulso sísmico, el sistema de almacenamiento registre las ondas).

c) Dromocronas

Son llamadas también curvas tiempo distancia, se elaboran a partir del periodo que tienen las ondas P al llegar a cada sensor y el espaciamiento desde el geófono hasta el punto de detonación. Para observar los tiempos de llegada se puede realizar en la pantalla del sismógrafo; y si este está conectado a la computadora se visualizará con la ayuda de un software especializado, luego de que se haya realizado la transferencia de datos del sismógrafo a la computadora. Lográndose observar el registro de ondas. Véase Figura 13.

Figura 13.

Registro típico de ondas

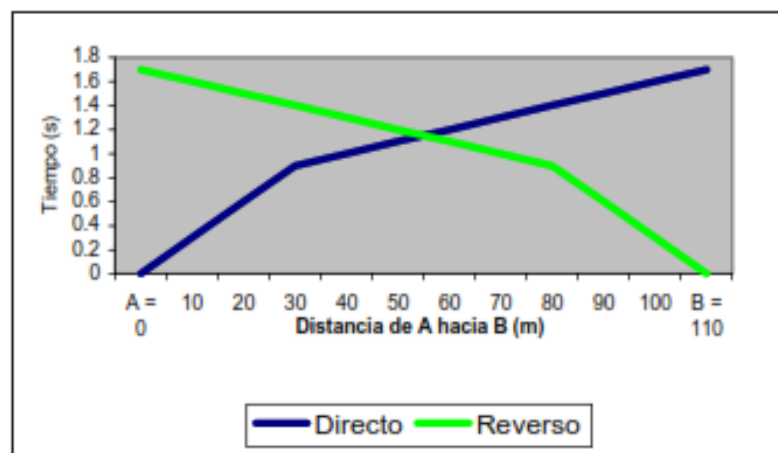


Nota: Adaptado de Boyd (1999)

Para un análisis detallado del perfil del suelo en estudio, se realizan arreglos de refracción mixtos (conocidos también como arreglo directo, intermedio y reverso). Para conseguir la curva directa se realiza la perturbación en un extremo inicial y a una distancia determinada; para la perturbación intermedia, el disparo fue realizado en el centro del arreglo y para obtener la curva del reverso, el disparo se realizará al otro extremo del arreglo.

Figura 14.

Curvas tiempo-distancia según ubicación de fuente de energía sísmica



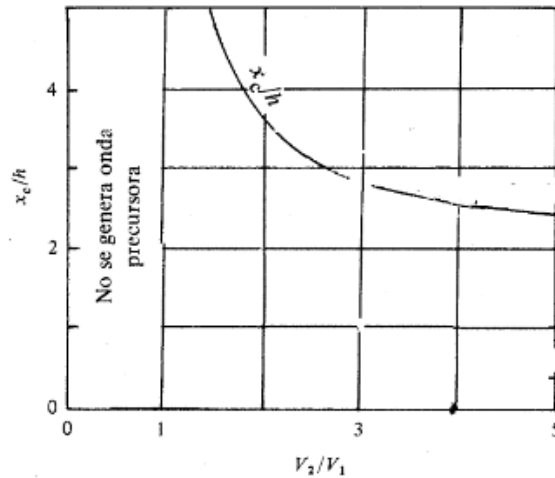
Nota: Rosales (2001)

La distancia crítica X_c , viene a ser la distancia que existe entre el punto de perturbación y el lugar donde se origina la primera onda refractada en la zona. Esta distancia (crítica) a veces es menor o superior a la longitud total del arreglo, esto depende de las velocidades de las combinaciones del estrato superior y del refracto, o del estrato inferior y la profundidad. Véase Figura 15

Sheriff et al. (2004), indican que conforme se incrementa la analogía V_2/V_1 , la analogía X_c/h se ve reducida. Por lo tanto, mencionan que las extensiones del arreglo de refracción para ser ideales deben ser superiores al doble de su profundidad al refractor para obtener refracciones sin interrupciones perjudiciales en las ondas base.

Figura 15.

Relación entre la longitud de tendidos y profundidad de estudio



Nota: Adaptado de Sheriff et al. (2004)

d) Principios de interpretación en refracción

El objetivo primordial es localizar los tramos de curva que pertenecen a un solo refractor, ya que el acumulado de estos puntos pertenecen a un solo refractor y formando lo que viene a ser llamado comúnmente como dromocrona. La caracterización de estas es la pieza fundamental para el descifrado de los datos obtenidos del ensayo de Refracción Sísmica.

Para Cantos (1973) se debe tener en cuenta las siguientes características para evitar tener malas interpretaciones:

- La variación de pendiente en las curvas tiempo vs distancia no evidencia cambio del refractor, a veces solo evidencia una variación de pendiente del refracto inicial.
- Un estrato del suelo al ser delgado y presentar velocidades menores al del estrato superior, este no presentará Refracción Sísmica, de este modo no evidenciará ni habrá conjeturas de la aparición en las llegadas iniciales a cada sensor del tendido sísmico.

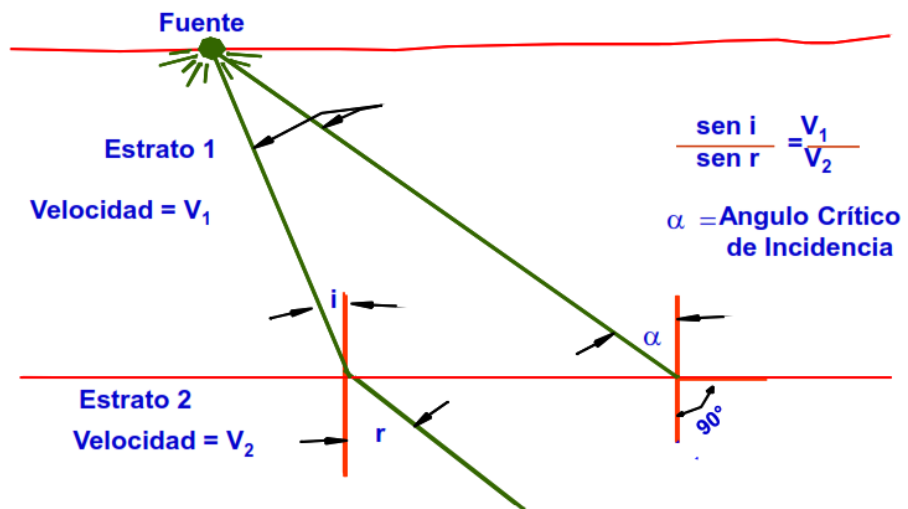
- Debido a su pequeño espesor del estrato, no obstante, presente velocidad mayores será difícil producir primeros arribos. (Sheriff et al., 2004)

Para interpretar la base de datos obtenidos mediante Refracción Sísmica, es necesario el estudio basado en 5 principios y/o leyes generales. A continuación, se describen dichos principios:

- **Ley de Snell:** Cuando una onda sísmica consigue llegar al límite entre dos estratos de diferente aceleración sísmica, estas ondas se reflejan y se refractan. Al ser el ángulo de incidencia igual al ángulo crítico en el límite, la onda refractada se transporta a través del límite entre ambos estratos, haciendo que la energía retorne nuevamente al exterior. El límite o frontera entre dos capas, viene a ser llamado también refractor.

Figura 16.

Trayectoria de una onda sísmica entre dos medios elásticos

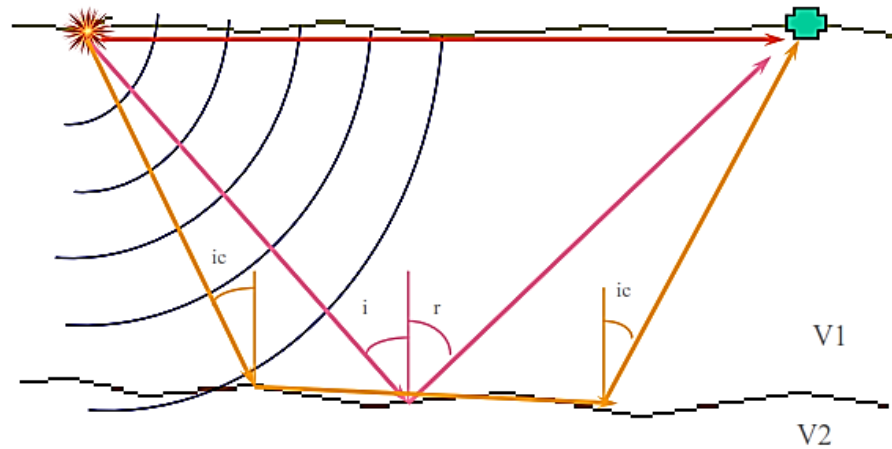


Nota: Aguilar (2013)

Los parámetros que intervienen en esta ley son: Periodo de inicio de la ondulación sísmica; medida entre el punto de perturbación y el geófono; y la primera llegada de energía sísmica que arriba a los geófonos. El esquema de esta trayectoria, se muestra en la Figura 17

Figura 17.

Llegada de energía sísmica a geófonos



Nota: Aguilar (2013)

- **Ley de las velocidades aparentes:** Esta ley hace referencia a la aceleración que parece transferir una onda en un determinado lugar de la superficie del suelo viene a ser el resultado de la fracción entre la aceleración superficial y el seno del ángulo de incidencia, tomando ambos datos en un mismo punto. En donde el ángulo de incidencia es producido por la onda emergente sobre la superficie (Cantos, 1973, p.217)

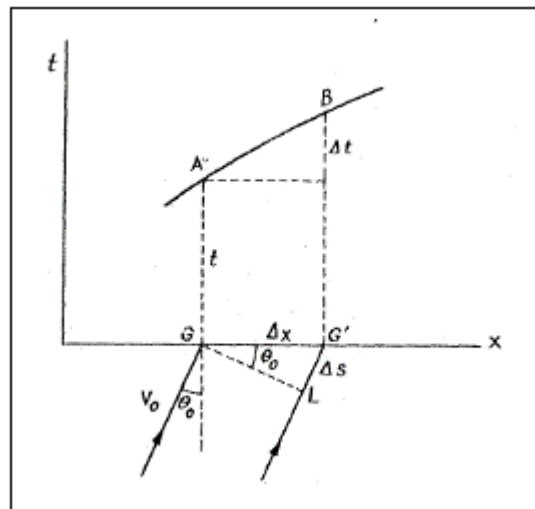
En la Figura 18 se muestra un perfil de un terreno y el frete de ondas GL que llega hacia el exterior en el punto G. Obsérvese dos líneas infinitamente cercanas arribando a los receptores G Y G' retirados una medida Δx . Donde GA Y G'B son los periodos de arribo. La aceleración con que aparentemente enviará los rayos G y G' se expresará por $V_a = \Delta x / \Delta t$; se deberá considerar además que el frente de ondas se transporta de L a G' con aceleración superficial denominada V_0 , y donde la relación $\Delta s / \Delta t = V_0$ y $\Delta s = \Delta x * \text{sen}(\theta_0)$, nos da como resultado la velocidad aparente V_a :

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

La velocidad aparente resultante en A, vendrá a ser la tangente a la dromocrona AB en el punto A, ya que $V_a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$, habiendo resultado que: $V_a = \frac{dx}{dt}$Ecuación 01

Figura 18.

Gráfica de velocidades aparentes



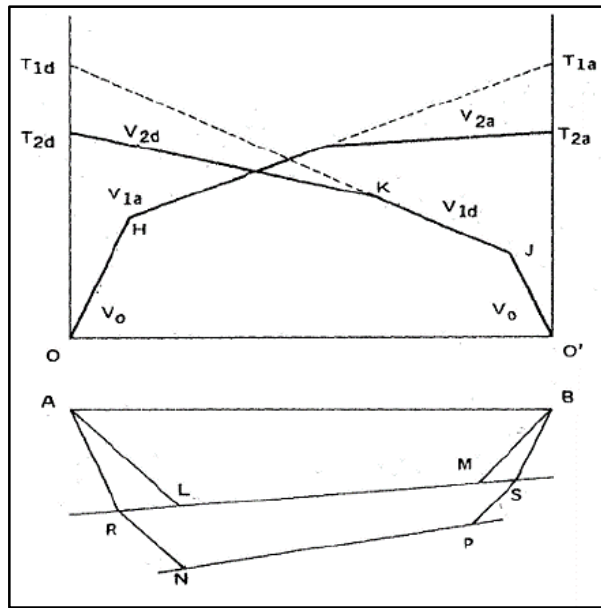
Nota: Adaptada de Cantos (1973)

- **Principio de reciprocidad:** Este fundamento dispone que el periodo de propagación de una onda sísmica desde un punto de partida A hasta un punto B, es el igual que el periodo de B hasta A. Debido a que cumple con el principio de Fermat o conocido como el recorrido camino de menos recorrido. (Cantos, 1973, 227)

En la Figura 19 se muestra la consideración de dos refractores. Por este principio se tiene que la extensión de las dromocronas de un solo refractor resultante por puntos de impacto conjugadas, por ejemplo, dromocronas H-I y K-J, estos deberán encontrarse con el eje del tiempo que tenga valor igual, resultando $T_{1d} = T_{1a}$.

Figura 19.

Representación del principio de reciprocidad

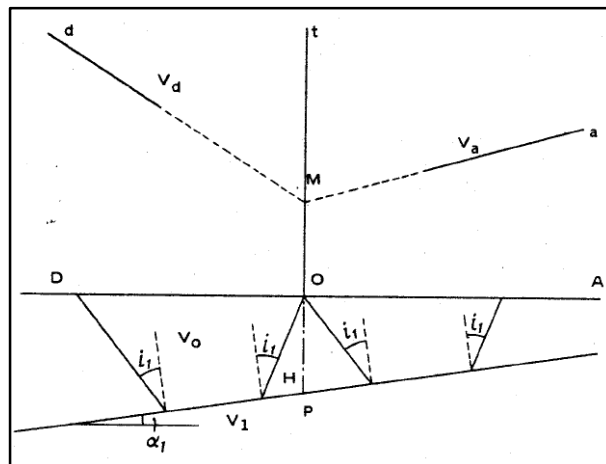


Nota: Adaptada de Cantos (1973)

- **Principio del tiempo de encuentro en el origen:** Teniéndose un refractor oblicuo y suponiéndose que a partir del espacio se efectuara dos impactos sísmicos en O para el registro de las ondas en los puntos A y D; este fundamento menciona que al extenderse las dromocronas a y d, éstas hasta interceptarse con el eje del tiempo Ot los periodos de encuentro en el punto de inicio son iguales (Cantos 1973, como se citó por Rosales, 2001, p. 115)

Figura 20.

Gráfica del tiempo de intercepto en el origen

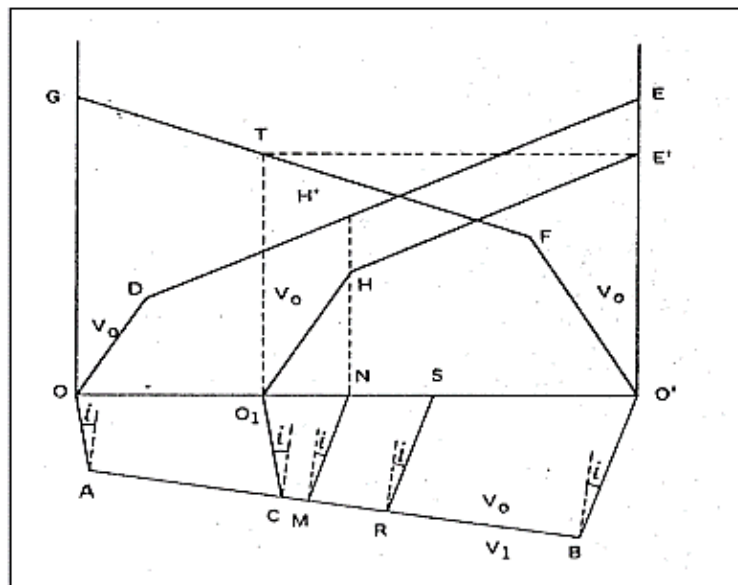


Nota: Adaptada de Cantos (1973)

- Principio de paralelismo:** Esta Ley nos brinda la capacidad de encontrar las dromocronas conectadas con puntos de perturbación intermedios entre los puntos de perturbación ubicadas en los bordes del arreglo; o encontrar una dromocrona con algún punto de perturbación apartada de los puntos complementarios de disparo (normal y reverso). Este fundamento trabaja principalmente para refractores en “X” u oblicuos; para la existencia de refractores depresivos. Es decir, en espacios cortos las ondas viajan por sobre el refractor. Mientras que para las longitudes extensas se transportan con mayor rapidez por el interior del refractor. Tal como indica el fundamento de Fermat. En la Figura 21, se muestra a la dromocrona media O_1HE' y mediante básicas semejantes se puede encontrar las dos dromocronas suplementarias ODE y $O'FG$ desde el lugar supuesto de la perturbación O_1 . (Cantos, 1973)

Figura 21.

Gráfica del principio de paralelismo



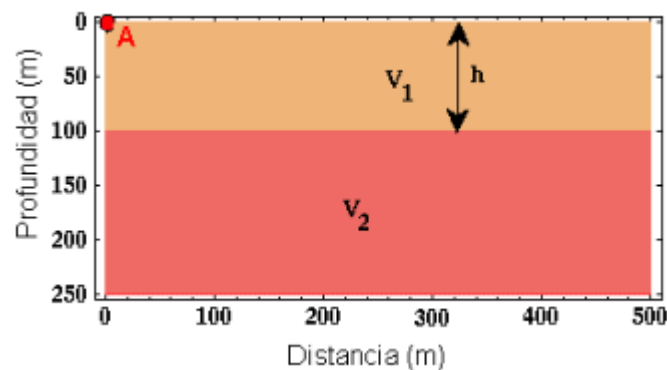
Nota: Adaptada de Cantos (1973)

e) Casos de Refracción Sísmica

- **Tiempos de intercepto:** Al generarse las ondas en el punto de perturbación estas se refractan al momento que topan con los medios, o estratos del suelo, calculan el lapso de los primeros arribos en los receptores (geófonos) hacia el espacio. El tiempo aumenta con la distancia y la profundidad de arribo; este aumento es necesario para calcular el espesor de cada estrato. (Rosales, 2001, p. 119)
- **Caso de dos estratos:** Esto hace referencia a un medio con velocidad V_1 , que se superpone a otro medio con velocidad V_2 , el cual pertenece a un área semi-infinita, apartada mediante un área de contacto plana tal y como se muestra en la Figura 22. Donde el i_c es el ángulo de incidencia crítico de las ondas que se refractan.

Figura 22.

Esquema de períodos de intercepto, para el caso de dos estratos

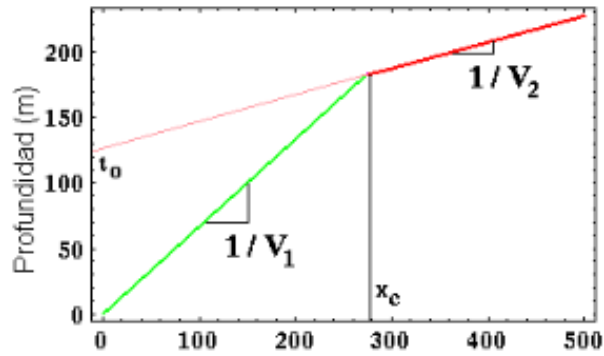


Nota: Adaptada de Boyd (1999)

Las ondas formadas en el sitio de perturbación en el extremo inicial del arreglo (punto A) generará tiempos de arribos iniciales dependiendo del frente de ondas directas-del estrato con velocidad V_1 - y del frente de ondas refractadas – del estrato de velocidad V_2 . En la Figura 23 se presenta una dromocrona conformada por dos tramos: El primero corresponde al tiempo que demora en llegar las ondas de compresión

directas, mientras que el tramo siguiente muestra la llegada de las ondas de compresión refractadas.

Figura 23.
Periodos de intercepto



Nota: Adaptada de Boyd (1999)

La pendiente para cada tramo pertenece al inverso de la velocidad V_1 para el tramo segundo y V_2 que corresponde al primer tramo. La proyección en el tramo inferior en el eje x se conoce como X_c , el cual vendría a ser el espaciamiento entre el punto de la perturbación y el lugar en el exterior donde surge la onda inicial refractada, y t_0 resulta ser el periodo recorrido. Para el tramo superior los periodos de arribo podrían vincularse con el ángulo de incidencia crítica i_c , y la velocidad de la capa en la superficie semi-infinito, V_2 .

Para determinar el trayecto de una onda refractada, Sarria en 1996, nos presenta un esquema que va desde el punto A hasta el D, como se muestra en la Figura 24 donde indica:

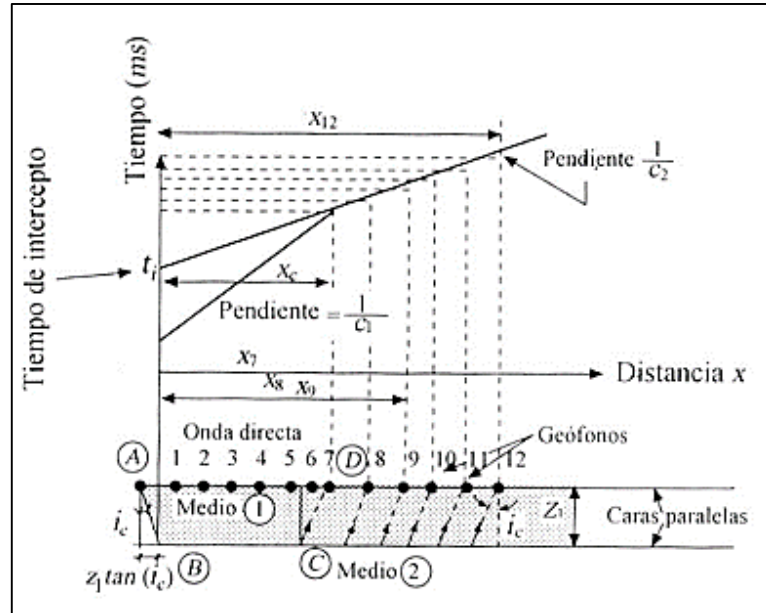
$$(t)_{ABCD} = t_{AB} + t_{AB} + t_{CD} \dots \dots \dots \text{Ecuación 02}$$

Tal que la proyección en “Y” del rayo incidente crítico AB, viene a ser equivalente a la profundidad del primer sustrato “h” y la proyección en “X” es equivalente a $h \cdot \tan(i_c)$ y puesto que el tiempo de recorrido AB es igual a CD, se tiene:

$$t_{AB} = t_{CD} = \frac{h/\cos(i_c)}{V_1} \dots\dots\dots \text{Ecuación 03}$$

Figura 24.

Metodología del intercepto, para geometrías planas



Nota: Adaptada de Boyd (1999)

El periodo de la trayectoria para BC resultaría:

$$t_{BC} = \frac{X - 2 \cdot Z_1 \cdot \tan(i_c)}{V_2} \dots\dots\dots \text{Ecuación 04}$$

Dónde:

x = Es la medida desde el punto A (perturbación), hasta el receptor de señal

La longitud total del recorrido estaría dada por la siguiente expresión:

$$(t)_{ABCD} = \frac{2h/\cos(i_c)}{V_1} + \frac{X - 2 \cdot Z_1 \cdot \tan(i_c)}{V_2}$$

Empleando el fundamento de Snell, se tendría:

$$(t)_{ABCD} = \frac{2h/\cos(i_c)}{V_1} + \frac{X}{V_2} \dots\dots\dots \text{Ecuación 05}$$

Si se reemplaza x = 0, en el esquema de la Figura 24, el período resultante vendría a ser el período de intercepto t0, teniendo como resultado:

$$h = \frac{1}{2} * t_o * V_1 * \cos(i_c)$$

Donde:

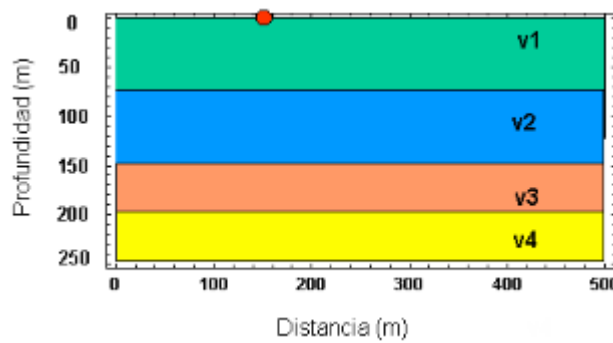
h = Profundidad resultante al interior del punto de perturbación.

$$h = \frac{1}{2} * t_o * V_1 * \cos(\text{sen}^{-1}(V_1/V_2)) \dots\dots\dots \text{Ecuación 06}$$

- **Caso de varios estratos:** Tal como se muestra la Figura 25 el comportamiento de las ondas refractadas en las capas más hondas llega a ser poco entendible, pero básicamente tienen su justificación en los principios explicados para el caso anterior (dos capas).

Figura 25.

Esquema de períodos de intercepto, para el caso de varios estratos



Nota: Adaptada de Boyd (1999)

Los resultados del análisis para perfil con tres refractores se muestran a continuación:

$$h_1 = \frac{t_{i2} * V_2}{2} * \cos \left[\text{sen}^{-1} \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \right] \dots\dots\dots \text{Ecuación 07}$$

$$h_2 = \frac{V_2}{A} * (t_{13} - t_{12}) * \cos \left[\text{sen}^{-1} \left(\frac{V_1}{V_3} \right) \right] * \frac{1}{\text{sen}^{-1} \left(\frac{V_1}{V_2} \right)} \dots\dots\dots \text{Ecuación 08}$$

$$h_3 = \frac{V_3}{B} * (t_{14} - t_{13}) * \left[\frac{\cos \left[\text{sen}^{-1} \left(\frac{V_1}{V_4} \right) \right]}{\cos \left[\text{sen}^{-1} \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \right]} \right] - C \dots\dots\dots \text{Ecuación 09}$$

Donde:

$$A = 2 * \cos \left[\text{sen}^{-1} \left(\frac{V_2}{V_3} \right) \right] \dots\dots\dots \text{Ecuación 10}$$

$$B = 2 * \cos \left[\text{sen}^{-1} \left(\frac{V_3}{V_4} \right) \right] \dots\dots\dots \text{Ecuación 11}$$

$$C = \frac{2 \cdot h_2}{V_2} * \cos \left[\text{sen}^{-1} \left(\frac{V_2}{V_4} \right) \right] \dots\dots\dots \text{Ecuación 12}$$

2.2.4. Análisis de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanales (MASW)

Este método es utilizado para determinar la velocidad de onda de corte (Vs), relacionado al propio módulo de corte (G). Este es un método no destructivo, que evalúa las características de propagación de las formas principales de las ondas Rayleigh, las que se transportan a través de la superficie desde el lugar de la perturbación hacia cada uno de los geófonos. (Park et al. 1999 citados por GEORYS INGENIEROS S.A.C, 2016, p. 1).

Este ensayo se basa en la interpretación del registro multicanal de las ondas superficiales, similar al método de Refracción Sísmica. Para esto es necesario que una fuente genere energía en los extremos del eje, para ser registrada por los 24 geófonos extendidos sobre el terreno y así poder obtener la estratigrafía unidimensional diferenciada según las velocidades de ondas de corte (Vs).

Merma (2021, p.63), menciona que generalmente el ensayo para la metodología MASW presenta tres pasos, los culés se muestran continuación:

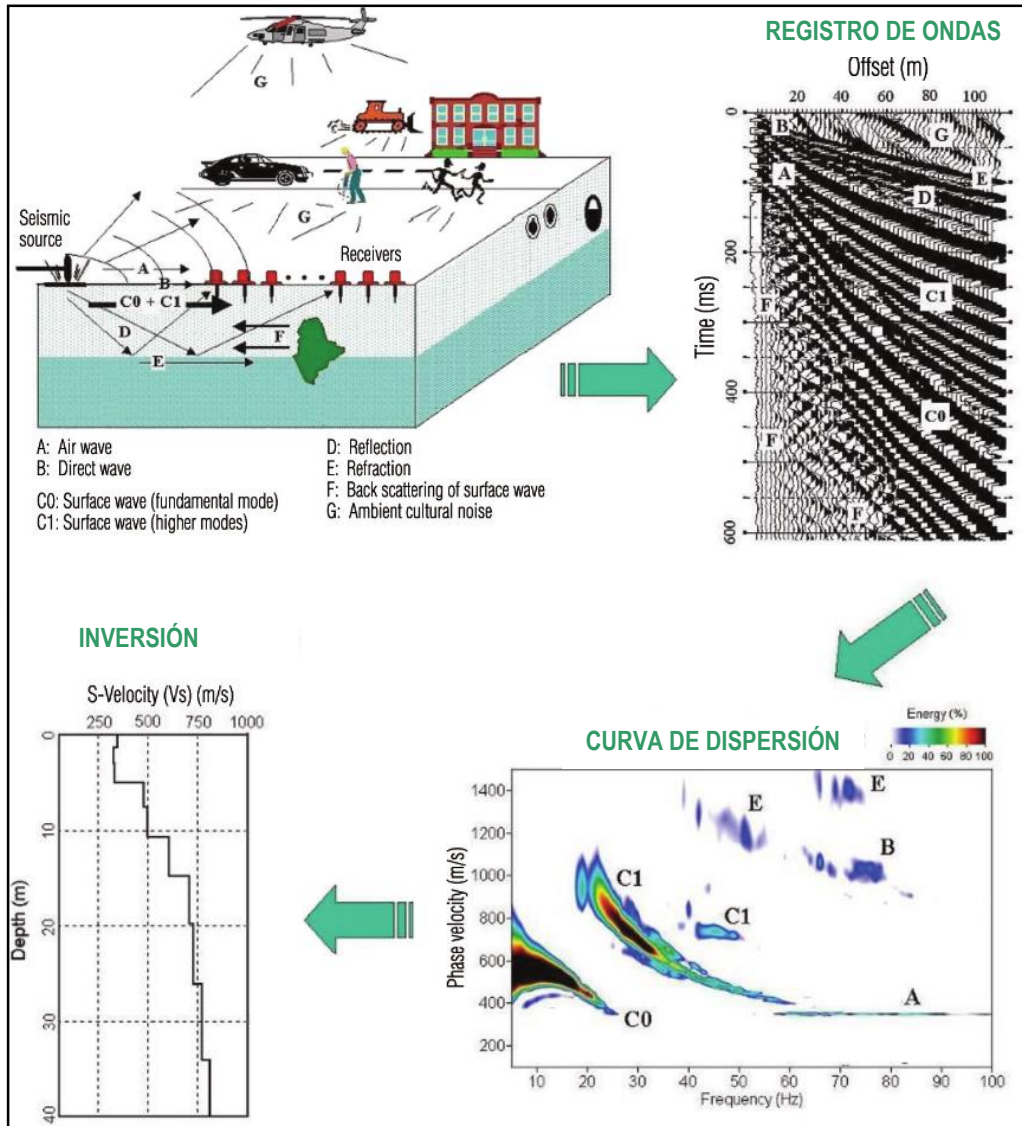
- **Exploración sísmica:** Obtención de registro de onda en campo
- **Análisis de dispersión:** se trata de obtener las curvas de dispersión, el objetivo es extraer dos o más curvas de dispersión.
- **Inversión:** se utiliza la operación matemática de la variabilidad que presentan las velocidades de ondas secundarias vs la superficie.

La Figura 26 nos muestra el procedimiento del sondeo MASW a detalle, iniciando por la toma de datos, posteriormente el registro de ondas obtenidas en campo, luego se generó las curvas de dispersión y finalmente nos representa el perfil de

velocidades producto de la inversión de la curva de velocidades de fase vs frecuencia.

Figura 26.

Desarrollo del ensayo MASW y adquisición de datos



Nota: Adaptado de Park (2007)

2.2.5. *Parámetros elásticos del suelo*

Mediante los ensayos indirectos (Refracción Sísmica y MASW), se pueden determinar características elásticas del suelo, usando las relaciones de las aceleraciones “P” y “S” en las ecuaciones del módulo de Elasticidad, Poisson y Corte.

El fundamento de elasticidad en las ondas sísmicas enunciada por (Kramer, 1996), menciona que la aceleración de las ondas P y S se simbolizan a modo de ecuación de movimiento para un objeto elástico isotrópico. Véase ecuaciones 13 y 14

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 13}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 14}$$

En las cuales:

V_p : Velocidad de ondas primarias

V_s : Velocidad de ondas secundarias

λ : Constante

μ : Rigidez

ρ : Densidad

a) Módulo de Elasticidad (E_d)

Este parámetro brinda una magnitud de la rigidez a un material elástico isotrópico. Este viene a ser la relación que existe entre el esfuerzo uniaxial sobre la deformación uniaxial que soporta un material, el rango de esfuerzos debe ser válido tal y como lo indica el fundamento de Hooke (Mendoza 1998, como se citó en Ali, 2016). El módulo de Elasticidad se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$E_d = 2(1 + \nu)G \dots\dots\dots \text{Ecuación 15}$$

b) Módulo de Poisson (ν)

Es también llamado Coeficiente de Poisson, este es un cuantificador elástico que indica la relación de deformación longitudinal y transversal de un material elástico. Al cociente que existe entre la deformación transversal (ϵ_s) y la

deformación longitudinal o principal (ϵ_1) se le denomina coeficiente de Poisson. (Naranjo & Dranichnikov, 2012, p. 28)

En función de V_s y V_p : $\nu = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$ Ecuación 16

c) Módulo de Corte ($G_{m\acute{a}x.}$)

Este parámetro se determina como la cantidad de esfuerzo de cizalla a la deformación cortante para un material específico, es decir, detalla la postura de este ante el esfuerzo de corte. Para el caso de materiales solidos homogéneos e isótropos, la aceleración de las ondas de corte (V_s) está gobernada por el módulo de corte. (Mendoza 1998, como se citó en Ali, 2016)

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \dots\dots\dots\text{Ecuación 17}$$

La velocidad de corte (V_s), el módulo de corte (G) y la densidad del material, presentan la siguiente relación:

$$G = \rho V_s^2 \dots\dots\dots\text{Ecuación 18}$$

d) Incompresibilidad Volumétrica (K_e)

Esta característica determina la resistencia de un material a un aplastamiento constante. Es definido como el aumento de presión necesario para ocasionar una posible reducción relativa de volumen: El opuesto del módulo volumétrico indica la compresibilidad del material. (Ali, 2016, p. 83)

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \dots\dots\dots\text{Ecuación 19}$$

Las ecuaciones 15, 16, 17, 18 y 19, son efectivas cuando los materiales presentan propiedades físicas no dependientes de la dirección en la que son evaluadas (tienen comportamiento isotrópico).

El Módulo de Rigidez o Corte (G) es versátil y disminuye en relación al aumento de las deformaciones de corte en el suelo. El módulo Corte Máximo ($G_{\text{máx.}}$) o de rigidez está relacionado a deformaciones mínimas que presenta el suelo, este cálculo se puede obtener mediante las velocidades de ondas secundarias (Vs), las que se pueden obtener in situ a través de ensayos geofísicos.

2.2.6. Peligro sísmico

a) Zonificación

El Perú está conformado por cuatro zonas, tal como se muestra en la Figura 27. Su zonificación está basada en la posición espacial de la sismicidad encontrada, tipos de movimientos sísmicos y la disminución que presenta según la lejanía de su epicentro, así también como la investigación neotectónica.

Figura 27.

Mapa de Perú según su composición de zonas sísmicas



Nota: Norma Técnica E 0.30 (2019)

El factor “Z” ha sido asignado según la zona (Tabla 2). Este componente es interpretado como la máxima aceleración en “x” del suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser desbordada en 50 años. Este factor se formula como una porción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 2.

Factor "Z", según zonas sísmicas

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Nota: Norma Técnica E 0.30 (2019)

b) Estudios de microzonificación sísmica y sitio

Estos estudios son realizados a consecuencia de los sismos, licuación de suelos y anomalías asociados, deslizamientos, tsunamis y otros fenómenos sobre el área de influencia. Estos trabajos proporcionan datos sobre la probable evolución de los acontecimientos sísmicos causados por los entornos locales y diferentes fenómenos naturales; además proporciona las restricciones y requerimientos que como resultado de los estudios se suponga para el diseño, proceso constructivo de edificaciones y otras obras.

Para los datos resultantes del estudio de microzonificación deben ser considerados para áreas en zonas de expansión y reparación de áreas urbanas afectadas por sismos o algún otro fenómeno.

c) Medios geotécnicos

Según lo estipulado en la norma E.030 (2019), es necesario tener en cuenta tres condiciones para la clasificación de los perfiles del suelo: Para el caso de los suelos granulares se determinará mediante el promedio ponderado de los \bar{N}_{60} obtenidos mediante ensayo SPT, el promedio ponderado de la resistencia

que presenta al corte en condición no drenada (\bar{s}_u) para suelos cohesivos y además se puede clasificar teniendo en consideración el promedio de las velocidades de propagación de las ondas de corte \bar{V}_s tal y como es la metodología de esta investigación.

Según la normativa nacional existen 5 tipos de suelos y son los siguientes:

- **Perfil Tipo S₀: Roca dura.** Corresponde a esta clasificación las rocas sanas y las que presentan velocidades de propagación de ondas de corte \bar{V}_s mayores a 1500 m/s. Los estudios in situ o a perfiles de la misma roca en la misma formación con similar o superior exposición al medio ambiente o fracturas. Al observarse que la roca dura es frecuente hasta una profundo de 30 m, el registro de velocidad de las ondas de corte exteriores es utilizadas en el cálculo del valor de \bar{V}_s . (Norma Técnica E.030, 2019, p. 9)
- **Perfil Tipo S₁: Roca o suelos muy rígidos.** Corresponden a esta categoría las rocas con distintos grados de ruptura, de macizo semejantes y los que presentan velocidades de propagación de ondas secundarias \bar{V}_s , comprendidas desde 500 y 1500 m/s, incluyéndose las siguientes consideraciones para la cimentación: Roca fracturada, con una resistencia a la compresión no confinada q_u superior o equivalente que 500 kPa (5 kg/cm²), Grava arenosa densa o arena muy densa, con \bar{N}_{60} superior a 50. Arcilla considerablemente compactada (para espesor inferior de 20 m), con una resistencia al corte en condición no drenada \bar{s}_u superior a 100 kPa (1 kg/cm²) incluyéndose las que presentan un aumento progresivo de las características mecánicas con la profundidad. (E.030, 2019, p. 9)

- **Perfil Tipo S₂: Suelos Intermedios.** Corresponden a esta clase los suelos moderadamente rígidos, los que presentan velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , incluidas en el rango de 180 y 500 m/s, agregando las siguientes consideraciones para la cimentación: Arena densa, desde media hasta gruesa, o grava arenosa medianamente densa, que presentan valores SPT \bar{N}_{60} comprendidos desde 15 hasta 50. Además, serán considerados los suelos cohesivos compactados, que presentan resistencia al corte en condiciones no drenado \bar{s}_u , con valores comprendidos desde 50kPa (0.5 kg/cm²) hasta 100 kPa (1 kg/cm²) incluyéndose las que presentan un aumento progresivo de las características mecánicas con la profundidad. (E.030, 2019, p. 10)
- **Perfil Tipo S₃: Suelos Blandos.** Corresponden a esta categoría los suelos elásticos y los que presentan velocidades de propagación de ondas de cizalla \bar{V}_s , inferiores o similares a 180 m/s, abarcando las siguientes consideraciones para la cimentación: Arena medianamente fina, o grava arenosa, que presenten valores SPT \bar{N}_{60} inferiores a 15. Serán considerados los suelos cohesivos blandos, con una resistencia al corte en condiciones no drenado \bar{s}_u , con valores comprendidos desde 25 kPa (0.25 kg/cm²) hasta 50 kPa (0.5 kg/cm²) incluyéndose las que presentan un aumento progresivo de las características mecánicas con la profundidad. Además, se considerará a los perfiles de suelo que no pertenezcan al perfil S₄ y también se encuentran en esta clasificación los suelos que presenten las peculiaridades: Contenido de humedad (w) > 40%, Índice de plasticidad IP mayor que 20 y resistencia al corte en condición no drenado $\bar{s}_u < 25$ kPa. Se verificará las características

anteriores, siempre y cuando el perfil presente profundidad mayor a 3 metros (E.030, 2019, p. 10)

- **Perfil Tipo S4: Condiciones excepcionales.** Corresponden a esta clasificación los suelos extraordinariamente flexibles, lugares geológicamente y/o topográficamente desfavorables, en estos sitios es necesario realizar una investigación detallada in situ. Se llegará a la conclusión que pertenece a este perfil de suelo, cuando el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) así lo establezca.

Tabla 3.

Resumen de valores para diferentes perfiles del suelo

Tipo de suelo	V _{s30} (m/s)*	Denominación
S ₀	V _s >1500	Roca dura
S ₁	500< V _s <1500	Suelo muy rígido
S ₂	180< V _s <500	Suelo intermedio
S ₃	V _s <180	Suelo blando
S ₄	Clasificación basada en el EMS	

Nota: Norma Técnica E 0.30 (2019)

d) Parámetros de sitio (S, T_p, T_L)

Se considera el perfil de suelo que represente las condiciones del lugar de estudio, empleándose los valores respectivos al factor de amplificación del suelo (S) y el de los periodos (T_p y T_L), proporcionados por las Tablas 4 y 5.

Tabla 4.

Factor "S", según zona y perfil sísmico del suelo

ZONA \ SUELO	SUELO			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0.80	1.00	1.05	1.10
Z ₃	0.80	1.00	1.15	1.20
Z ₂	0.80	1.00	1.20	1.40
Z ₁	0.80	1.00	1.60	2.00

Nota: Norma Técnica E 0.30 (2019)

Tabla 5.

Periodos “ T_P ” y “ T_L ”

	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T_P (s)	0.30	0.40	0.60	1.00
T_L (s)	3.00	2.50	2.00	1.60

Nota: Norma Técnica E 0.30 (2019)

2.2.7. Clasificación del tipo del suelo (IBC ,2012)

El International Building Code (IBC año 2012), clasifica los suelos en 6 tipos (del A al F) de acuerdo con la velocidad promedio de ondas secundarias para estratos con profundidades de 30 m (V_{s30}). La ecuación 20 muestra el cálculo de la velocidad a 30 metros de profundidad en función a la profundidad de cada capa y sus velocidades S. (GEORYS INGENIEROS S.A.C, 2016, p. 62)

$$\bar{v}_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 20}$$

Donde:

d_i = Profundidad de cada capa desde 0 a 30

V_{si} = Velocidad de ondas secundarias presentes en cada capa (m/s)

Tabla 6.

Denominación de tipos de suelo según IBC

TIPO DE SUELO	NOMBRE DE SUELO	PROPIEDADES PROMEDIO EN LOS 30 PRIMEROS METROS		
		Velocidad de onda de corte \bar{V}_s (m/s)	Resistencia a la penetración estándar, \bar{N}	Resistencia al corte no drenado, \bar{s}_u (psf)
A	Roca muy dura	$\bar{V}_s > 1500$	N/A	N/A
B	Roca	$760 < \bar{V}_s < 1500$	N/A	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < \bar{V}_s < 760$	$\bar{N} > 50$	$\bar{s}_u \geq 2000$
D	Suelo rígido	$180 < \bar{V}_s < 360$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$1000 \leq \bar{s}_u \leq 2000$
E	Suelo blando	$\bar{V}_s < 180$	$\bar{N} < 15$	$\bar{s}_u < 1000$
E*	-	<p>Pertencen a este grupo los perfiles de suelo que presenten espesores mayores a tres metros que cumplan con las presentes propiedades:</p> <ol style="list-style-type: none"> Índice de plasticidad (IP) > 20 Contenido de humedad (w) $\geq 40\%$ Resistencia de corte no drenada $\bar{s}_u < 500$ psf <p>Pertencen a este grupo los perfiles de suelo que presenten una o más de las presentes propiedades:</p>		
F	-	<ol style="list-style-type: none"> Suelos vulnerables a una posible fractura o colapso bajo efecto sísmico, por ejemplo: suelos licuables, arcillas altamente sensibles y suelos débilmente cementados. Turbas y/o arcillas altamente orgánicas (H > 3 m de turba y/o arcillas altamente orgánicas, donde H = espesor del suelo) Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.6 m con índice de plasticidad IP > 75) Arcillas gruesas suaves a medias (H > 36m) 		

Nota: 1 libra por pie cuadrado (psf) = 0.0479 kPa. Adaptado de IBC (2015)

2.3. Definiciones básicas

Suelo: Agregado no cimentado de partículas minerales y material orgánico descompuesto (partículas solidadas), estos presentan líquidos y gases entre los espacios vacíos que poseen sus partículas macizas. (Braja M. Das, 2015, p. 1)

Geofísica: Ciencia encargada del tratado de la tierra tomando como punto de partida a la física. Esta al ser una disciplina empírica, utiliza en sus estudios técnicas cuantitativas físicas tales como la física de reflexión y refracción de ondas mecánicas, y diversas metodologías fundamentadas en la magnitud de la gravedad en campos magnéticos, eléctricos, electromagnéticos y de acontecimientos radioactivos. (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, meteorología e hidrología de Guatemala, 2022, p. 1)

Velocidad de propagación de onda: Esta magnitud es la encargada de hacer la medición de la velocidad con la que se abre camino el impacto a lo largo de su trayecto. Esta velocidad no solo está sujeta al tipo de onda, sino también depende del medio por el cual esta se desplaza. (Cajal, 2021, p. 1)

Prospección sísmica: Esta metodología sísmica se funda en la localización del frente de ondas elásticas originadas a causa de una perturbación (martillo, explosivo, etc.) desarrollados a través del medio (suelo) que se indaga y detectadas en el exterior a través de sensores (geófonos). Lográndose obtener un dibujo del terreno basado en las características elásticas de los materiales. (Instituto Universitario de Investigación Andaluz, 2022, p.1)

Perturbación: Esta palabra proviene del latín perturbatio, la cual refiere a la acción y reacción de perturbar o terminar perturbado. Este es un verbo que hace referencia al acontecimiento de cambiar y alterar la tranquilidad u orden de un ser o cosa. (Pérez y Gardey, 2012, p. 1)

CAPÍTULO III.

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

El perfil sísmico del suelo obtenido por la metodología MASW, es mejor técnicamente que el perfil obtenido mediante método de Refracción Sísmica, para la obtención de parámetros de sitio.

3.2. Variables

3.2.1. Variable única

- Perfil sísmico del suelo:** Hace referencia a la elaboración y clasificación de perfiles del suelo, resultantes de la obtención de las velocidades de propagación de las ondas de compresión (V_p) y de corte (V_s). Siendo sus dimensiones las velocidades de propagación de onda (V_p) y (V_s).

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 7.

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL		
				INDICADOR	ÍTEM	
Variable Única: Perfil sísmico del suelo	Permite definir la composición por estratos del subsuelo. El cual será obtenido mediante los métodos de Refracción Sísmica Y MASW	Velocidad de propagación de ondas primarias (V_p)	Define clasificación sísmica de suelos teniendo en cuenta la V_p . Metodología Internacional	Clasificación del perfil suelo ASTM D 5777-18 (2018)	SM	
					G o AS	
					AS	
					RM	
			Velocidad de propagación de ondas secundarias (V_s)	Define clasificación sísmica de suelos teniendo en cuenta la V_s . Metodología Nacional	Clasificación del perfil del suelo E.030 (2019)	s0
					s1	
					s2	
					s3	
				s4		

CAPÍTULO IV.

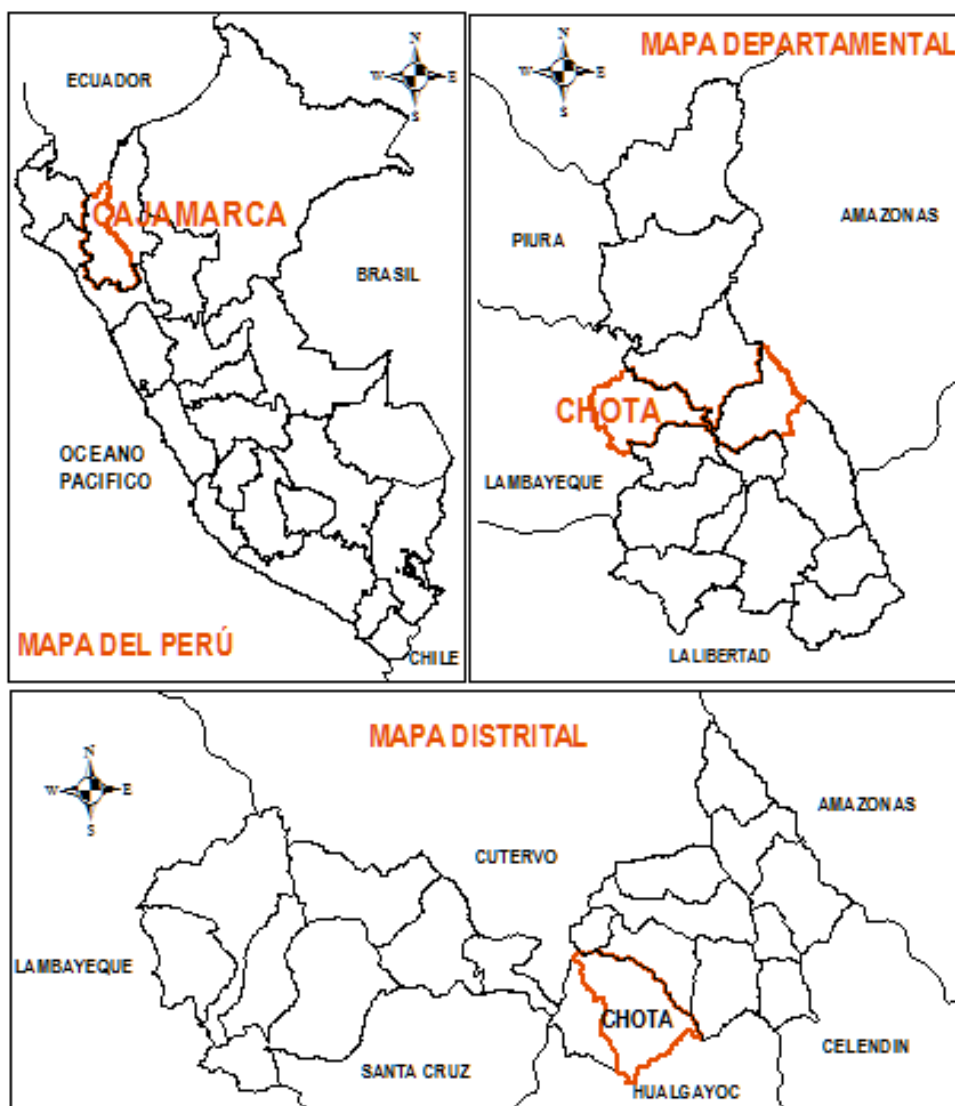
MARCO METODOLÓGICO

4.1. Ubicación geográfica del estudio

Esta investigación fue desarrollada con la finalidad de obtener el perfil sísmico y las propiedades dinámicas del suelo mediante el desarrollo de los sondeos de Refracción Sísmica y MASW, los cuales fueron desarrollados en la Residencial El Mirador, ciudad de Chota, distrito y provincia del mismo nombre en la Región Cajamarca.

Figura 28.

Localización del distrito de Chota donde se realizará los sondeos



Nota: Propia (2022)

4.2. Unidad de análisis, población y muestra

4.2.1. Población

Esta unidad estuvo compuesta por el suelo de las manzanas A, B y C, ubicado en la Residencial El Mirador, de la ciudad y distrito de Chota-Cajamarca.

Figura 29.

Ubicación de Manzanas A, B y C de la Residencial El Mirador



Nota: Propia (2022)

4.2.2. Muestra

Esta fue determinada tomando como base la información dada por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) Norma Técnica Suelos y Cimentaciones E-050. Tal como se indica en la Tabla 8

Tabla 8.*Cantidad de puntos de estudio según tipo de edificación u obra*

Tipo de edificación u obra	Números de puntos de exploración
I	1 por cada 225 m ² de área techada
II	1 por cada 450 m ² de área techada
III	1 por cada 900 m ² de área techada
IV	1 por cada 100m de instalaciones de agua y alcantarillado en obras urbanas
Habilitaciones Urbanas	3 por cada hectárea de terreno por habilitar

Nota: Norma Técnica E.050 (2018)

Teniendo en cuenta la Tabla 8 y considerando que el área total del estudio es alrededor de una hectárea, se tomaron tres puntos de estudios (tendidos) para sondeos de Refracción Sísmica y tres puntos para sondeos (tendidos) MASW. Véase Tablas 9 y 10

Tabla 9.*Coordenadas de los puntos de estudio-Refracción Sísmica*

Línea N°	Coordenadas UTM INICIO		Coordenadas UTM FIN		Longitud (m)
	ESTE (m)	NORTE (m)	ESTE (m)	NORTE (m)	
LRS-01	760589.82	9273661.59	760604.23	9273681.37	25.00
LRS-02	760610.22	9273567.15	760614.03	9273664.42	100.00
LRS-03	760693.73	9273572.04	760622.15	9273641.53	100.00

*Nota: Propia (2022)***Tabla 10.***Coordenadas de los puntos de estudio -Sondeo MASW*

SONDEO	COORDENADAS	
	ESTE (m)	NORTE (m)
MASW-01	760598.80	9273674.44
MASW-02	760602.65	9273620.40
MASW -03	760659.93	9273603.71

Nota: Propia (2022)

4.3. Tipo y descripción del diseño de investigación

4.3.1. Tipo de investigación

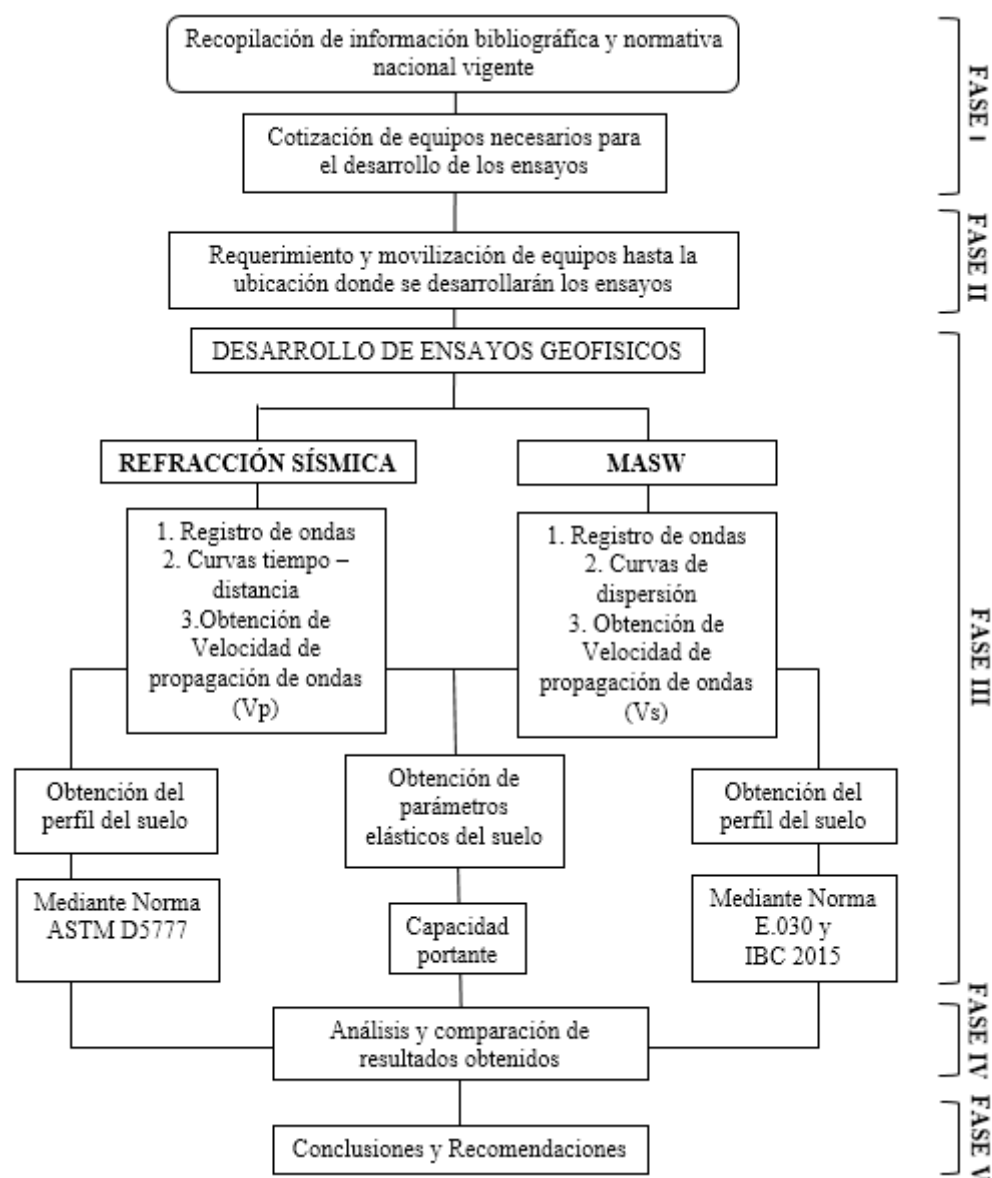
Este estudio es de tipo descriptivo, ya que solicita detallar las características, propiedades y perfiles, en este caso del suelo sometido a análisis. (Sampieri, citado por García, 2011). Este estudio es descriptivo porque tuvo un orden para obtener los resultados, se describió los resultados obtenidos para el

perfil sísmico del suelo a través de los ensayos realizados de Refracción Sísmica y MASW y se determinó el tipo de suelo existente en las Manzanas A, B y C de la Residencial El Mirador en la localidad de Chota. También se comprobó que según el fin que persigue esta investigación fue aplicada, ya que investiga para actuar y modificar determinado sector de la realidad.

4.3.2. Diseño de investigación

Figura 30.

Diseño de Investigación



Nota: Propia (2022)

4.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

4.4.1. Técnicas

Análisis documental: Como punto de partida se tuvo la investigación documental, considerándose en primer orden los antecedentes bibliográficos; estos fueron de ayuda para conformar el marco teórico, antecedentes, algunos conceptos básicos, el desarrollo de la metodología, entre otras.

Observación: En esta técnica intervienen los sentidos como instrumentos de registro, también intervienen instrumentos mecánicos como la cámara fotográfica, cinta métrica, computadora (registro de ondas, para el caso de esta investigación).

Medición: Esta técnica indica la obtención de parámetros como: la distancia que se tiene entre geófono y geófono y la distancia total del tendido.

4.4.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados para esta investigación fueron: fuente sísmica de energía, cable de disparo (enlace de radio), geófonos, cable de geófonos, un sismógrafo y demás instrumentos que estipule en la Norma ASTM D 5777.

a) Geófonos o sensores

Se llama sensores y receptores, estos se encargan de convertir el movimiento sísmico del material en señales eléctricas con frecuencias y amplitudes análogas mediante ondas sísmicas las que son a su vez recibidas y registradas por un sismógrafo. Estos están acoplados y constituidos por un plan de amortiguamiento en el cual alternan varias espinas con un imán, un sistema automático de colgar y además posee una capacidad para regulador de señal que puede ser empleada del mismo modo para el dominio de atenuación.

Generando un impacto severo en la superficie, este sistema recibe una señal del voltaje llamado pulsos eléctricos, teniendo en cuenta que, para medida de importancia mínima a esa frecuencia, el espacio de un terreno del movimiento disminuye longitudinalmente hasta llegar a cero. La distancia de conexión de los geófonos puede variar de 1 m a más, esto teniendo en cuenta que mientras más distanciados estén estos, se obtendrán información a mayor profundidad. Estos geófonos deben estar ubicados en forma lineal y ser enlazados al cable del sismógrafo.

El geófono tiene dos terminaciones: Una de ellas tiene terminación aguda, la cual debe ser colocada firme en contacto con el suelo; la otra terminación cuenta con dos cables (color negro y rojo) que contienen en cada extremo una pinza que conecta con el cable sísmico. Para este estudio se utilizaron 24 sensores (geófonos) con 4.5 Hz de frecuencia cada uno.

Figura 31.

Geófonos



Nota: Propia (2022)

b) Cable sísmico

A este cable va conectado las pinzas de los geófonos. Este cable a su vez está conectado con al sismógrafo, este es el responsable de trasladar las señales

eléctricas convertidas por los sensores y este a su vez está conectado. Este cable posee puntos de vínculo eléctrico donde se vincula cada geófono, estos últimos colocados a distancias de igual medida.

Las uniones entre los sensores y el cable sísmico, no son aptos para colocarse en contacto con el agua, es por esto que se debe tener en cuenta que se debe evitar cortos circuitos ocasionados por causas externas tales como el pasto mojado, lluvia, entre otros. Si se necesitara hacer estudio en lugares donde hay presencia de agua superficial, será necesario la utilización de sensores, cables de conexión de sensores y dispositivos específicos a prueba de agua.

Figura 32.

Cable sísmico, para conexión de geófonos y sismógrafo



Nota: Propia (2022)

c) Fuente sísmica (sistema de disparo trigger)

La fuente sísmica es llamada también martillo o disparo trigger, esta provoca un fuerte impacto en la superficie generando ondas sísmicas debido a las vibraciones sobre el terreno, esta se encarga de enviar la señal al grupo de obtención de información provocados en el momento de impacto.

Para estudios sísmicos de refracción como el MASW se recomienda la utilización de un martillo de 10 libras. La utilización de martillos con mayor masa, ayudara a generar una buena propagación en el terreno o zonas que

puedan ser desfavorables en el ensayo. Además, es esencial para conseguir y llegar a tener una profundidad de estudio mayor a 25 m. Para este estudio se utilizó un martillo de 25 lb.

Figura 33.

Instrumentos que conforman fuente sísmica



Nota: Propia (2022)

d) Sismógrafo

La función de los sismógrafos es de recoger las percusiones eléctricas (voltajes) de los sensores, amplificados y transformarlos de caracteres analógicos a caracteres digitales, la cual viene a ser la manera en que se recopila la información sísmica. Algunos modelos tienen la capacidad de realizar el proceso y finalmente proporcionar la información en modo de un escrito o registro digital. Otra característica importante de los sismógrafos es que estos al poseer canales para recepcionar las ondas remitidas por los sensores, la cantidad de canales viene a ser igual al número de geófonos que pueden ser conectados a este. El usuario puede definir las opciones más convenientes para filtrar y digitalizar las señales.

Los tipos de sismógrafos que se encuentran en el mercado, son principalmente dos tipos, el primero que consta de un solo canal y el segundo presenta múltiples canales. Para el estudio de casos en Ingeniería resultan más

completos los sismógrafos con monitores digitales incorporados. Para esta investigación se utilizó un sismógrafo llamado GEODE-24 Canales.

Figura 34.
Sismógrafo



Nota: Propia (2022)

e) Amplificadores

Son los cables que conectan al sismógrafo y la laptop para el registro de la información de las ondas.

Figura 35.
Conexión de sismógrafo y laptop



Nota: Propia (2022)

f) Unidad de control y almacenamiento

Hay dos tipos de almacenamiento como sismógrafos propios y por otro lado consiste en una laptop donde se ha instalado el sistema operativo conectado

procesamiento de datos y adquisición de información de los parámetros. Tal como fue el tratamiento de datos para esta investigación.

4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de información

4.5.1. Recolección de información

Primero se seleccionó el sitio más adecuado para el tendido de la línea sísmica y se fijan los intervalos de medida entre geófono y geófono. Se colocaron los geófonos de 4.5 Hz espaciados a una longitud de 4 m cada uno uniformemente introducido a presión en el suelo. La parte puntiaguda debe ser introducida, esto con el fin de lograr una buena adherencia del geófono al suelo.

Figura 36.

Incrustado de geófonos a suelo



Nota: Propia (2022)

Luego se procedió al tendido del cable principal al cual se unieron los geófonos, se tuvo en cuenta colocarlo a la parte izquierda del alineamiento de los geófonos, esto teniendo como punto de observación el lugar donde se encontraba

el sismógrafo. Posteriormente se procedió a conectar los geófonos al cable antes mencionado.

Figura 37.

Conexión de geófonos a cable sísmico



Nota: Propia (2022)

Para generar energía sísmica en los puntos de análisis, fue necesario de la ejecución de un disparo con una comba de 25 lb. Este disparo se realizó sobre una placa circular de acero con espesor de 1.5 cm y 15 cm de radio Véase Figura 38

Figura 38.

Placa donde se realiza el impacto o shot



Nota: Propia (2022)

Esto con la finalidad de que produzca un movimiento eléctrico en el momento exacto en el cual se realiza la perturbación para obtener una señal en el tiempo de inicio del dinamismo sísmico (tiempo cero). Para esta investigación la fuente de energía utilizada fue una comba de 25 libras, adecuada con un geófono especial para determinar el tiempo de inicio. (Véase Figura 39)

Figura 39.

Interruptor para marcar el tiempo cero

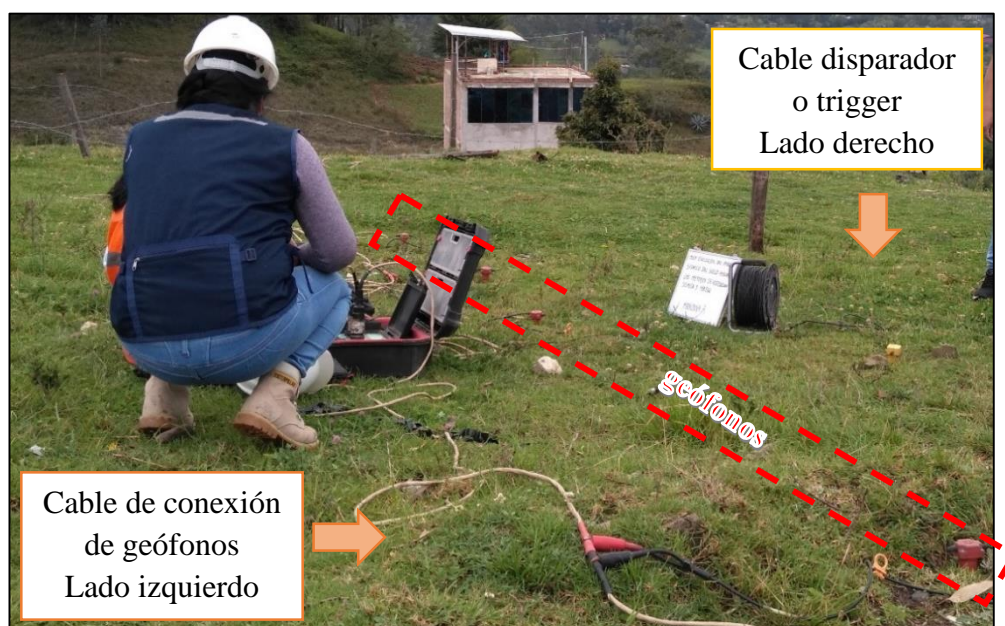


Nota: Propia (2022)

Luego se procedió al tendido del cable trigger o disparador, esto se realizó perpendicularmente al alineamiento de los sensores, y a su derecha.

Figura 40.

Posicionamiento de cable portador de geófonos y cable trigger

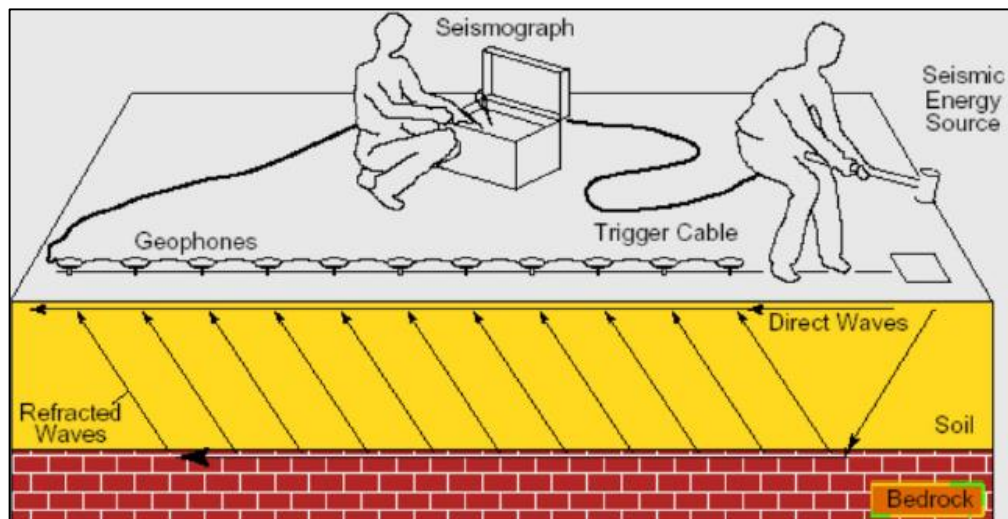


Nota: Propia (2022)

Luego de realizarse la unión de todos los elementos al equipo: Los cables pertenecientes a los sensores, batería de 12 V, cable trigger, cable de transferencia digital y laptop (Véase Figura 41). En el software para la toma de datos desde la laptop, se tomó anotación del nombre del lugar de exploración, localización del sitio de estudio y fecha; seguido se configura la posición de los sitios de perturbación, unidades de medida, espaciamiento y cantidad de geófonos utilizados, entre otros.

Figura 41.

Esquema de ensayo para Refracción Sísmica y MASW

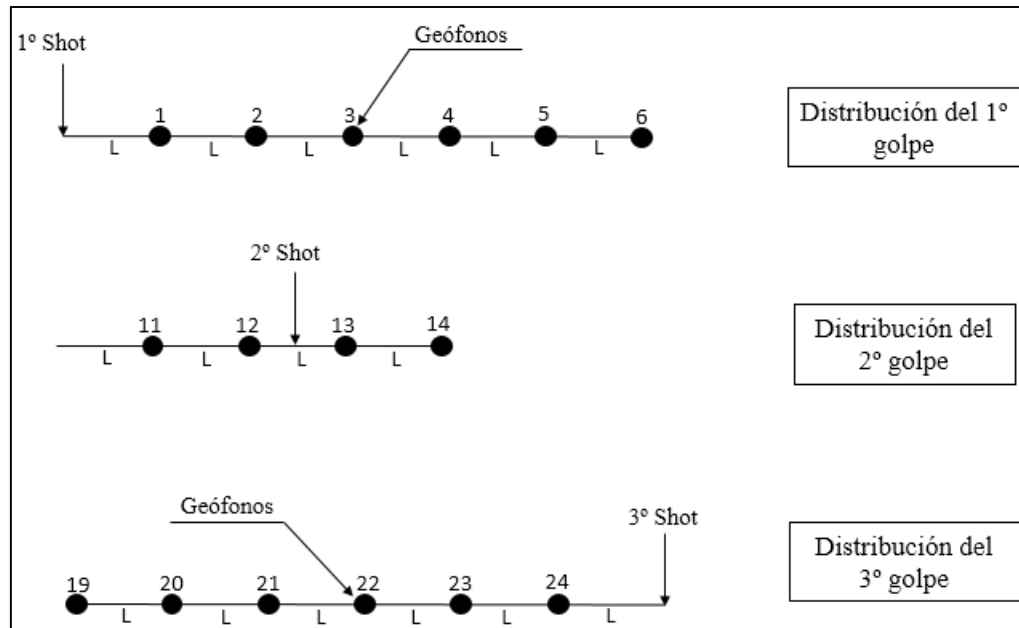


Nota: Suárez (2013)

Luego de las instalaciones de todo el equipo para el ensayo, se procedió a verificar la conexión de cada geófono a su cable de conexión respectivo. Posteriormente se acondicionó la placa para la ejecución de los impactos teniendo en cuenta que se ejecutó entre tres o cuatro golpes en cada uno de los puntos, con el objetivo de captar la mejor señal, el primer disparo se realizó a un metro del geófono N° 1, el segundo disparo se realizó entre los geófonos N° 12 y 13 y el último disparo se realizó a un metro del geófono N° 24. Para mayor descripción de la cantidad de impactos y su ubicación. Véase Figura 42

Figura 42.

Distribución de shots para ensayos geofísicos



Nota: Propia (2022)

4.5.2. Procesamiento de información

Las llegadas de las ondas generan oscilaciones las cuales son registradas por cada uno de los sensores y posteriormente estas son amplificadas por el sismógrafo. Su visualización se realizó en una computadora mediante un software especializado llamado Gea24 que es proporcionado por PASI, responsables de la adquisición de equipos y software para el desarrollo de este proyecto. Este software está conformado por cuatro módulos que son útiles para interpretación de data de los sondeos de Refracción Sísmica y MASW: “Pickwin”, “Plotrefa”, “WaveEq” y “Geoplot”; en el presente estudio se utilizaron los dos primeros módulos.

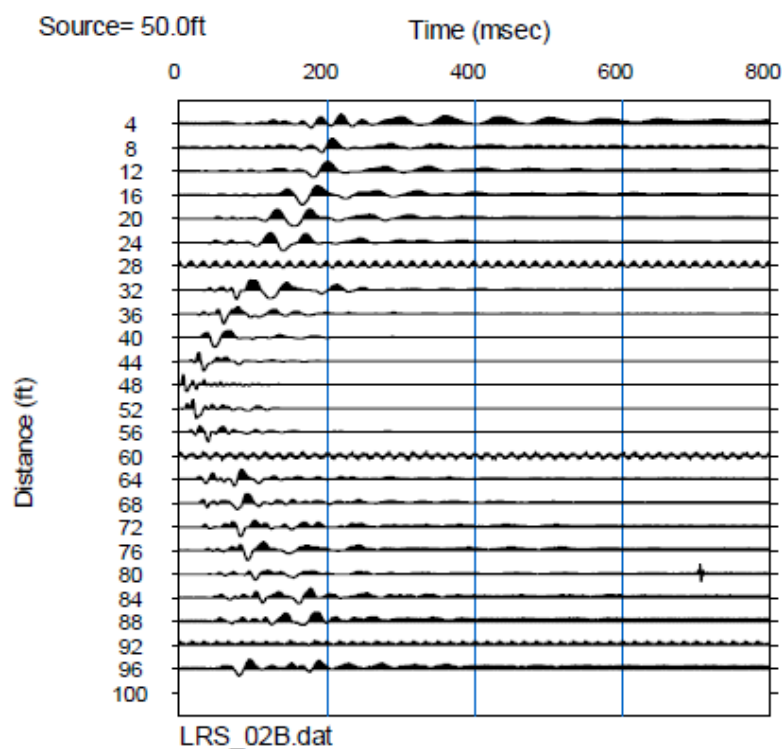
a) Módulo Pickwin

Aquí se identificaron y se seleccionaron los primeros arribos a partir del registro de ondas almacenado directamente del sismógrafo, estas presentan un formato dat. Luego de obtener esta información, el interesado puede

configurar las características con la finalidad de mejorar y posibilitar la elección de las llegadas iniciales. Este módulo brinda distintas configuraciones de filtro para los datos, aumentando o disminuyendo el rendimiento, además consiente observar y cambiar ciertos parámetros del tendido y también del sismógrafo.

Figura 43.

Registro de ondas-Refracción Sísmica-Módulo Pickwin



Nota: Propia (2022)

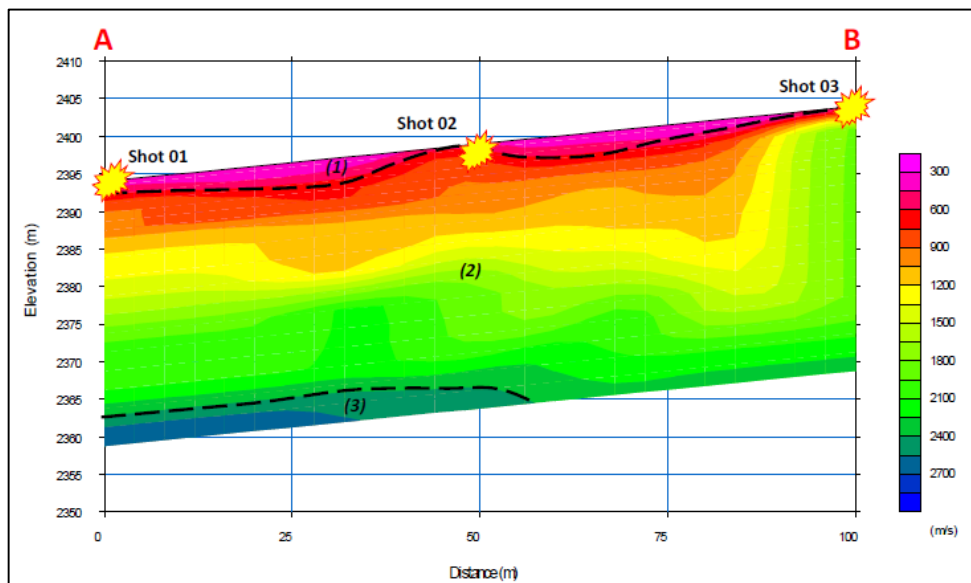
b) Módulo Plotrefa

Luego de obtener los datos en el módulo Pickwin, son ingresados a este módulo en formato SEG-2. Se digitalizan los datos y se procede a aplicar cualquiera de los métodos de inversión (“The tomographic method”, “The reciprocal time method” y “The time-term method”) estos últimos métodos están fundados en tiempos de retraso; su primordial distinción es el procedimiento con el que se calcula el tiempo. En este módulo se incluyen los pasos de generación de dromocronas, determinación de velocidades y número

de capas y finalmente se realiza la inversión a través de tomografías, generando un modelo de capas para determinar el perfil sísmico del suelo. Es decir, presenta una comparación o relación entre las ondas de compresión vs la profundidad en intervalos, en el cual se ve el perfil del suelo conformado por capas. Véase Figura 44

Figura 44.

Perfil sísmico obtenido por método de Refracción Sísmica



Nota: Propia (2022)

Este ensayo da como resultado la velocidad con la que se propagan las ondas de compresión “ V_p ” producidos mediante comba y placa. Las ondas que entran en el suelo, se refractan, cambiando su dirección y llegando a todos los geófonos, estos son captados por el llamado cable Trigger y llevados al sismógrafo.

En la Tabla 11 se indica la clasificación de los suelos según el alcance de su velocidad de ondas de compresión V_p .

Tabla 11.

Clasificación del tipo de suelo según Norma ASTM D 5777

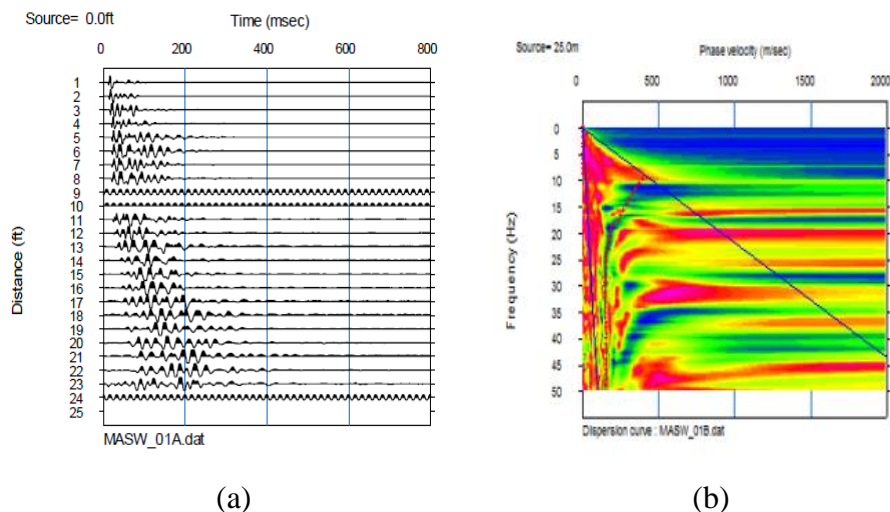
Descripción	Vp (m/s)
Suelo meteorizado	240 - 610
Grava o arena seca	460 - 915
Arena saturada	1220 - 1830
Roca metamórfica	3050 - 7000

Nota: ASTM D 5777 (2018)

Para el caso del ensayo MASW, se resume en la justificación de las ondas superficiales (Rayleigh) de un registro en arreglo multicanal similar al de Refracción Sísmica, originadas por una fuente de energía impetuosa en lugares ubicados a longitudes establecidas a lo largo del tendido sobre el exterior del suelo. Mediante un procesamiento minucioso se obtiene un esquema de longitud contra tiempo y con ayuda de las conversiones de Fourier se adquiere las parábolas de velocidad de fase Vs frecuencia en cuando se logra mostrar la orientación de la ondulación de fase que luego determina la aceleración de la onda de corte. De esta manera se obtiene la curva de dispersión.

Figura 45.

Curva de dispersión obtenida por sondaje MASW



Nota: En la figura a) se muestra el período de arribo de las ondas secundarias para distintas dimensiones, en la figura b) se muestra la parábola de la velocidad de fase vs frecuencia. Propia (2022)

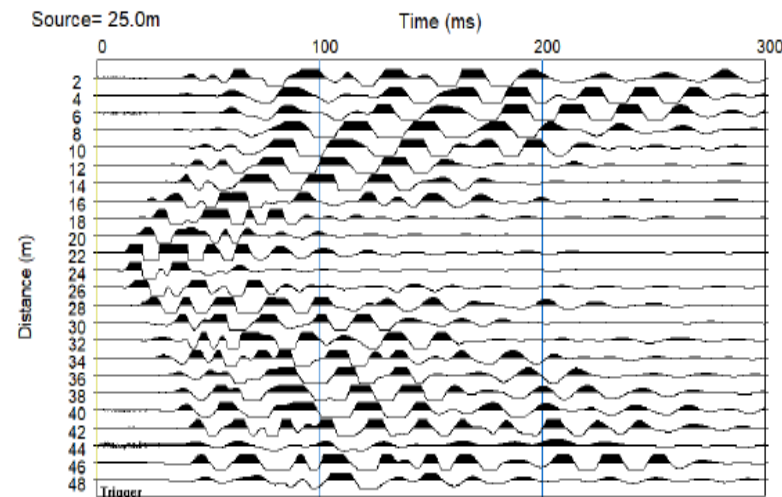
4.5.3. Análisis de información

Primeramente, se ubicó la línea sísmica en la zona de estudio, luego se conectó a los accesorios (cables sísmicos, geófonos, sismógrafo, entre otros.) Durante el ensayo se verificó la información obtenida en campo, esto con la finalidad de evitar y/o corregir algún inconveniente suscitado por la variabilidad del suelo y sus diferencias laterales, y así garantizar una correcta adquisición de datos.

En la Figura 46, se muestra el arribo de las ondas a los sensores, estas fueron registradas por el sismógrafo y visualizado en el Software Pickwin.

Figura 46.

Sismograma de tendido sísmico para 24 canales



Nota: Propia (2022)

Para el procesamiento de la data se seleccionó los mejores archivos de datos, teniendo en cuenta la calidad y la exactitud. Luego se establecieron las llegadas y se construyó las curvas dromocronas o de dispersión (según sea el ensayo), luego se realizó la inversión de los datos y se obtiene los perfiles del subsuelo donde se determinó su estratigrafía basándose en las pendientes y aceleración de propagación de las ondas obtenidas.

4.6. Matriz de consistencia

Autora: Mareli Medina Ochoa

Título: Evaluación del Perfil Sísmico del suelo mediante los métodos de Refracción Sísmica y MASW

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores
¿Cuáles son los resultados de la evaluación del perfil sísmico del suelo de la Residencial el Mirador obtenidos por los métodos de Refracción Sísmica y MASW?	<p>Objetivo General: Evaluar el perfil sísmico del suelo mediante los métodos de Refracción Sísmica y MASW con el fin de obtener los parámetros de sitio para la Residencial El Mirador, Chota.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obtener la velocidad de propagación de ondas de compresión (V_p), para determinar el perfil sísmico y tipo de suelo. • Obtener el promedio de las velocidades de propagación de ondas de corte (V_{s30}), para determinar el perfil sísmico del suelo, según la clasificación dada por la Norma Técnica E.030 (2019). • Comparar los resultados obtenidos por el método de Refracción Sísmica y MASW. • Determinar los parámetros de sitio: Factor de suelo (S) y los Periodos predominantes (TP y TL) para los suelos de la Residencial El Mirador, Chota. 	<p>Hipótesis General: El perfil sísmico del suelo obtenido por la metodología MASW, es mejor técnicamente que el perfil obtenido mediante método de Refracción Sísmica, para la obtención de parámetros de sitio</p>	<p>Variable Única: Perfil sísmico del suelo</p>	<p>Velocidad de propagación de ondas primarias (V_p)</p> <hr/> <p>Velocidad de propagación de ondas secundarias (V_s)</p>	<p>Clasificación del perfil del suelo ASTM D 5777 (2018)</p> <hr/> <p>Clasificación del perfil del suelo. E.030 (2019)</p>

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Presentación de resultados

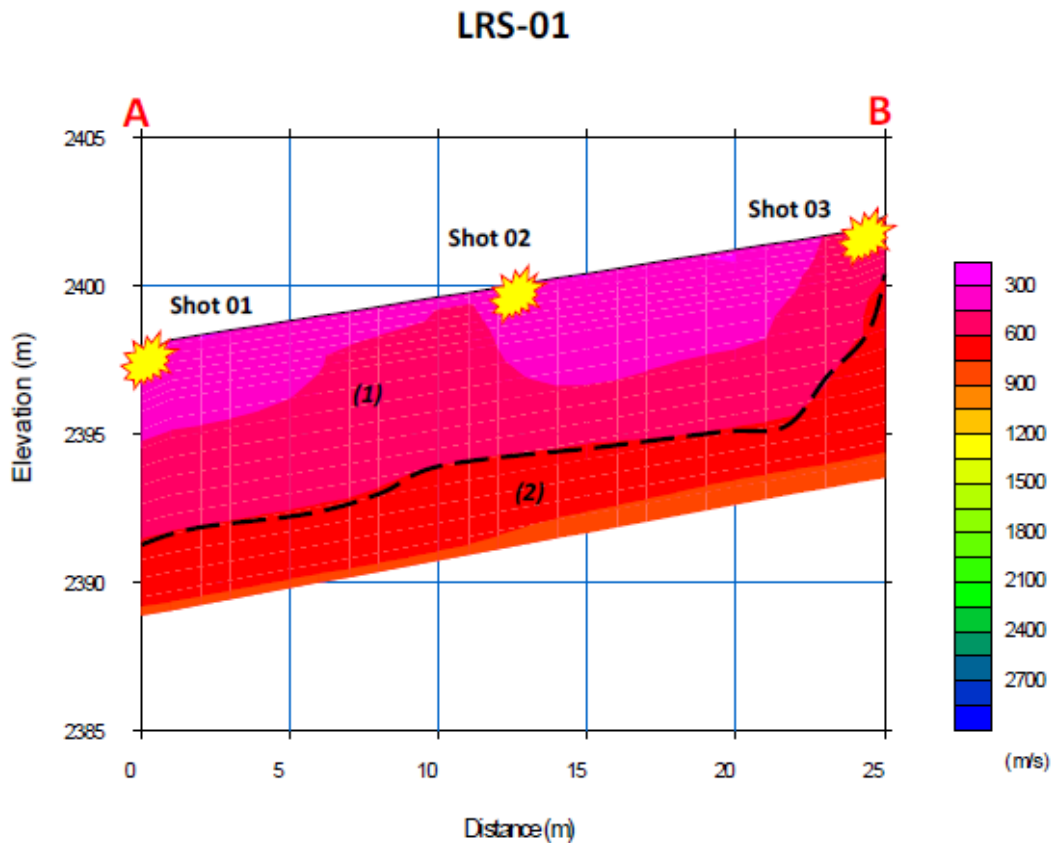
5.1.1. Resultados de medición mediante Refracción Sísmica

a) Resultados de ensayo LRS-01

El tendido LRS-01, presentó una distancia total de exploración de 25 m con una profundidad de 8 m, la cual estuvo conformada por dos estratos.

Tabla 12.

Descripción del perfil sísmico - Refracción Sísmica - LRS-01



Scale = 1/238

Tipo de Onda	Descripción del tipo de suelo estimado- ASTM D-5777	Tipo de suelo
P	Velocidad de onda $V_{p1} = 342 \text{ m/s}$	(1) Material conformado por un suelo meteorizado. Alcanzando una profundidad máxima de 6.80 m
	$V_{p2} = 672 \text{ m/s}$	(2) Material compuesto por un suelo de grava o arena seca. Para profundidades mayor que 6.8 m

Nota: Propia (2022)

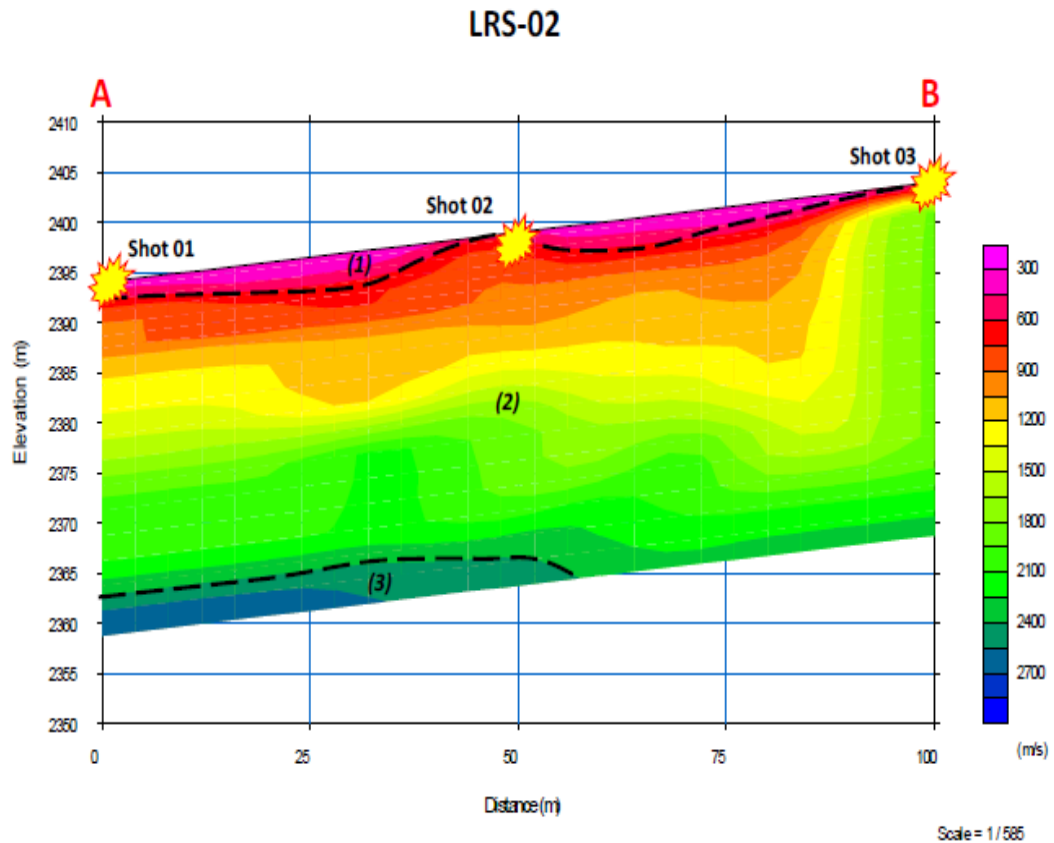
b) Resultados de ensayo LRS-02

El tendido LRS-02, presentó una distancia total de exploración de 100 m con una profundidad de 30 metros, la cual estuvo conformada por tres estratos.

Véase Tabla 13

Tabla 13.

Descripción del perfil sísmico - Refracción Sísmica - LRS-02



Tipo de Onda	Descripción del tipo de suelo estimado- ASTM D-5777	Velocidad de onda	Tipo de suelo
P		Vp1 = 612 m/s	(1) Material conformado por un suelo meteorizado. Alcanzando una profundidad máxima de 4.70 m
		Vp2 = 856 m/s	(2) Material compuesto por arena saturada. Profundidades entre 4.70 m y 29.80 m
		Vp3 = 2400 m/s	(3) Material conformado por un suelo de roca metamórfica, Para profundidades mayor que 29.80 m

Nota: Propia (2022)

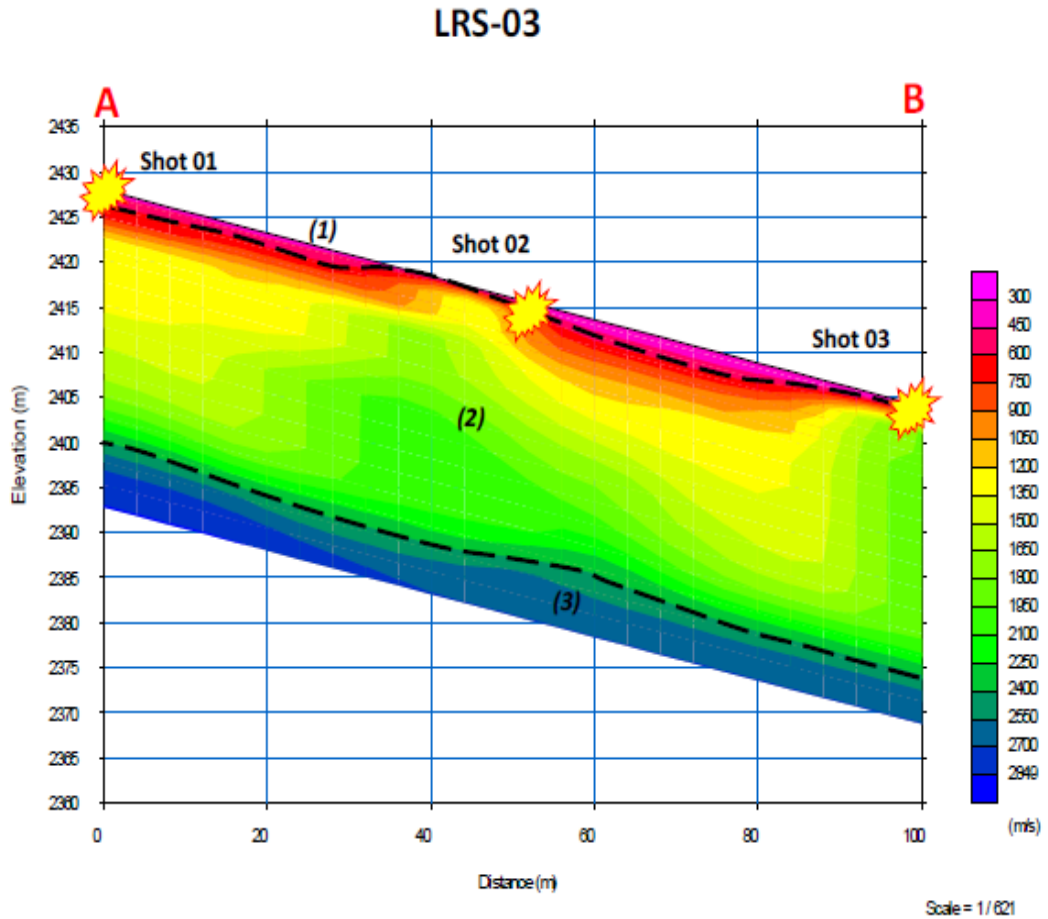
c) Resultados de ensayo LRS-03

El tendido LRS-03, presentó una distancia total de exploración de 100 m con una profundidad de 30 metros, la cual estuvo conformada por tres estratos.

Véase Tabla 14

Tabla 14.

Descripción del perfil sísmico - Refracción Sísmica - LRS-03



Tipo de Onda	Descripción del tipo de suelo estimado – ASTM D 5777	Tipo de suelo
	Velocidad de onda	
P	$V_{p1} = 735 \text{ m/s}$	(1) Material conformado por un suelo meteorizado. Hasta una profundidad de 2.30 m
	$V_{p2} = 856 \text{ m/s}$	(2) Material compuesto por arena saturada. Profundidades entre 2.30 m y 26.80 m
	$V_{p3} = 2400 \text{ m/s}$	(3) Material conformado por un suelo de roca metamórfica. Para profundidades mayor que 26.80 m

Nota: Propia (2022)

5.1.2. Resultados de medición mediante MASW

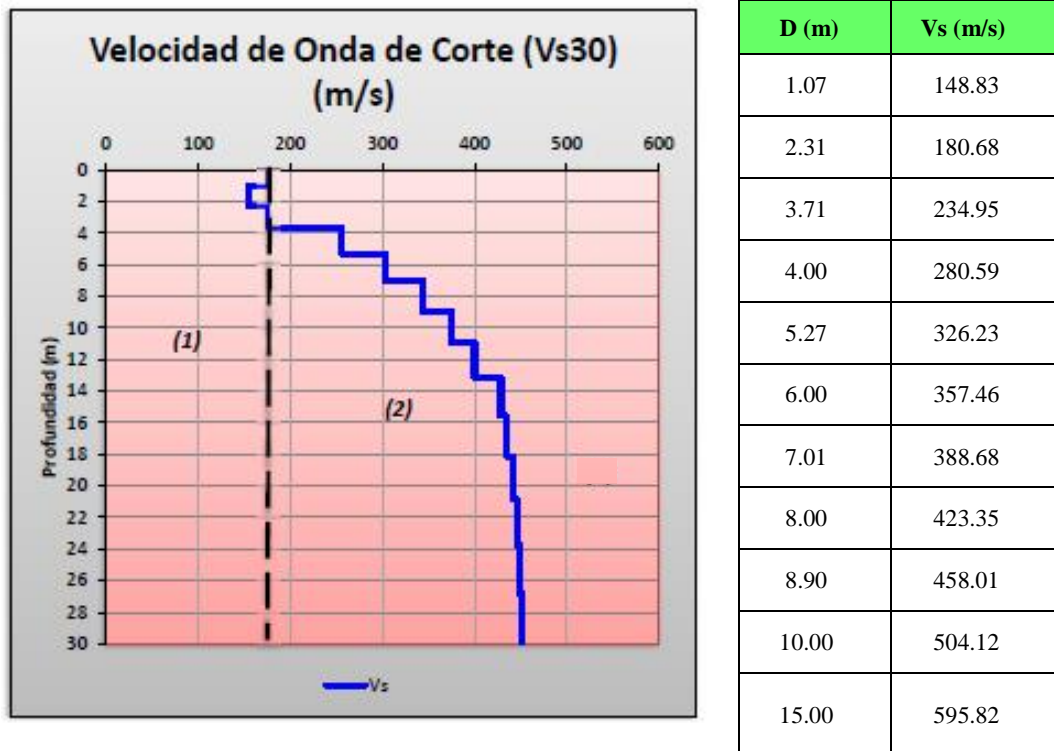
a) Resultados de ensayo MASW-01

El tendido MASW-01, presentó una distancia total de exploración de 25 m con una profundidad de 8 m, la cual estuvo conformada por dos estratos.

Véase Tabla 15

Tabla 15.

Descripción del perfil sísmico - MASW - MASW-01



Descripción del tipo de suelo estimado-NTP E.030		
Tipo de Onda	Velocidad de onda (aprox.)	Tipo de suelo
S	Vs 1= 154 m/s	(1) Material conformado por un suelo blando. Alcanzando una profundidad máxima de 3.70 m
	Vs2= 256 m/s	(2) Material compuesto por un suelo intermedio. Para profundidades mayor que 3.70 m

Nota: Propia (2022)

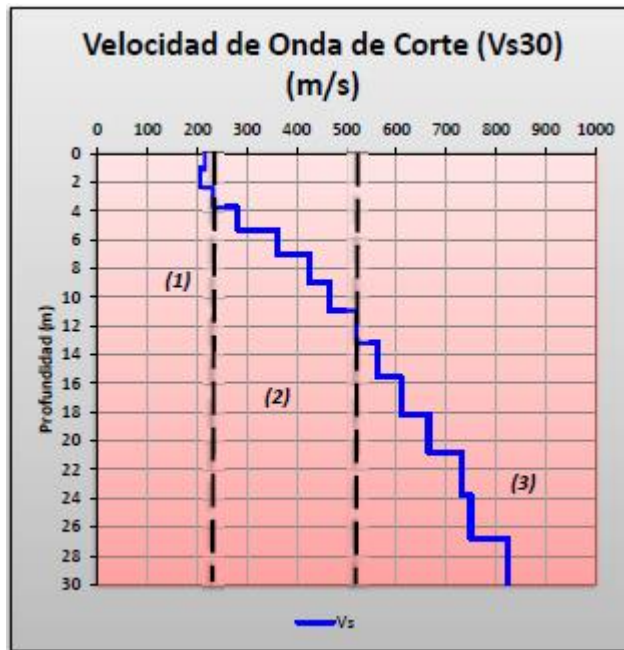
b) Resultados de ensayo MASW-02

El tendido MASW-02, presentó una distancia total de exploración de 100 m con una profundidad de 30 metros, la cual estuvo conformada por tres estratos.

Véase Tabla 16

Tabla 16.

Descripción del perfil sísmico - MASW - MASW-02



D (m)	Vs (m/s)
1.07	206.09
2.31	234.06
3.71	280.37
4.00	321.27
5.27	362.17
6.00	393.06
7.01	423.95
8.00	444.61
8.90	465.27
10.00	520.80
15.00	610.15

Tipo de Onda	Descripción del tipo de suelo estimado - NTP E.030	
	Velocidad de onda (aprox.)	Tipo de suelo
S	Vs1= 206 m/s	(1) Material conformado por un suelo blando. Alcanzando una profundidad máxima de 3.70 m
	Vs2= 280 m/s	(2) Material compuesto por un suelo intermedio. Profundidades entre 3.70 m y 9.40 m
	Vs3= 562 m/s	(3) Material conformado por un suelo muy rígido. Para profundidades mayor que 9.40 m

Nota: Propia (2022)

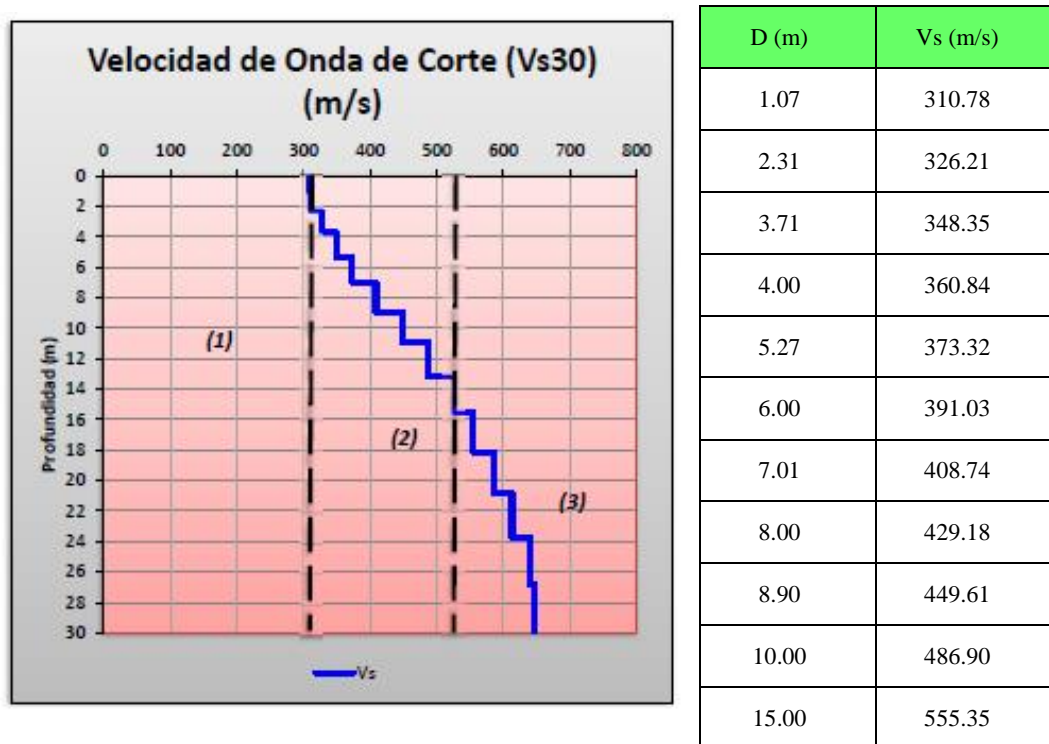
c) Resultados de ensayo MASW-03

El tendido MASW-03, presentó una distancia total de exploración de 100 m con una profundidad de 30 metros, la cual estuvo conformada por tres estratos.

Véase Tabla 17

Tabla 17.

Descripción del perfil sísmico - MASW - MASW-02



Descripción del tipo de suelo estimado- NTP E.030		
Tipo de Onda	Velocidad de onda (aprox.)	Tipo de suelo
S	Vs1= 308 m/s	(1) Material conformado por un suelo blando. Alcanzando una profundidad máxima de 2.30 m
	Vs2= 326 m/s	(2) Material compuesto por un suelo intermedio. Profundidades entre 2.30 m y 13.30 m
	Vs3= 555 m/s	(3) Material conformado por un suelo muy rígido Para profundidades mayor que 13.30 m

Nota: Propia (2022)

5.1.3. Parámetros elásticos y capacidad portante del suelo

Para obtener las características elásticas y capacidad portante del suelo se tuvo como punto de inicio la aceleración de ondas primarias (Vp) y las secundarias (Vs) y el peso específico. Estos datos fueron resultado de los sondeos de Refracción Sísmica y MASW.

a) Resultados de parámetros elásticos

Tabla 18.

Resultados de parámetros elásticos-Tendido 01

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (Tn/m ³)	μ Poisson	Módulo de corte (Kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)	Módulo volumétrico (Kg/cm ²)
1.07	148.83	342.20	1.20	0.38	284.96	788.4	1126.42
4.00	280.59	522.10	1.34	0.30	1063.08	2757.49	2263.24
8.00	423.35	780.45	1.39	0.29	2544.01	6571.41	5254.09

Nota: Propia (2022)

Tabla 19.

Resultados de parámetros elásticos-Tendido 02

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (Tn/m ³)	μ Poisson	Módulo de corte (Kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)	Módulo volumétrico (Kg/cm ²)
1.07	206.09	668.35	1.29	0.45	558.16	1615.82	5126.16
6.00	393.06	929.86	1.38	0.39	2170.41	6039.02	9252.49
15.00	610.15	1535.86	1.48	0.41	5621.57	15811.24	28124.12

Nota: Propia (2022)

Tabla 20.

Resultados de parámetros elásticos-Tendido 03

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (Tn/m ³)	μ Poisson	Módulo de corte (Kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)	Módulo volumétrico (Kg/cm ²)
1.07	310.78	776.04	1.34	0.40	1318.33	3703.17	6462.40
6.00	391.03	1133.35	1.38	0.43	2146.50	6149.45	15169.72
15.00	555.35	1781.76	1.45	0.45	4575.11	13233.06	40994.67

Nota: Propia (2022)

b) Resultados de capacidad portante

Según Tezcan et al. (2007) propusieron relacionar el q_a (capacidad portante) de los suelos con la velocidad de propagación de las ondas de corte (V_s) y un coeficiente de seguridad “n” el mismo que dependerá del centro donde se harán las cimentaciones.

$$q_a = 0.1 * \gamma * \frac{V_s}{n} \dots\dots\dots \text{Ecuación 21}$$

Donde:

γ = Peso específico (obtenidos a través de sondeos de Refracción Sísmica).

V_s = Velocidad de las ondas secundarias

n= Coeficiente para suelo y roca

Terzaghi y Peck proponen que se le agregue un valor de corrección denominado (α), ya que indican que al obtener el valor de la carga admisible se ve disminuido por la anchura de la zapata (B).

Donde:

$$\alpha = 1.00, \text{ para } 0 \leq B \leq 1.20 \text{ m} \dots\dots\dots \text{Ecuación 22}$$

$$\alpha = 1.13 - 0.11B, \text{ para } 1.20 \leq B \leq 3.00 \text{ m} \dots\dots\dots \text{Ecuación 23}$$

$$\alpha = 0.83 - 0.01B, \text{ para } 3.00 \leq B \leq 12.00 \text{ m} \dots\dots\dots \text{Ecuación 24}$$

Para el caso de este estudio se tomará como longitud de base de hasta 1.20 m, para el que se tendrá un valor de corrección igual a 1 y para el factor de seguridad n se tendrá en consideración los parámetros de la Tabla 18

Tabla 21.
Valores de n según V_s y tipo de suelo

Tipo de suelo	V_s (m/s)	n	Q_a (KN/m ²)
Rocas duras	$V_s \geq 4000$	1.4	$0.071 \gamma V_s$
Rocas blandas	$750 \leq V_s \leq 4000$	$1.6-8.10^{-6} V_s$	$0.071 \gamma V_s$
Suelos	$V_s \leq 750$	4.0	$0.025 * \gamma * V_s * \alpha$

Nota: Tezcan et al. (2007)

Considerado los coeficientes de seguridad y corrección se determinó la ecuación con la que se realizó el cálculo de la capacidad portante. Tal como se muestra en las Tablas 19, 20 y 21

- Resultados de capacidad portante Tendido 01

Tabla 22.

Resultados de capacidad portante -Tendido 01

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (KN/m³)	n	qa (KN/m²)	qa (Kg/cm²)
1.07	148.83	342.2	11.77	4	43.79	0.45
4.00	280.59	522.1	13.14	4	92.17	0.94
8.00	423.35	780.45	16.63	4	176.01	1.79
					Promedio	1.06

Nota: Propia (2022)

- Resultados de capacidad portante Tendido 02

Tabla 23.

Resultados de capacidad portante -Tendido 02

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (KN/m³)	n	qa (KN/m²)	qa (Kg/cm²)
1.07	206.09	668.35	12.65	4	65.18	0.66
6.00	393.06	929.86	13.53	4	132.95	1.36
15.00	610.15	1535.86	14.51	4	221.33	2.26
					Promedio	1.43

Nota: Propia (2022)

- Resultados de capacidad portante Tendido 03

Tabla 24.

Resultados de capacidad portante -Tendido 3

Profundidad (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad (KN/m³)	n	qa (KN/m²)	qa (Kg/cm²)
1.07	310.78	776.04	13.14	4	102.09	1.04
6.00	391.03	1133.35	13.53	4	132.27	1.35
15.00	555.35	1781.76	14.22	4	197.43	2.01
					Promedio	1.47

Nota: Propia (2022)

5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

5.2.1. Análisis y discusión de datos obtenidos para el ensayo de RS (V_p)

Se realizó el registro de las ondas, para cada línea de exploración realizadas, las cuales son mostrados en el apartado de Anexo 2.1. Posteriormente se establecieron las parábolas de tiempo-distancia (Dromocronas), que se muestran en la sección Anexo 2.2, donde se presenta la llegada de las ondas primarias o refractadas a cada uno de los sensores ubicado a una distancia determinada. Con estos datos se procedió al entendimiento de los perfiles sísmicos obtenidos para los tres tendidos.

a) LRS-01

El sondaje LRS-01, tuvo una longitud total de 25 m y una profundidad total de 8 m. Los resultados indicaron que el perfil obtenido presenta dos estratos:

- La estratigrafía de la parte inicial del terreno presentó velocidades de propagación de ondas principales (V_p) comprendidas desde los 300 m/s hasta los 600 m/s, donde los espesores de estrato están comprendidos entre 2.70 y 6.80 m. Según la Tabla 11 la clasificación a la que pertenece es a la de suelo meteorizado.
- Para el estrato 02 se determinaron aceleraciones de propagación de ondas principales (V_p) mayores a 900 m/s, donde los espesores de estrato están comprendidos entre 6.80 y 8.00 m. Según la Tabla 11 la clasificación de suelo a la que pertenece es una grava o arena seca. Para mayor detalle del sondaje véase Anexo 2.3

b) LRS-02

El sondaje LRS-02, tuvo una longitud total de 100 m y una profundidad de 30 m. Los resultados indicaron que el perfil obtenido presenta tres estratos:

- La estratigrafía de la parte inicial del terreno presentó velocidades de propagación de ondas principales (V_p) comprendidas desde los 300 m/s hasta los 600 m/s, donde los espesores de estrato están comprendidos entre 0.40 y 4.70 m. Según la Tabla 11 la clasificación a la que pertenece es a la de suelo meteorizado.
- Para el estrato 02 se encontraron aceleraciones de propagación de ondas principales (V_p) comprendidas desde los 600 m/s hasta los 2400 m/s, donde los espesores de estrato están comprendidos entre 4.70 y 29.8 m. Según la Tabla 11 la clasificación de suelo a la que pertenece es una arena saturada.
- Para el estrato 03 se presentaron aceleraciones de transmisión de ondas principales (V_p) mayores a 2400 m/s, donde los espesores van de 29.80 m a más. Según la Tabla 11 la clasificación a la que el suelo pertenece es a una roca metamórfica. Para mayor detalle del sondaje véase Anexo 2.3

c) LRS-03

El sondaje LRS-03, tuvo una longitud total de 100 m y una profundidad de 30 m. Los resultados indicaron que el perfil obtenido presenta tres estratos:

- La estratigrafía de la parte inicial del terreno presentó velocidades de propagación de ondas principales (V_p) comprendidas desde los 300 m/s hasta los 600 m/s, donde los espesores de estrato están comprendidos entre

0.20 y 2.30 m. Según la Tabla 11 la clasificación a la que pertenece es a la de suelo meteorizado.

- Para el estrato 02 se encontraron aceleraciones de propagación de ondas principales (V_p) comprendidas desde los 600 m/s hasta los 2400 m/s, donde los espesores de estrato están comprendidos entre 2.30 y 26.8 m. Según la Tabla 11 la clasificación de suelo a la que pertenece es una arena saturada.
- Para el estrato 03 se presentaron aceleraciones de transmisión de ondas principales (V_p) mayores a 2400 m/s, donde los espesores van de 26.80 m a más. Según la Tabla 11 la clasificación a la que el suelo pertenece es a una roca metamórfica. Para mayor detalle del sondaje véase Anexo 2.3

5.2.2. *Análisis y discusión de datos obtenidos para el ensayo de MASW (V_s)*

Se realizó el registro de ondas, para cada línea de exploración realizada, las cuales se muestran en el Anexo 3.1. Además, se elaboró las parábolas de dispersión, las cuales son mostradas en el Anexo 3.2. Con estos datos obtenidos se procedió a la compresión de las velocidades de propagación de ondas secundarias (V_s) y perfiles sísmicos obtenidos para los tres tendidos.

a) MASW-01

El sondaje MASW-01, tuvo una longitud total de 25 m y una profundidad de 30 m. Los resultados indicaron que el perfil obtenido presenta dos estratos: El primer estrato presenta una profundidad máxima de 3.7 m, presentando velocidades secundarias (V_s) comprendidas desde los 154 m/s hasta los 175 m/s; mientras que el segundo estrato muestra una profundidad entre 3.70 m y 8.00 m, presentando velocidades secundarias (V_s) comprendidas

desde los 256 m/s hasta los 452 m/s. Según la velocidad del promedio de ondas de corte (V_s 30) que es 328.76 m/s se realizó el siguiente análisis:

- Según la Tabla 6 dada por la IBC 2015, muestra que es un suelo tipo D, es decir un suelo rígido.
- Según la Tabla 3 dada por el NTP E.030 2019, muestra que pertenece al perfil del suelo tipo S2, por lo tanto, este viene a ser un suelo intermedio.

b) MASW-02

El sondaje MASW-02, tuvo una longitud total de 100 m y una profundidad de 30 m. Los resultados indicaron que el perfil obtenido presenta tres estratos: El primer estrato presenta una profundidad máxima de 3.7 m, presentando velocidades secundarias (V_s) comprendida desde los 206 m/s hasta los 521 m/s; El segundo estrato presenta una profundidad entre 3.70 m y 9.40 m, presentando velocidades secundarias(V_s) comprendida desde los 280 m/s hasta los 521 m/s; mientras que el tercer estrato muestra una profundidad entre 9.40 y 30.00 m, presentando velocidades secundarias (V_s) comprendida de los 562 m/s hasta los 824 m/s. Según la velocidad del promedio de ondas de corte (V_s 30) que es 439.20 m/s se realizó el siguiente análisis:

- Según la Tabla 6 dada por la IBC 2015, muestra que pertenece a un suelo de tipología C, es decir es un suelo muy denso o roca muy blanda.
- Según la Tabla 3 dada por el NTP E.030 2019, muestra que pertenece al perfil del suelo tipo S2, por lo tanto, este viene a ser un suelo intermedio.

c) MASW-03

El sondaje MASW-03, tuvo una longitud total de 100 m y una profundidad de 30 m. Los resultados indicaron que el perfil obtenido presenta tres estratos: El primer estrato presenta una profundidad máxima de 2.30 m,

presentando velocidades de corte (V_s) comprendidas entre 308 y 311 m/s; El segundo estrato presenta una profundidad entre 2.30 m y 13.30 m, presentando velocidades secundarias (V_s) comprendida desde los 326 m/s hasta los 526 m/s; mientras que el tercer estrato muestra una profundidad entre 13.30 y 30.00 m, presentando velocidades secundarias (V_s) comprendida desde los 555 m/hasta los 647 m/s. Según la velocidad del promedio de ondas de corte ($V_s 30$) que es 462.42 m/s se realizó el siguiente análisis:

- Según la Tabla 6 dada por la IBC 2015, muestra que pertenece a un suelo de tipología C, es decir es un suelo muy denso o roca muy blanda.
- Según la Tabla 3 dada por el NTP E.030 2019, muestra que pertenece al perfil del suelo tipo S2, por lo tanto, este viene a ser un suelo intermedio.

5.2.3. *Análisis y discusión de parámetros elásticos y capacidad portante del suelo*

Para la obtención de las características dinámicas o elásticas de la superficie en estudio, se relacionó las aceleraciones de las ondas secundarias, ondas primarias y la densidad relativa de los medios por donde se propaga la onda. Para encontrar los parámetros elásticos del suelo como el Módulo de Elasticidad (E_d), Módulo de Poisson (ν), y Módulo de corte ($G_{m\acute{a}x}$); se utilizaron las ecuaciones 15, 16 y 17 respectivamente y los datos resultantes de los sondeos (LRS-01 / MASW-01), (LRS-02 / MASW-02) Y (LRS-03 / MASW-03)

a) Tendido 01

- Se obtuvo Módulos de Corte (G_d) que varían entre 284 y 2544 Kg/cm²; Módulos de Elasticidad (E_d) que varían entre 788 y 6571 Kg/cm² y Módulos Volumétricos (K_e) que varían entre 1126 y 5254 Kg/cm²
- La capacidad portante promedio obtenida fue de 1.06 kg/cm²

b) Tendido 02

- Se obtuvo Módulos de Corte (Gd) que varían entre 558 y 5621 Kg/cm²; Módulos de Elasticidad (Ed) que varían entre 1616 y 15811 Kg/cm² y Módulos Volumétricos (Ke) que varían entre 5126 y 28124 Kg/cm²
- La capacidad portante promedio obtenida fue de 1.43 kg/cm²

c) Tendido 03

- Se obtuvo Módulos de Corte (Gd) que varían entre 1318 y 4575 Kg/cm²; Módulos de Elasticidad (Ed) que varían entre 3703 y 13233 Kg/cm² y Módulos Volumétricos (Ke) que varían entre 6462 y 40994 Kg/cm²
- La capacidad portante promedio obtenida fue de 1.47 kg/cm²

5.3. Contrastación de hipótesis

Según los resultados obtenidos se logró demostrar la hipótesis, que el perfil sísmico del suelo obtenido por el método MASW, es mejor técnicamente que el obtenido mediante Refracción Sísmica, esto considerando lo siguiente:

- Al realizar el sondeo MASW, mediante software se logró determinar las velocidades de propagación de ondas de corte (Vs), luego se determinó el promedio de las (Vs) resultando la velocidad promedio a 30 m (Vs₃₀). El cual es un factor importante para la elaboración y clasificación de los perfiles del suelo mediante normativa nacional (E.030), con la que posteriormente se determinaron los parámetros de sitio como son: Factor de suelo (S) y los periodos de vibración (T_p y T_L); mientras las velocidades de onda de compresión (Vp) obtenidas por el método de Refracción Sísmica solo indican la clasifican del perfil del suelo y mediante normativa internacional ASTM D-5777 (2018).

CONCLUSIONES

- De los ensayos de refracción sísmica, se logró determinar tres tipos de velocidades, lo que indicó que el suelo de la Residencial El Mirador, presenta tres estratos que conforman una profundidad total de 30 m. El primer estrato está conformado por suelo meteorizado hasta aproximadamente los 4.70 m (velocidades entre 300-600 m/s). El segundo estrato estuvo compuesto por arena saturada, con profundidades entre 4.70 m hasta 29.80 m (velocidades entre 600-2400 m/s). El tercer estrato presentaba material conformado por roca metamórfica, esto se puede apreciar desde la profundidad de 29.80 m (Velocidades > 2400 m/s).
- De los ensayos de MASW, se determinó el promedio de las velocidades de propagación de ondas de corte (V_{S30}), los cuales variaron entre 328 y 462 m/s para todos los casos pertenece a un perfil de suelo S₂, ya que este perfil se caracteriza por tener V_{S30} comprendidas entre 180 y 500 m/s
- Al comparar los resultados por ambos métodos, se logró identificar que mediante sondeos MASW se obtiene diversos parámetros como: Clasificación sísmica del suelo (mediante V_s), Perfiles sísmicos (mediante V_{S30}) y mediante fórmulas se podría determinar hasta la capacidad portante del suelo.
- Una vez obtenido el perfil del suelo, se determinó también los parámetros de sitio:

Tabla 25.

Factores sísmicos en zona de estudio

Factores sísmicos	Valor
Perfil del suelo	S2
Factor de Zona (Z)	0.25
Factor de Suelo (S)	1.20
Periodo Predominante (T_p)	0.60 s
Periodo Predominante (T_L)	2.00 s

Nota: Propia (2022)

RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS

- Se recomienda el análisis de perfiles sísmicos del suelo, en otras zonas de la ciudad de Chota, especialmente en aquellas que presentan vulnerabilidad sísmica.
- Es necesario generar un mayor conocimiento de los métodos geofísico, ya que estos estudios no han sido desarrollados anteriormente en la provincia de Chota y en la región Cajamarca son muy escasos.
- Si se necesita el estudio de suelos para áreas extensas y con análisis a profundidades mayores, estos métodos geofísicos son una buena alternativa, ya que su desarrollo implica de tiempos cortos y bajos costos.
- Al ser métodos de detección directa tienen un grado de aproximación aceptable, sin embargo, es recomendable complementar estos ensayos geofísicos con ensayos de metodología directa como calicatas, excavaciones profundas y /o perforaciones dinamitadas para lograr un grado mayor de precisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, Z. (2013). *Ensayos geofísicos para la exploración de suelos*. [Diapositiva de PowerPoint]. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres - CISMID. <https://www.academia.edu/11383326>
- Ali, L. A. (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], Repositorio Institucional - UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2808>
- Aliaga, M. J. (2003). *Estudio geológico-geotécnico para la rehabilitación de la carretera Corral Quemado -Río Nieva Tramo I: Puerto Naranjito – Pedro Ruiz*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos], Repositorio Institucional - UNMSM. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672>
- Arguello, G. (28 de febrero de 2011). *Ondas sísmicas*. Locos por la Geología. <http://www.locosporlageologia.com.ar>
- Avilés, J. F., & Barzallo, B. I. (2016). *Caracterización de suelos del centro histórico de la ciudad de Cuenca mediante métodos geofísicos*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional - UCUENCA. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24201>
- Botero , M. J., Jiménez, C., Moreno, P., Sánchez, M. J., & Verastegui, I. (17 de marzo de 2016). *Principio de Huygens*. Prezi. <https://prezi.com/9creoka-ppih/principio-de-huygens>
- Braja M. Das. (2015). *Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica*. México: Cengage Learning Editores.

- Cajal, A. (6 de mayo de 2021). *Velocidad de propagación de una onda*. Lifeder.
<https://www.lifeder.com/velocidad-propagacion-onda>
- Cantos, F. J. (1973). *Tratado de Geofísica Aplicada*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Minas.
- Chapilliquen, V. R. (2014). *Caracterización Geotécnica del suelo y roca para el diseño de posas sedimentarias en la zona de Ciénega Norte – Tantauatay. Cajamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074>
- Crisólogo, M. E. (2009). *Estudio de Geología*. [Archivo PDF]. Gobierno Regional de Cajamarca. <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/GEOLOGIA.pdf>
- Dueñas, R. D. (2014). *Zonificación de suelos en el área urbana de Carapongo (Lima Metropolitana), aplicando métodos sísmicos y geotécnicos*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional - IGP. <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/3229>
- García, A. (24 de marzo de 2011). *Definición del alcance de la investigación a realizar*. Metodología de la Investigación. <https://sites.google.com/site/metodologiadelainvestigacion>
- GEORYS INGENIEROS S.A.C. (marzo de 2016). Método de Refracción Sísmica. Perú.
- Gestión. (28 de noviembre de 2021). Sismo de 7.5 en Amazonas también se sintió en siete regiones el país. *Gestión*. <https://gestion.pe/peru/sismo-de-75-en-amazonas>
- Griem, W. (22 de marzo de 2020). *Métodos geofísicos - geología*. Apuntes de Geología. <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap01c.htm>
- Huanca, B. G., & Flores, R. S. (2019). Estudio geotécnico y geofísico con fines de cimentación para tres asociaciones de vivienda en la ciudad de Tacna. [Tesis de

- pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Institucional – UPT.
<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/790>
- IBC. (2012). International Building Code. Estados Unidos
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2022). *Evaluación del deslizamiento rotacional en el sector Las Lagunas*.
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544>
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2022). *Geofísica*. <https://insivumeh.gob.gt/?s=geofisica>
- Instituto Universitario de Investigación Andaluz. (4 de febrero de 2022). *Prospección Sísmica*. http://iagpds.ugr.es/pages/geofisica_aplicada
- Jaimes, J. D. (2011). *Métodos geofísicos aplicados a la caracterización de suelos: Estado del arte*. [Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio Institucional - UIS. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/141131.pdf>
- Jurado, A. B., & Araujo, R. F. (2019). *Análisis comparativo de métodos destructivos y no destructivos en la determinación de parámetros geotécnicos para estabilización de un talud en la Costa Verde - Miraflores*. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional – URP.
<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2786>
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. New York: Prentice - Hall.
- López, S. Y. (2016). *Ensayos geofísicos para la exploración de suelos en estructuras patrimoniales*. [Tesis de postgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional – PUCP.
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6890>
- Merma, R. (2021). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de suelos aplicando el ensayo de Refracción Sísmica y el método (MASW) en el Pueblo Joven Belén distrito*

- Yauri Espinar - Cusco*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión, Juliaca].
Repositorio Institucional - UPEU.
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4949>
- Naranjo, H., & Dranichnikov, T. (2012). *Cálculo de capacidad portante basado en geofísica y método convencional. El caso del puente sobre el río Maicito*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional - UPS.
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4459>
- Nguyen, T. (18 de febrero de 2022). *Elementos de una onda*. Zupherozzono. Obtenido de Zupherozzono: <https://zupherozzono.wordpress.com/todoondas>
- Norma Técnica E. 050. (2018). *Suelos y Cimentaciones*. Diario Oficial El Peruano.
- Norma Técnica E.030. (2019). *Diseño Sismorresistente*. Diario Oficial El Peruano.
- Park, C., Miller, R., Xia, J., & Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW) - Active and passive methods. *Science for a Changing World*, 26, 60-64. <https://doi.org/10.1190/1.2431832>
- Pérez, J., & Gardey, A. (2012). *Perturbación*. Definición. DE. <https://definicion.de/perturbacion>
- Pinto, K. J., & Cubas, E. (2019). *Evaluación geotécnica para mejorar el diseño de la cimentación de terraplenes en la carretera Yurimaguas -Munichis, Distrito de Yurimaguas, Provincia de Alto Amazonas, Departamento de Loreto - 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú - UPC]. Repositorio Institucional - UPC. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1194>
- Quispe, M. E. (2012). *Exploración geofísica mediante métodos de Refracción Sísmica y MASW 1D en proyectos de Ingeniería Civil*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional - UNI. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/15301>

- Rivera, M. A., Piedra, R., & 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. Obtenido de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/view/18630/18868>
- Rojas, A. (20 de diciembre de 2019). *Ondas sísmicas*. Geoxnet. <https://post.geoxnet.com/glossary/ondas-sismicas>
- Rosales, C. I. (2001). *Sobre el comportamiento sísmico de los depósitos de suelos del área de Cañaveralejo, Cali, Colombia*. [Tesis de pregrado, Universidad del Valle]. Repositorio Institucional - Universidad del Valle. <https://www.osso.org.co/docu/tesis/2001/>
- Sáez, M. A. (2016). *Correlación cruzada de ruido sísmico para la obtención de perfiles profundos de velocidad de onda de corte en la cuenca de Santiago*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional - UCHILE. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/138954>
- Salas, M. D. (2021). *Comparación de la respuesta estructural de una edificación utilizando espectros de diseño probabilístico y espectros de la normativa vigente para la ciudad de Cajamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional - UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074>
- Schlumberger. (08 de febrero de 2022). *Principio de Fermat*. Oilfield Glossary en español. https://glossary.oilfield.slb.com/es/terms/f/fermats_principle
- Sheriff, R., Geldart, L., & Telford, W. (2004). *Applied Geophysics*. New York: Cambridge University Press.

- Suárez, J. (2013). *Visión geotécnica de la Amenaza Sísmica con Énfasis en el Nororiente de Colombia y la Ciudad de Bucaramanga, Bucaramanga*. [Diapositiva de Power Point]. GEOTECNOLOGIS S.A.S. <https://docplayer.es/83890008>
- Suárez, L. (2017). *Optimización de parámetros para la adquisición de datos medidos in situ por métodos de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Federico Santa María]. Repositorio Institucional - USM. <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/23575>
- Zevallos Flores, A. S. (2017). *Métodos de Refracción Sísmica MASW - MAM y parámetros elásticos del puente vehicular interregional Pampas. Ayacucho - Apurímac. 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de los Andes]. Repositorio Institucional - UPLA. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/29>

ANEXOS

Anexo N° 1. Panel fotográfico

Fotografía 1. Vista general de Manzana A, Residencial El Mirador



Fotografía 2. Vista general de Manzana B, Residencial El Mirador



Fotografía 3. Vista general de Manzana C, Residencial El Mirador



Fotografía 4. Distribución de geófonos a una equidistancia de 4 m - Manzana A



Fotografía 5. Incrustado del extremo puntiagudo del geófono hacia el suelo



Fotografía 6. Colocación de pinzas de los geófonos al cable principal del arreglo



Fotografía 7. Conexión del cable principal del arreglo al sismógrafo



Fotografía 8. Instalación de la fuente sísmica, para realizar el disparo



Fotografía 9. Disparo realizado para registro de ondas sondeo MASW-01



Fotografía 10. Disparo realizado para registro de ondas sondeo LRS-01B



Fotografía 11. Configuración de parámetros para realizar el registro de ondas



Fotografía 12. Disparo realizado para registro de ondas - Refracción Sísmica



Fotografía 13. Personal técnico encargado del registro de datos



Fotografía 14. Disposición de equipos para realizar los ensayos- Manzana B



Fotografía 15. Disparo realizado para registro de ondas sondeo LRS-02A



Fotografía 16. Disparo realizado para registro de ondas sondeo MASW-02



Fotografía 17. Instalación de cables de conexión de geófonos y trigger -Manzana C



Fotografía 18. Conexión de receptor de tiempo cero a cable trigger



Fotografía 19. Instalación de fuente sísmica para realizar el disparo - Manzana C



Fotografía 20. Ejecución de disparo para sondeo MASW-03



Fotografía 21. Movilización de cable trigger para la instalación del punto LRS-03B



Fotografía 22. Instalación de fuente sísmica para ensayo LRS-03B



Anexo N° 2. Ensayos de Refracción Sísmica

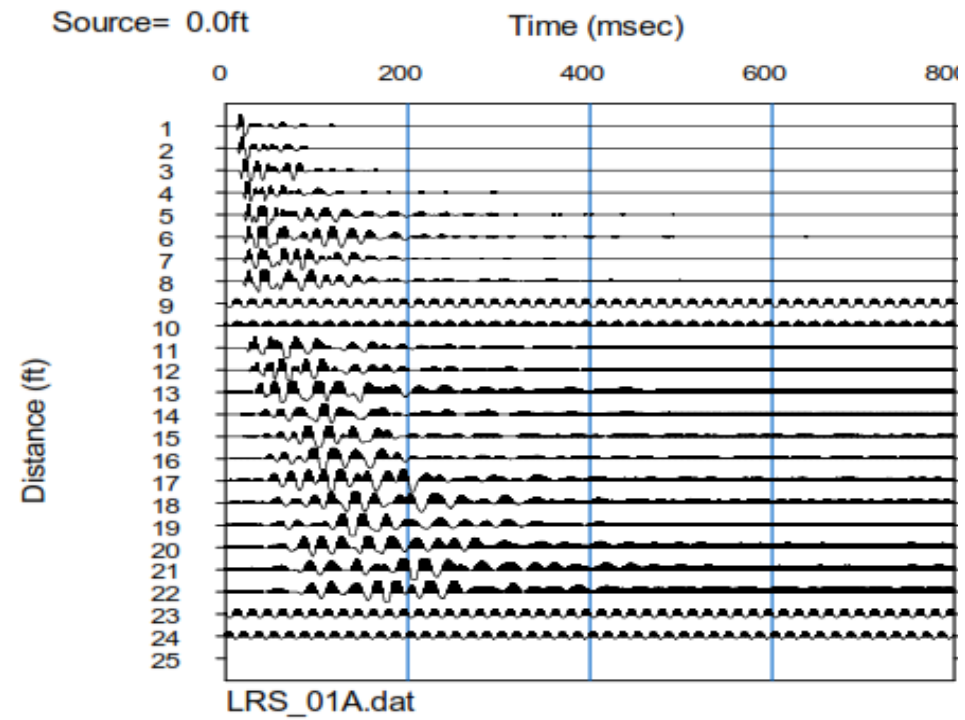
Anexo 2.1. Registro de Ondas

ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA -REGISTRO DE ONDAS

Para el sondeo LRS-01, se observa un registro de ondas sísmicas para un arreglo de 24 geófonos.

Espaciamiento de geófono a geófono: 1 m

Nombre de línea: LRS-01
Shot: 01
Ubicación: Manzana A

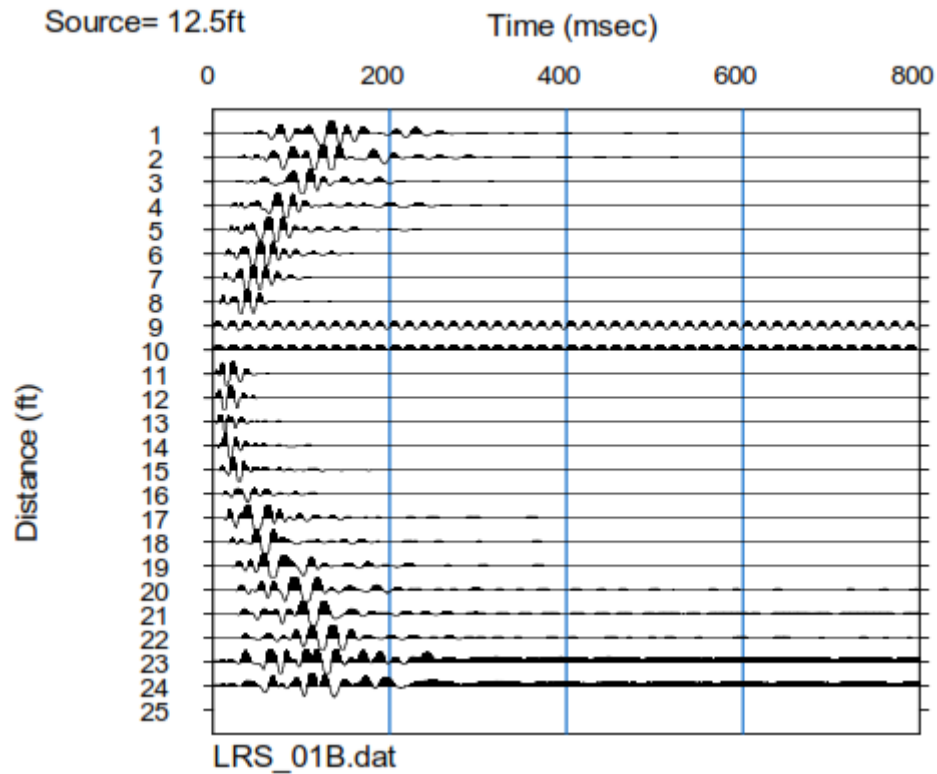


ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA -REGISTRO DE ONDAS

Para el sondeo LRS-01, se observa un registro de ondas sísmicas para un arreglo de 24 geófonos.

Espaciamiento de geófono a geófono: 1 m

Nombre de línea LRS-01
Shot: 02
Ubicación: Manzana A

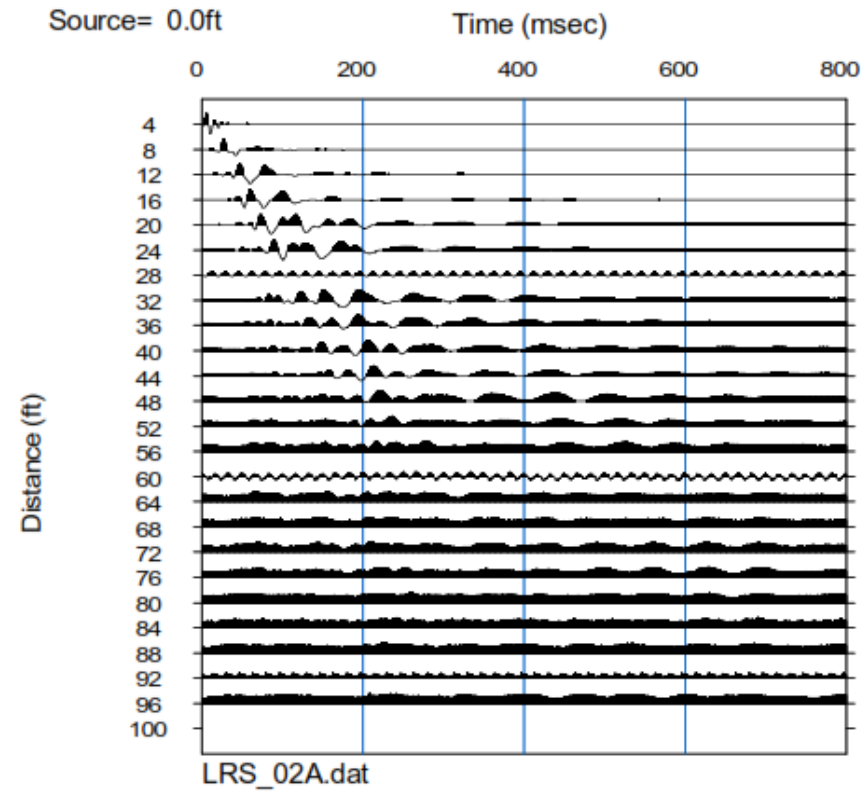


ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA -REGISTRO DE ONDAS

Para el sondeo LRS-02, se observa un registro de ondas sísmicas para un arreglo de 24 geófonos.

Espaciamiento de geófono a geófono: 4 m

Nombre de línea: LRS-02
Shot: 01
Ubicación: Manzana B

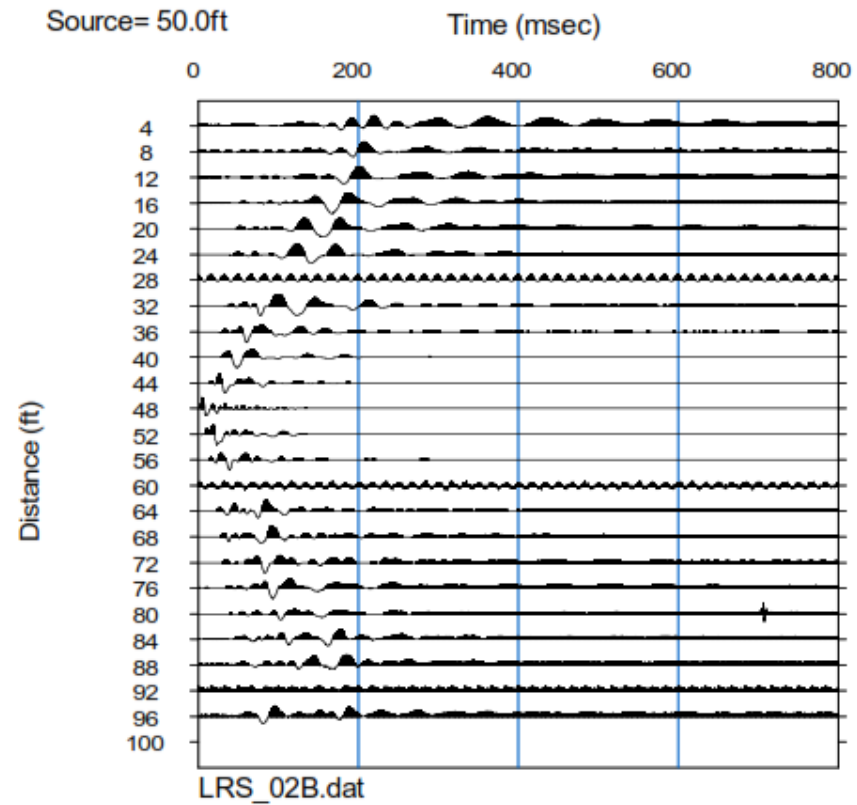


ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA -REGISTRO DE ONDAS

Para el sondeo LRS-02, se observa un registro de ondas sísmicas para un arreglo de 24 geófonos.

Espaciamiento de geófono a geófono: 4 m

Nombre de línea: LRS-02
Shot: 03
Ubicación: Manzana B

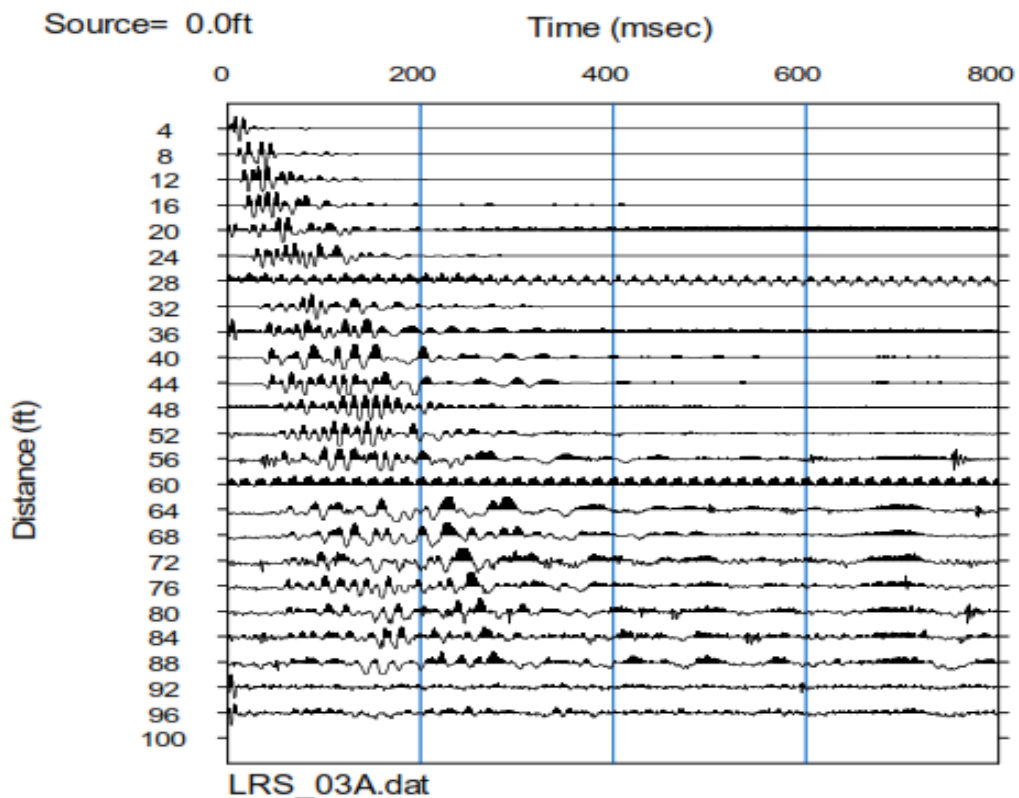


ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA -REGISTRO DE ONDAS

Para el sondeo LRS-03, se observa un registro de ondas sísmicas para un arreglo de 24 geófonos.

Espaciamiento de geófono a geófono: 4 m

Nombre de línea LRS-03
 Shot: 01
 Ubicación: Manzana C

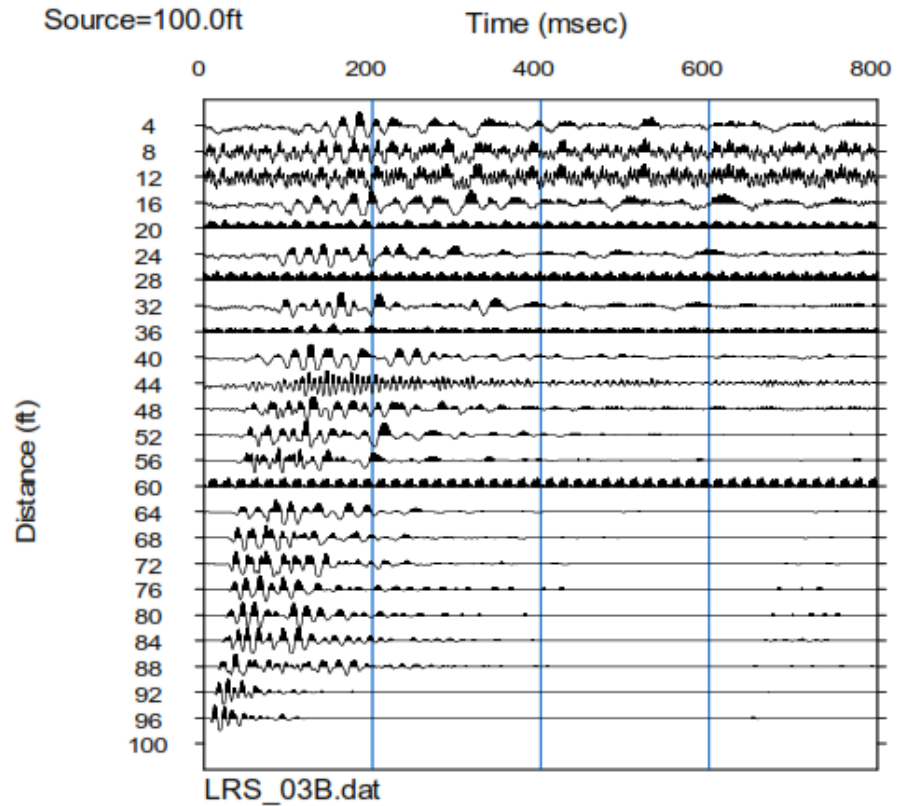


ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA -REGISTRO DE ONDAS

Para el sondeo LRS-03, se observa un registro de ondas sísmicas para un arreglo de 24 geófonos.

Espaciamiento de geófono a geófono: 4 m

Nombre de línea: LRS-03
Shot: 03
Ubicación: Manzana C

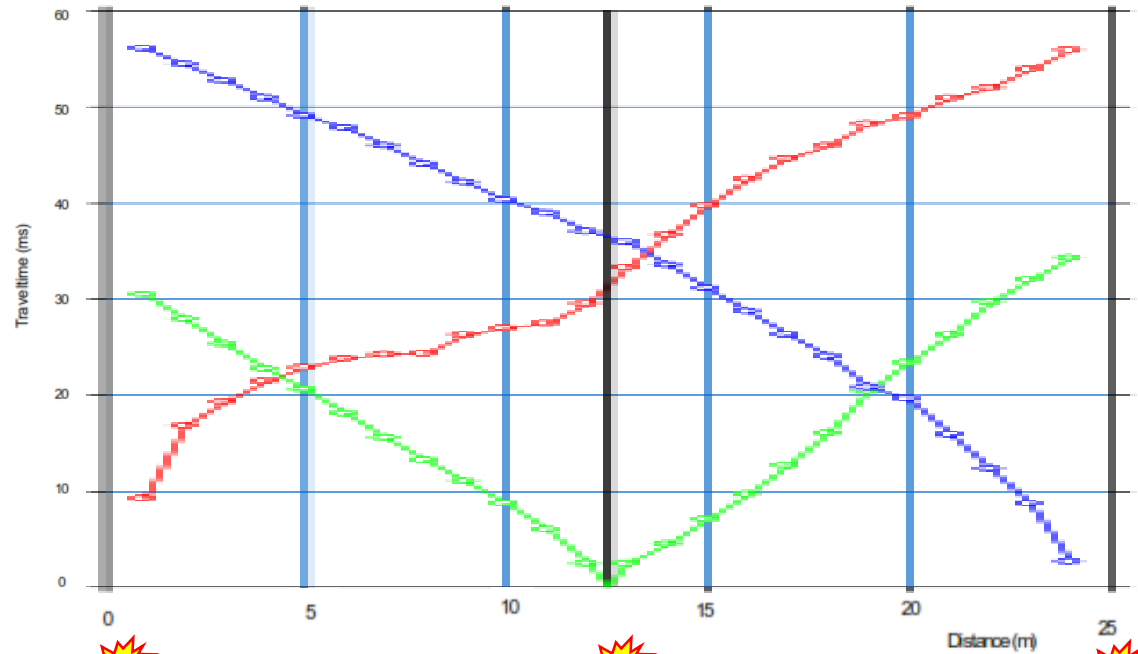


Anexo 2.2. Dromocronas

ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA -DROMOCRONAS

Para el sondeo LRS-01, nos muestra los períodos de arribo a los sensores luego de las perturbaciones

Ubicación: Manzana A



Fuente sísmica-Impacto inicial
Shot: 01
Posición de fuente: 0.00 m

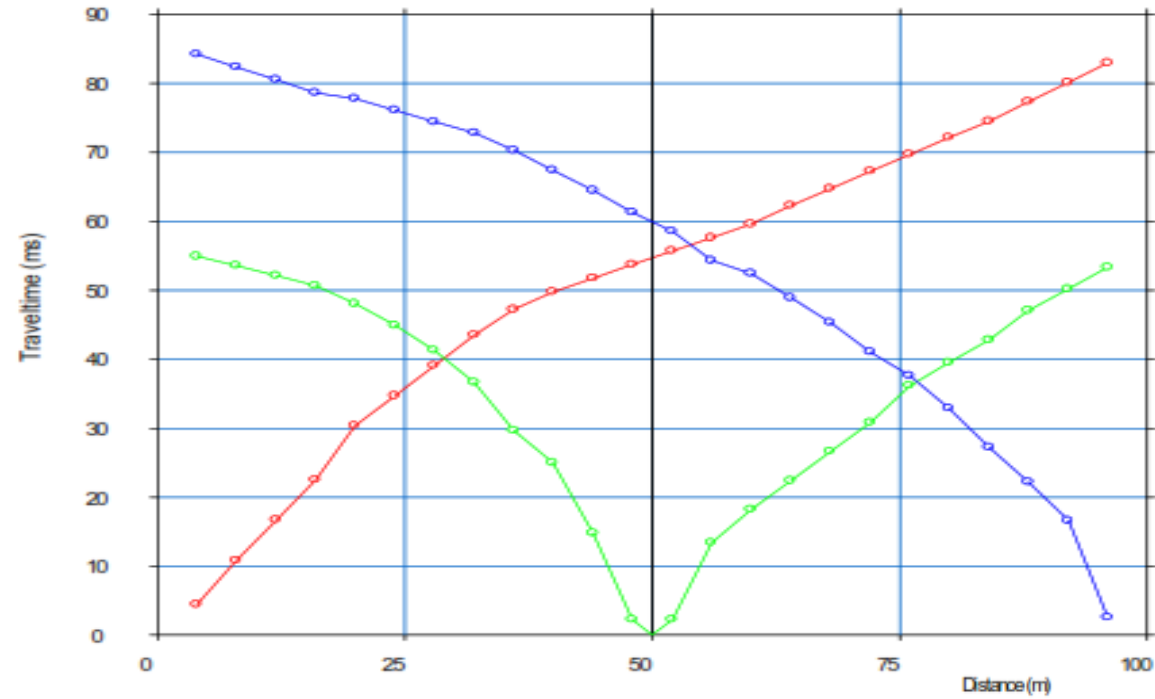
Fuente sísmica- Impacto medio
Shot: 02
Posición de fuente: 12.50 m

Fuente sísmica- Impacto final
Shot: 03
Posición de fuente: 25.00 m

ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA -DROMOCRONAS

Para el sondeo LRS-02, nos muestra los períodos de arribo a los sensores luego de las perturbaciones

Ubicación: Manzana B



Fuente sísmica-Impacto inicial
Shot: 01
Posición de fuente: 0.00 m

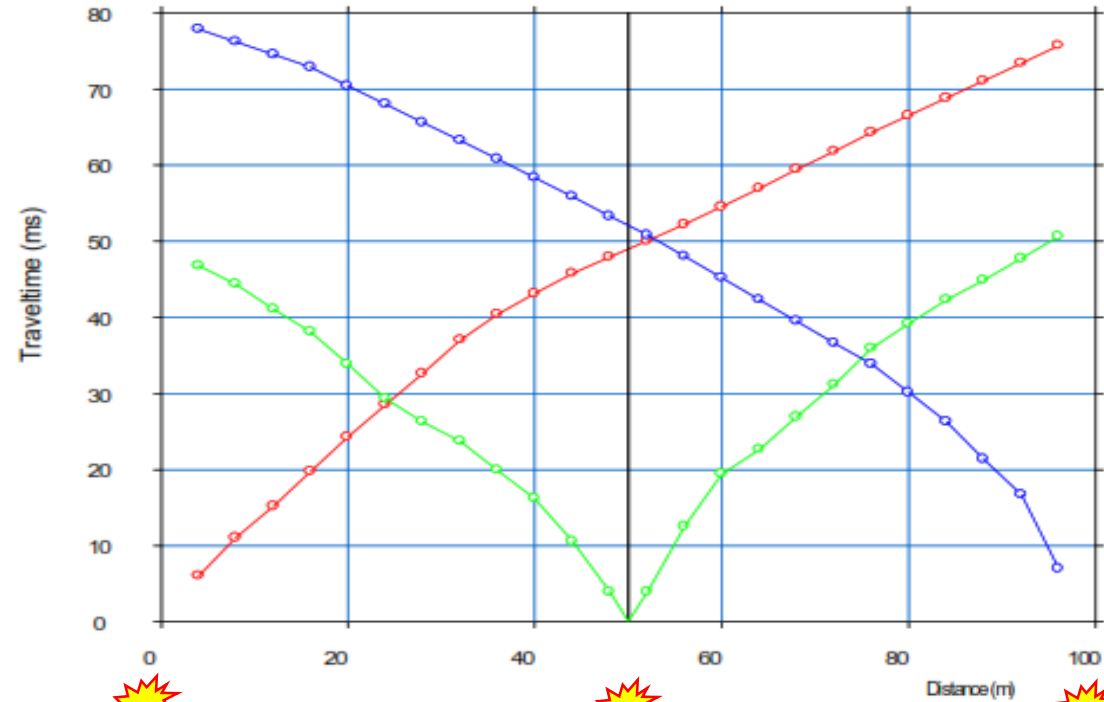
Fuente sísmica- Impacto medio
Shot: 02
Posición de fuente: 50.00 m

Fuente sísmica- Impacto final
Shot: 03
Posición de fuente: 100.00 m

ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA -DROMOCRONAS

Para el sondeo LRS-03, nos muestra los períodos de arribo a los sensores luego de las perturbaciones

Manzana C



Fuente sísmica-Impacto inicial

Shot: 01

Posición de fuente: 0.00 m

Fuente sísmica- Impacto medio

Shot: 02

Posición de fuente: 50.00 m

Fuente sísmica- Impacto final

Shot: 03

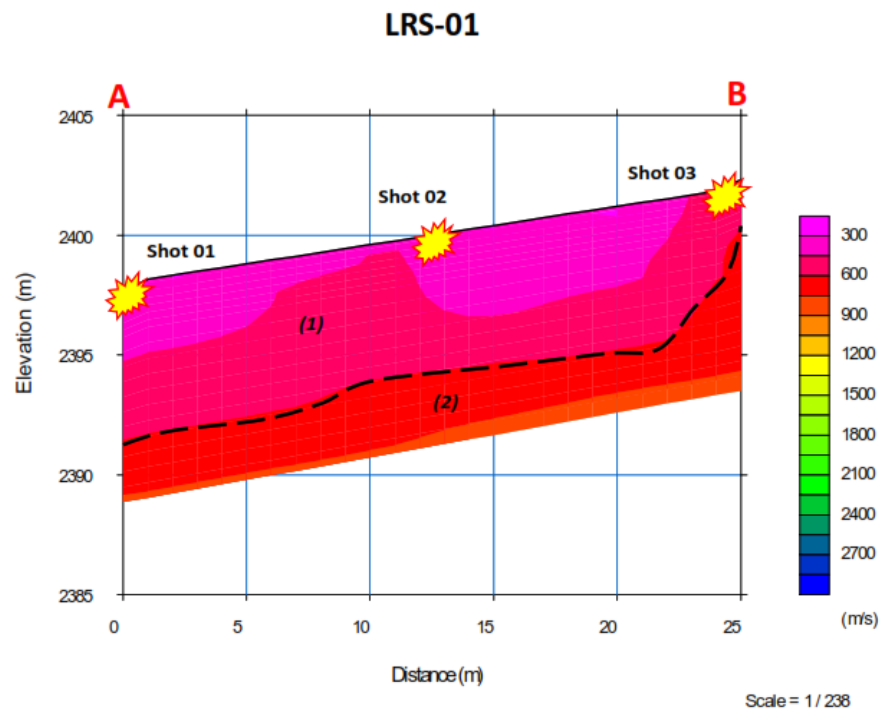
Posición de fuente: 100.00 m

Anexo 2.3. Perfiles sísmicos

ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA -PERFIL SÍSMICO

Para la LRS-01, Se muestra el perfil sísmico obtenido con una profundidad total de 30 m.

Ubicación: Manzana A



D (m)	Vp (m/s)
1.07	342.20
2.31	418.84
3.71	407.52
4.00	522.10
5.27	645.14
6.00	645.14
7.01	678.49
8.00	780.45
10.00	1153.91
15.00	1535.86

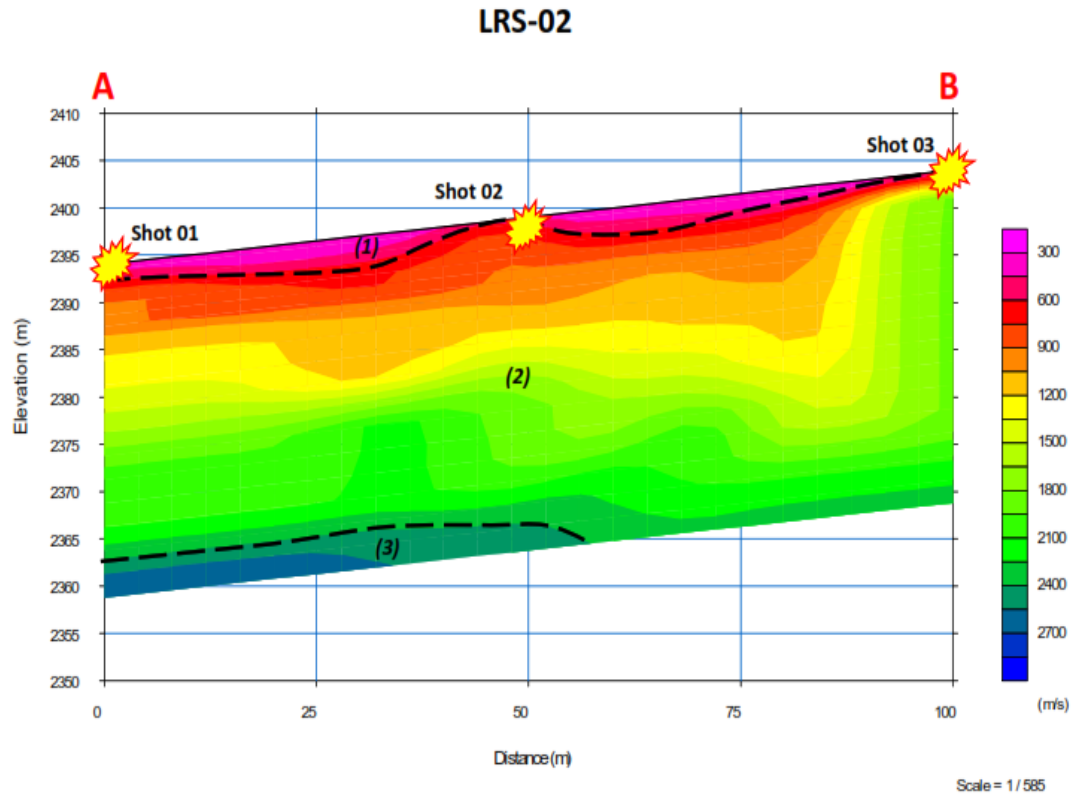
(1) Material conformado por un suelo meteorizado

(2) Material compuesto por grava o arena seca

ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA -PERFIL SÍSMICO

Para la LRS-02, Se muestra el perfil sísmico obtenido con una profundidad total de 30 m.

Ubicación: Manzana B



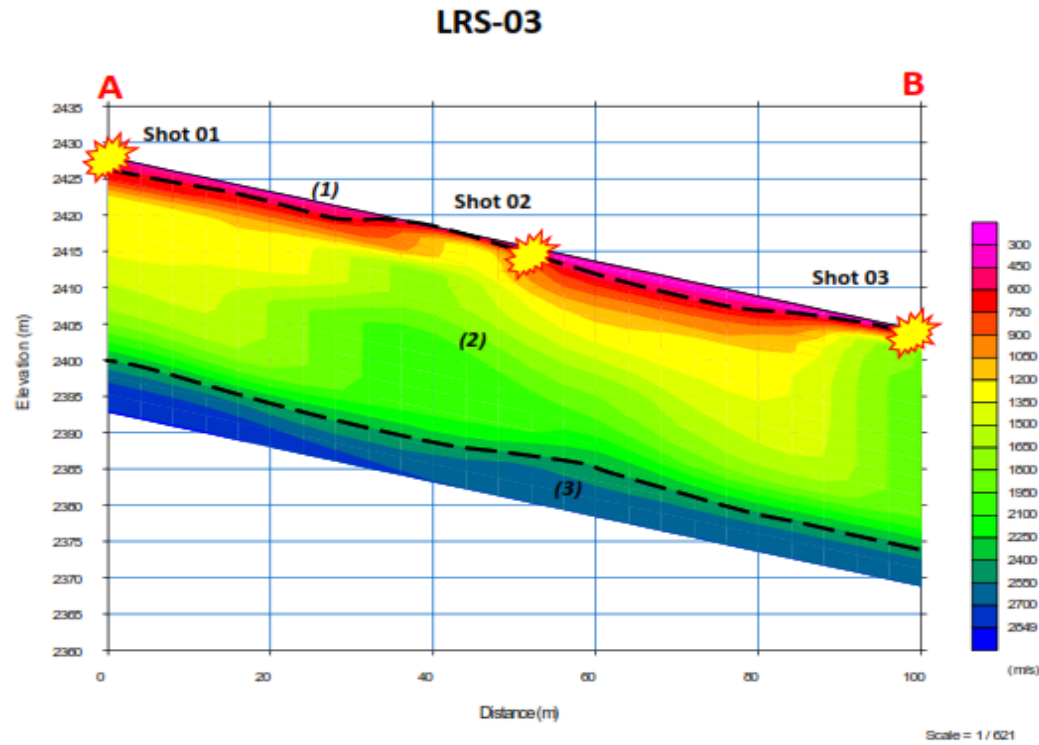
D (m)	Vp (m/s)
1.07	668.35
2.31	733.05
3.71	805.68
4.00	878.30
5.27	898.07
6.00	929.86
7.01	961.64
8.00	1084.61
8.90	1084.61
10.00	1153.91
15.00	1535.86

- (1) Material conformado por un suelo meteorizado
- (2) Material conformado arena saturada
- (3) Material conformado por roca metamórfica

ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA -PERFIL SÍSMICO

Para la LRS-03, Se muestra el perfil sísmico obtenido con una profundidad total de 30 m.

Ubicación: Manzana C



D (m)	Vp (m/s)
1.07	776.04
2.31	851.76
3.71	894.86
4.00	937.95
5.27	1065.37
6.00	1133.35
7.01	1201.33
8.00	1288.57
8.90	1371.51
10.00	1454.45
15.00	1781.76

- (1) Material conformado por un suelo meteorizado
- (2) Material conformado arena saturada
- (3) Material conformado por roca metamórfica

Anexo N° 3. Ensayos de Análisis Multicanal de Ondas de Superficie (MASW)

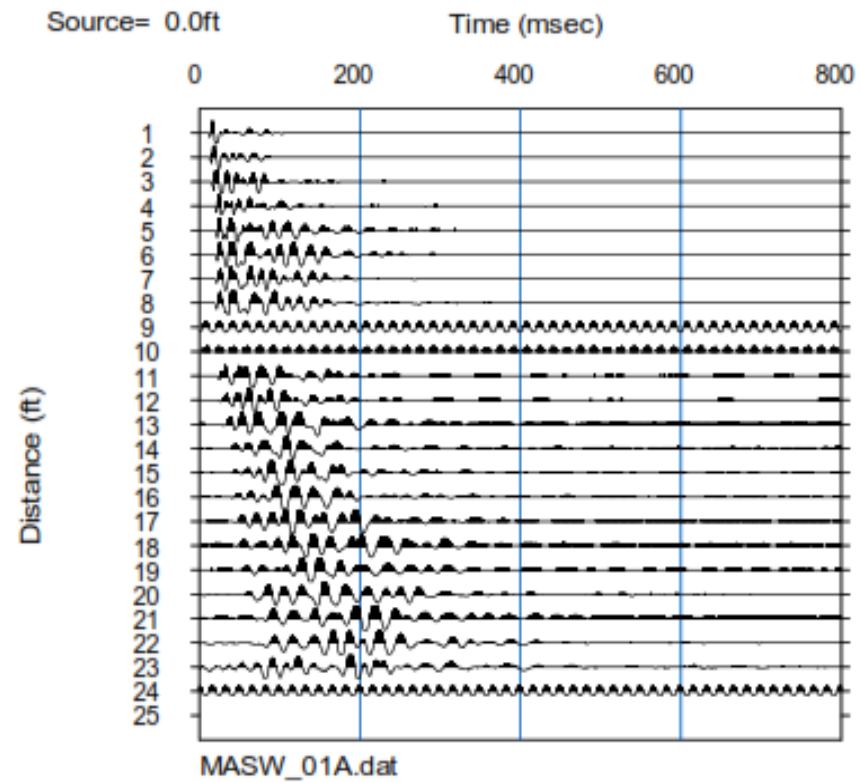
Anexo 3.1. Registro de Ondas

ENSAYO MASW -REGISTRO DE ONDAS

Para el sondaje MASW-01, Se observa el registro sísmico de ondas para un tendido de 24 geófonos.

Espaciamiento de geófono a geófono: 1 m

Nombre de línea: MASW-01
Shot: 01
Ubicación: Manzana A

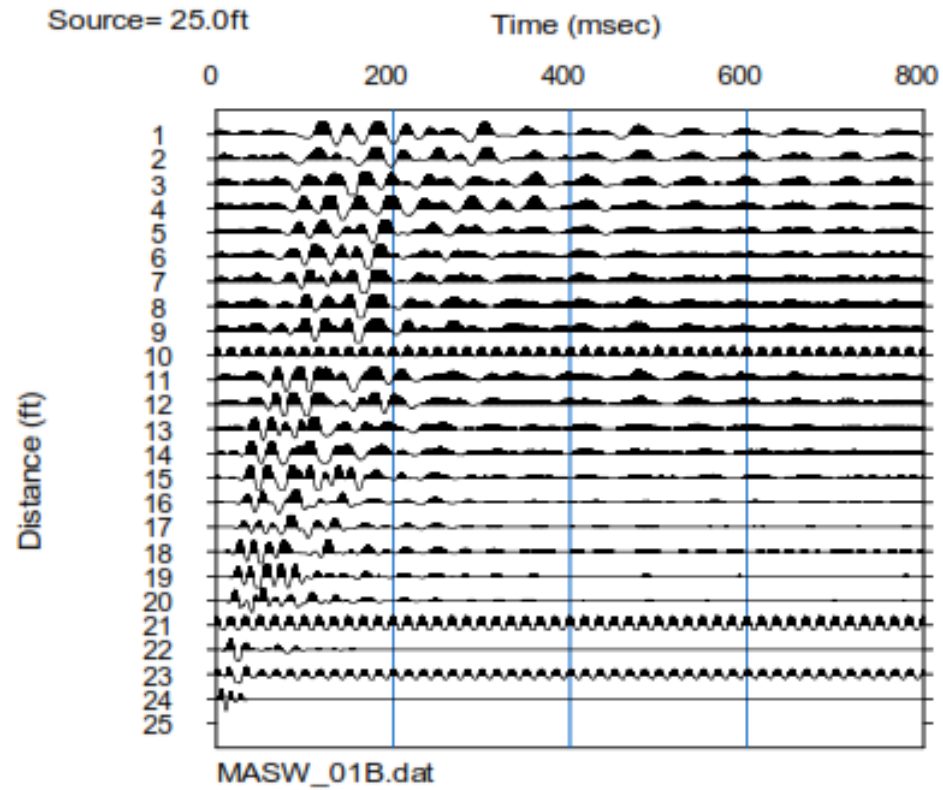


ENSAYO MASW -REGISTRO DE ONDAS

Para el sondaje MASW-01, Se observa el registro sísmico de ondas para un tendido de 24 geófonos.

Espaciamiento de geófono a geófono: 1 m

Nombre de línea: MASW-01
Shot: 03
Ubicación: Manzana A



ENSAYO MASW -REGISTRO DE ONDAS

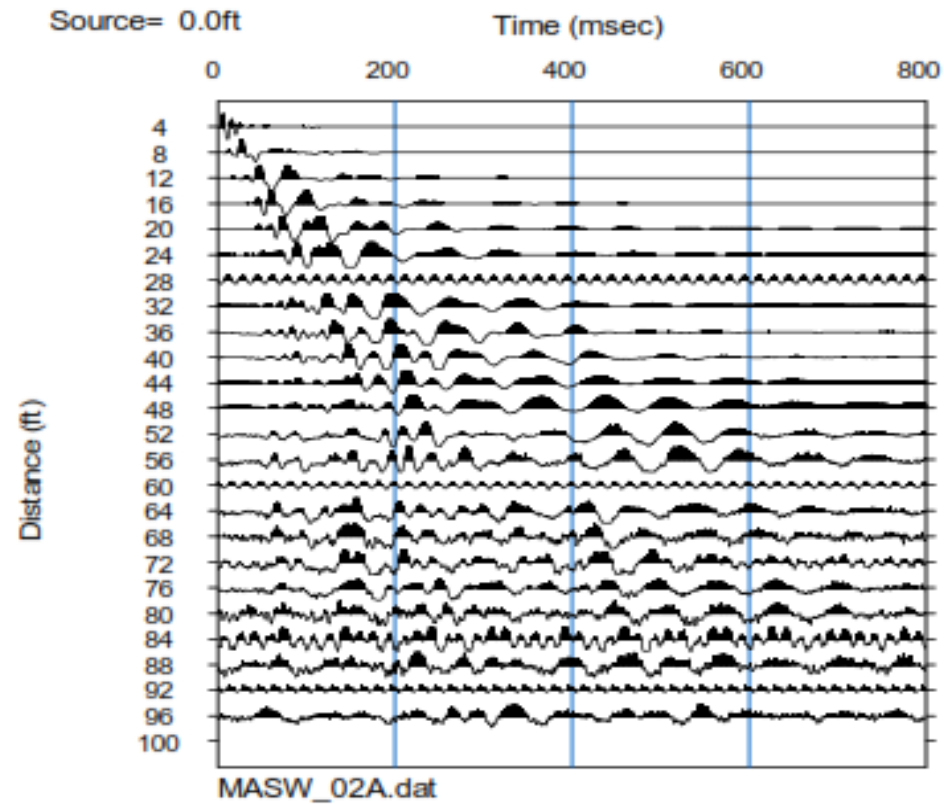
Para el sondaje MASW-02, Se observa el registro sísmico de ondas para un tendido de 24 geófonos.

Espaciamiento de geófono a geófono: 4 m

Nombre de línea: MASW-02

Shot: 01

Ubicación: Manzana B

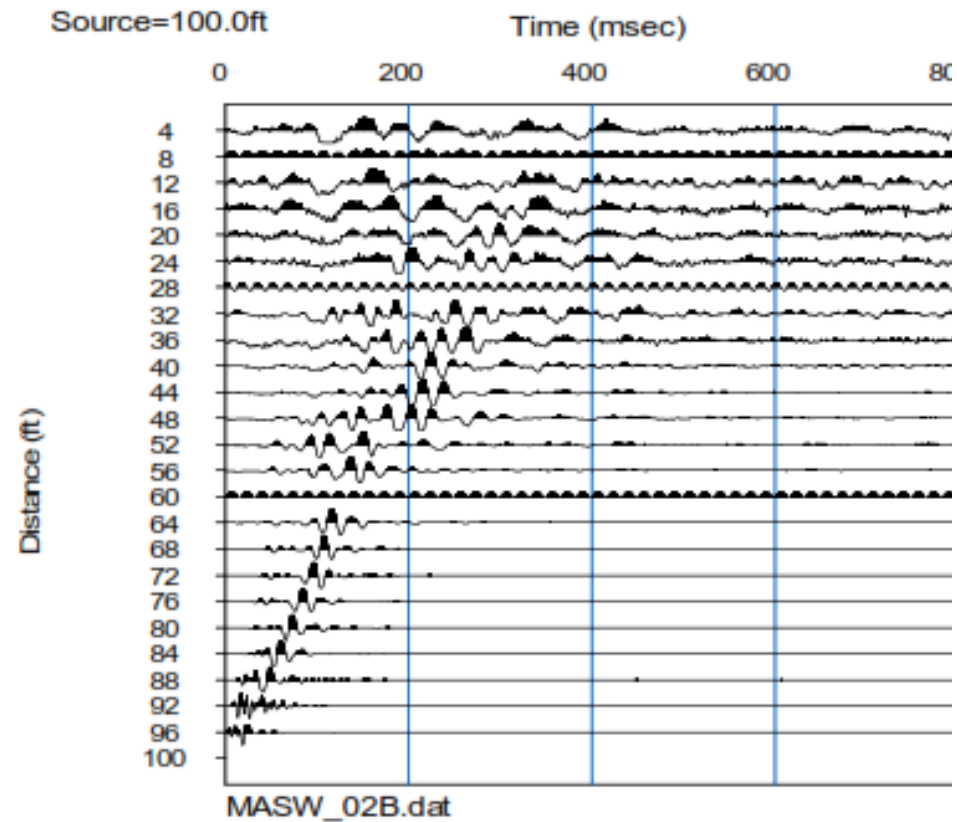


ENSAYO MASW -REGISTRO DE ONDAS

Para el sondaje MASW-02, Se observa el registro sísmico de ondas para un tendido de 24 geófonos.

Espaciamiento de geófono a geófono: 4 m

Nombre de línea: MASW-02
Shot: 03
Ubicación: Manzana B

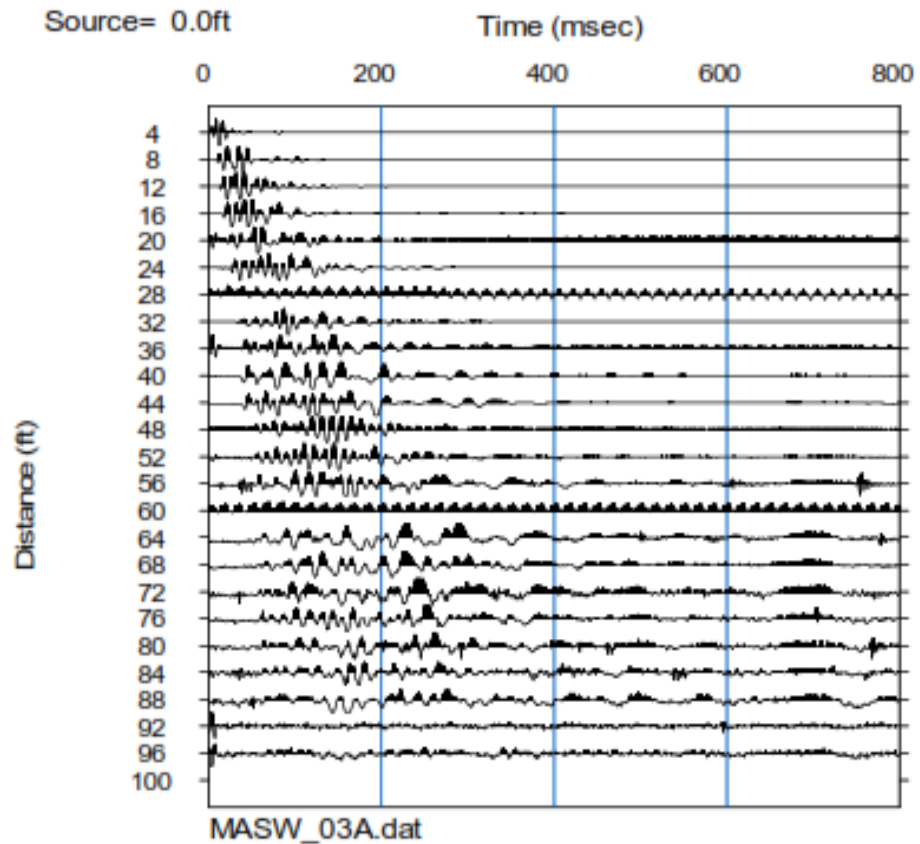


ENSAYO MASW -REGISTRO DE ONDAS

Para el sondaje MASW-03, Se observa el registro sísmico de ondas para un tendido de 24 geófonos.

Espaciamiento de geófono a geófono: 4 m

Nombre de línea: MASW-03
Shot: 01
Ubicación: Manzana C



ENSAYO MASW -REGISTRO DE ONDAS

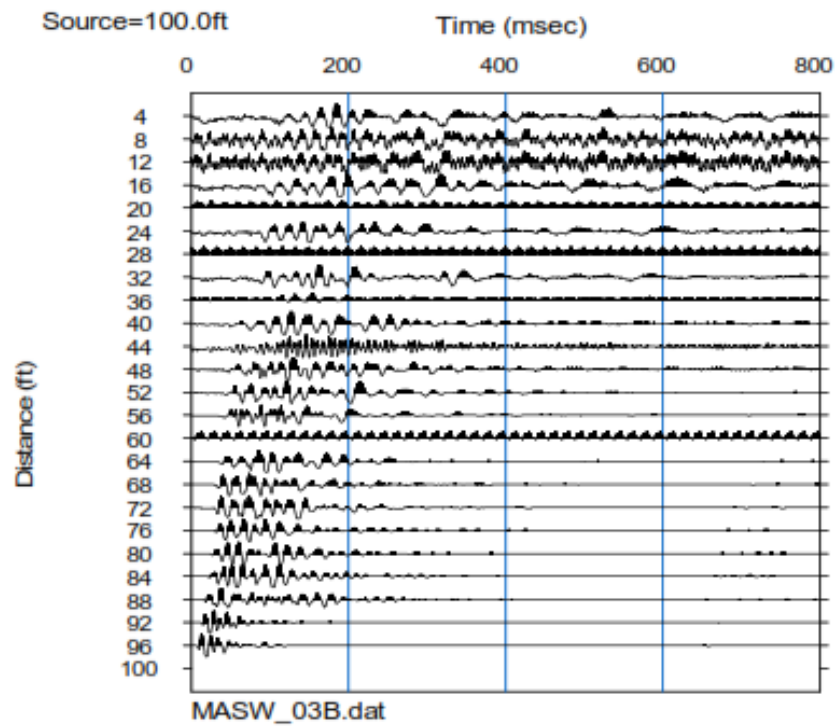
Para el sondaje MASW-03, Se observa el registro sísmico de ondas para un tendido de 24 geófonos.

Espaciamiento de geófono a geófono: 4 m

Nombre de línea: MASW-03

Shot: 03

Ubicación: Manzana C



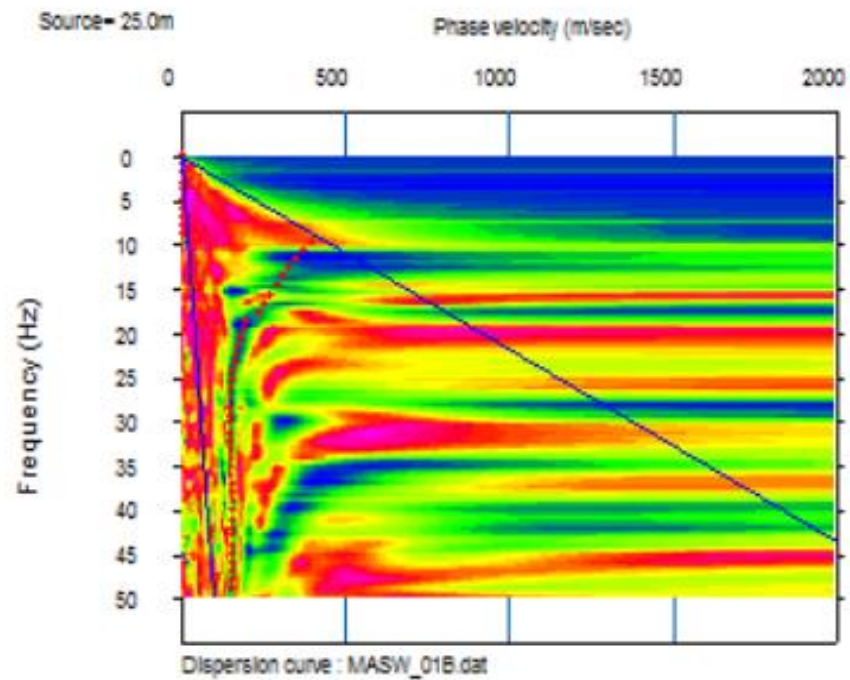
Anexo 3.2. Curvas de dispersión

ENSAYO MASW – CURVA DE DISPERSIÓN

Para el sondeo MASW-01, Se observa la curva de dispersión

Espaciamiento de geófono a geófono: 1 m

Nombre de línea: MASW-01
Shot: 03
Ubicación: Manzana A

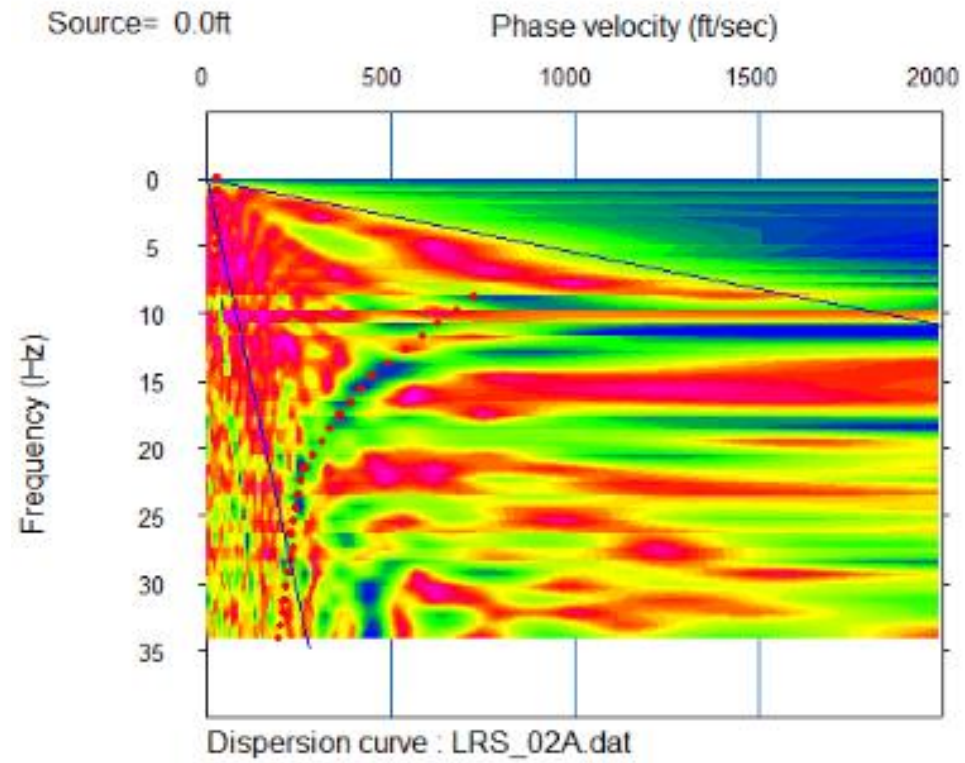


ENSAYO MASW – CURVA DE DISPERSIÓN

Para el sondeo MASW-02, Se observa la curva de dispersión

Espaciamiento de geófono a geófono: 4 m

Nombre de línea: MASW-02
Shot: 01
Ubicación: Manzana B

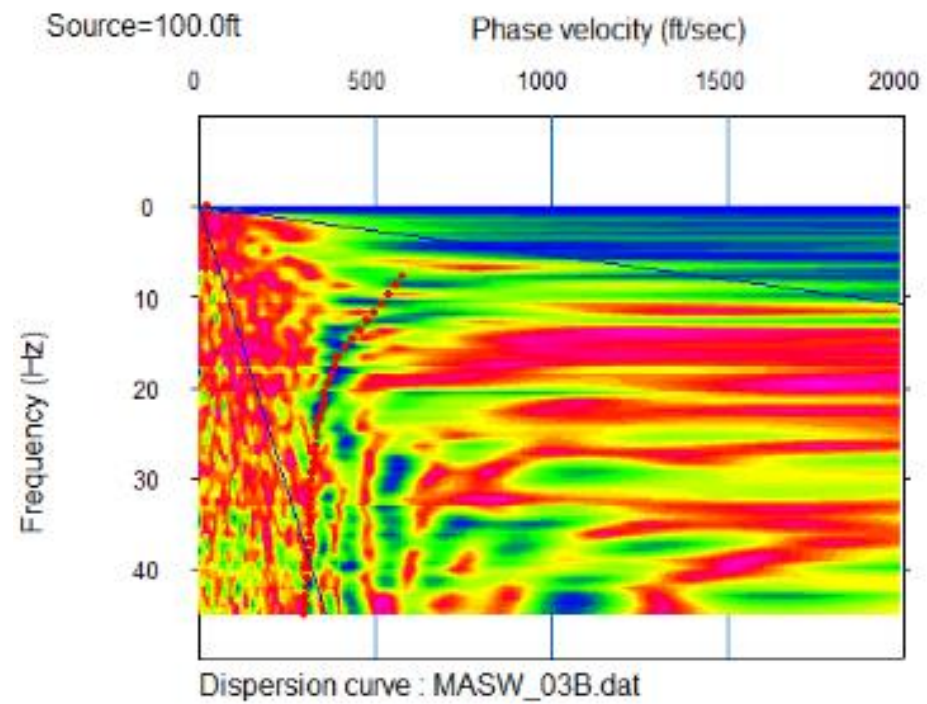


ENSAYO MASW – CURVA DE DISPERSIÓN

Para el sondeo MASW-03, Se observa la curva de dispersión

Espaciamiento de geófono a geófono: 4 m

Nombre de línea: MASW-03
Shot: 03
Ubicación: Manzana C

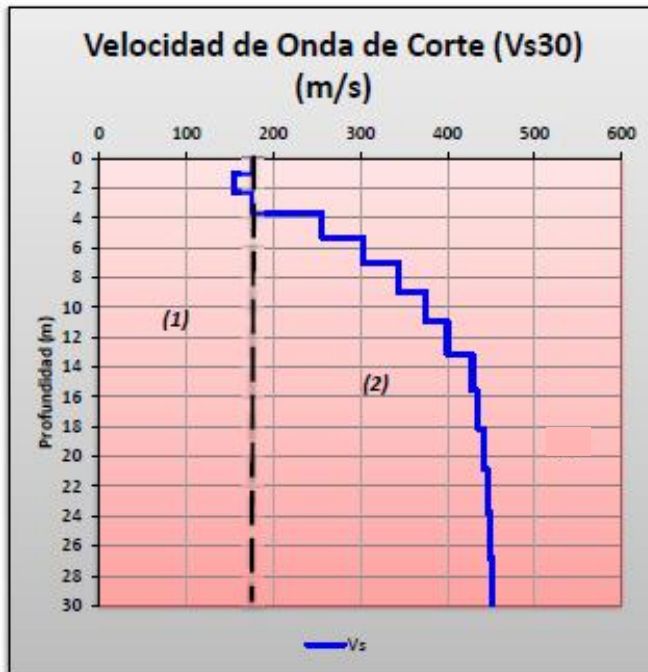


Anexo 3.3. Perfiles sísmicos

ENSAYO MASW -PERFIL SÍSMICO

Para el sondeo MASW-01, Se muestra el perfil sísmico obtenido con una profundidad total de 30 m.

Ubicación: Manzana A



- (1) Material conformado por un suelo blando
- (2) Material compuesto por un suelo intermedio

D (m)	Vs (m/s)
1.07	148.83
2.31	180.68
3.71	234.95
4.00	280.59
5.27	326.23
6.00	357.46
7.01	388.68
8.00	423.35
8.90	458.01
10.00	504.12
15.00	595.82

Vs30	328.76
------	---------------

Clasificación NTP E.030

Tipo de suelo	Vs30
Suelo Intermedio S ₂	328.76 (m/s)

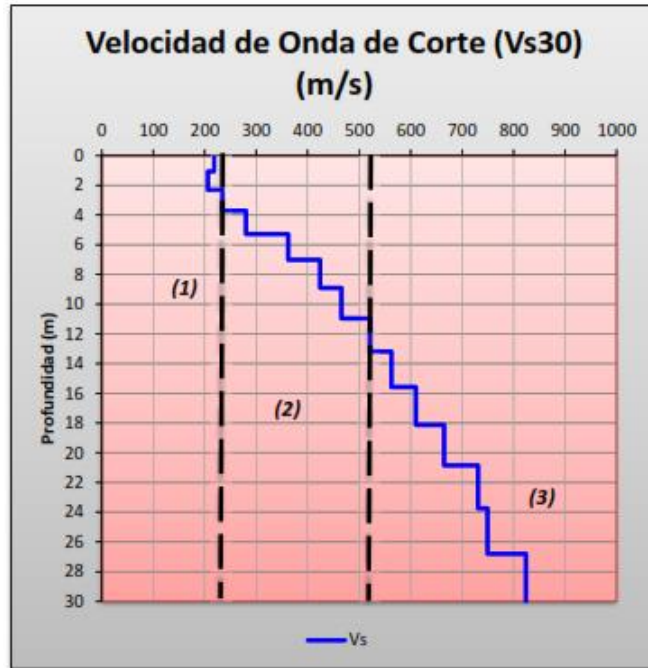
IBC - 2015

Tipo de suelo	Vs30
Tipología "D" Roca blanda o suelo muy denso	328.76 (m/s)

ENSAYO MASW -PERFIL SÍSMICO

Para el sondeo MASW-02, Se muestra el perfil sísmico obtenido con una profundidad total de 30 m.

Ubicación: Manzana B



- (1) Material conformado por un suelo blando
- (2) Material compuesto por un suelo intermedio
- (3) Material conformado por un suelo muy rígido

D (m)	Vs (m/s)
1.07	206.09
2.31	234.06
3.71	280.37
4.00	321.27
5.27	362.17
6.00	393.06
7.01	423.95
8.00	444.61
8.90	465.27
10.00	520.80
15.00	610.15

Vs30	439.20
------	---------------

Clasificación NTP E.030

Tipo de suelo	Vs30
Suelo Intermedio S ₂	439.20 (m/s)

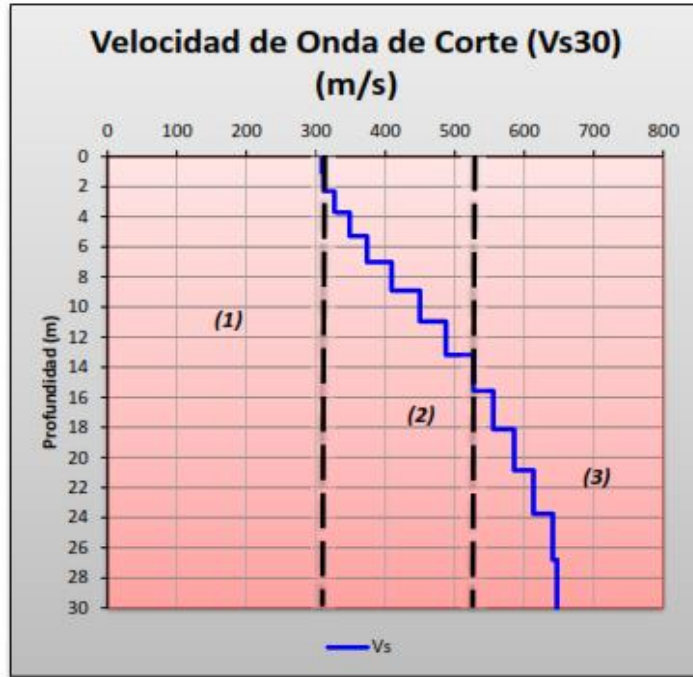
IBC - 2015

Tipo de suelo	Vs30
Tipología "D" Roca blanda o suelo muy denso	439.20 (m/s)

ENSAYO MASW -PERFIL SÍSMICO

Para el sondeo MASW-03, Se muestra el perfil sísmico obtenido con una profundidad total de 30 m.

Ubicación: Manzana C



- (1) Material conformado por un suelo blando
- (2) Material compuesto por un suelo intermedio
- (3) Material conformado por un suelo muy rígido

D (m)	Vs (m/s)
1.07	310.78
2.31	326.21
3.71	348.35
4.00	360.84
5.27	373.32
6.00	391.03
7.01	408.74
8.00	429.18
8.90	449.18
10.00	486.90
15.00	555.35

Vs30	462.42
------	---------------

Clasificación NTP E.030

Tipo de suelo	Vs30
Suelo Intermedio S ₂	462.42 (m/s)

IBC - 2015

Tipo de suelo	Vs30
Tipología "D" Roca blanda o suelo muy denso	462.42 (m/s)

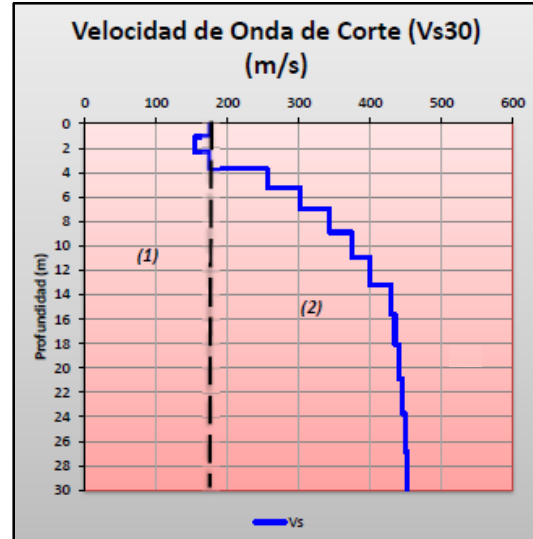
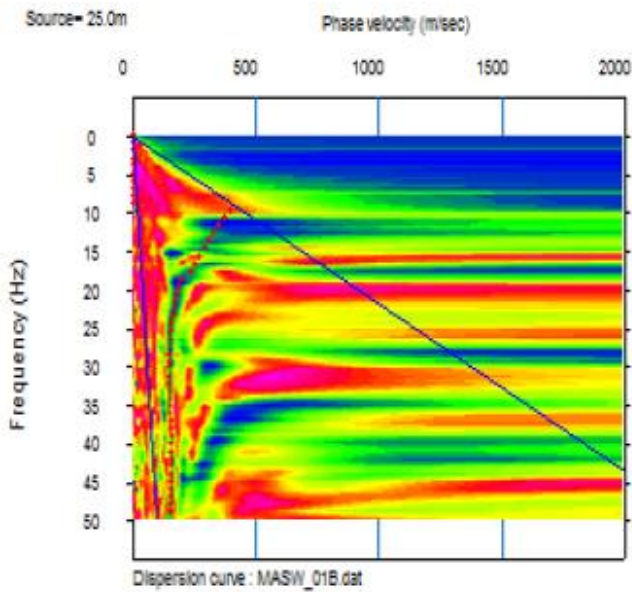
**Anexo N° 4. Formatos de presentación de datos de clasificación sísmica y
parámetros elásticos**



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE CHOTA**

**Evaluación del perfil sísmico del suelo mediante los
métodos de Refracción Sísmica y MASW**

ENSAYO		Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal (MASW -01)	
<i>Ubicación del ensayo</i>		CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA	
<i>Lugar</i>		RESIDENCIAL EL MIRADOR	
<i>Coordenada MASW</i>	Este (m)	Norte (m)	
	760598.8	9273674.44	
<i>Curva de dispersión</i>		Perfil Unidimensional	



- (1) Material conformado por un suelo blando
- (2) Material compuesto por un suelo intermedio

Clasificación del sitio (Fuente IBC,2015)

Tipo de Suelo	Denominación del suelo	Velocidad de ondas de corte Vs30(m/s)*	Resistencia a la Penetración Estándar SPT (N)*	Periodo de vibración fundamental del terreno
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A	$T_0(s)$
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A	$T_0 = 4H/V_{s30}$
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s < 760$	$N > 50$	
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 < N < 50$	0.37
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$	

Vs30(m/s)*, Velocidad promedio de ondas de corte en los 30m más superficiales
N*, Numero de golpes

IBC-2015

Vs30(m/s)	328.76
Tipo de Suelo	D

NTP E-030 - 2018

Vs30(m/s)	328.76
Tipo de Suelo	Suelos intermedios

Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2018

Tipo de Suelo	Vs30(m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca Dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelo muy Rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE CHOTA**

**Evaluación del perfil sísmico del suelo mediante los
métodos de Refracción Sísmica y MASW**

ENSAYO

**Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal
(MASW -02)**

Ubicación del ensayo

CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Lugar

RESIDENCIAL EL MIRADOR

Coordenada MASW

Este (m)

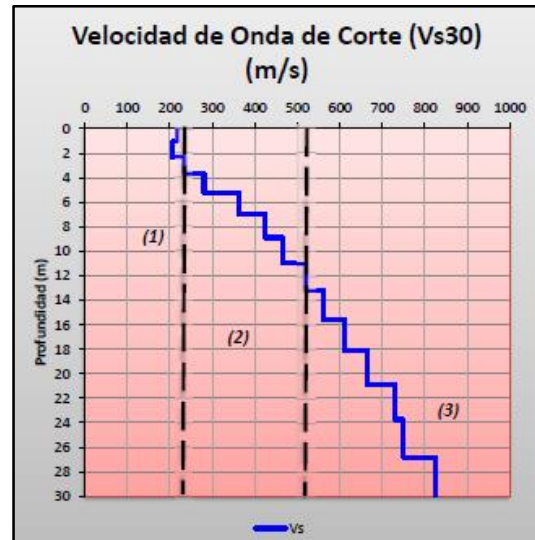
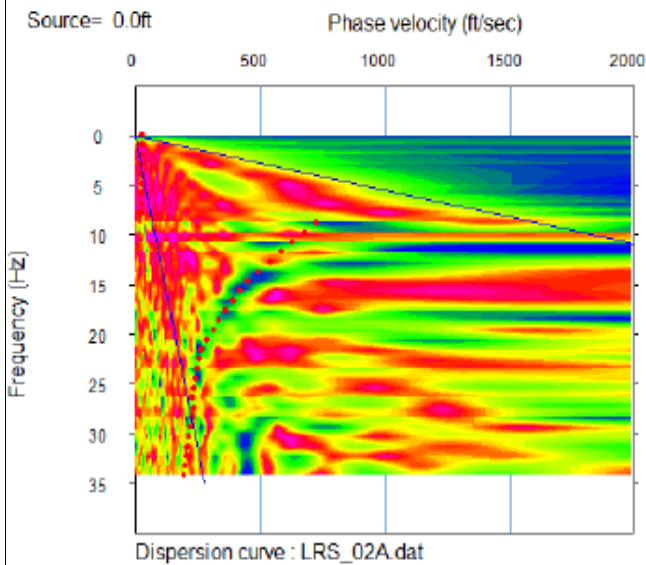
Norte (m)

760602.65

9273620.40

Curva de dispersión

Perfil Unidimensional



- (1) Material conformado por un suelo blando
- (2) Material compuesto por un suelo intermedio
- (3) Material conformado por un suelo muy rígido

Clasificación del sitio (Fuente IBC,2015)

Tipo de Suelo	Denominación del suelo	Velocidad de ondas de corte Vs30(m/s)*	Resistencia a la Penetración Estándar SPT (N)*
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 < N < 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$

Periodo de vibración fundamental del terreno
$T_0(s)$
$T_0 = 4H/V_{s30}$
0.27

Vs30(m/s)*, Velocidad promedio de ondas de corte en los 30m más superficiales
N*, Numero de golpes

IBC-2015

Vs30(m/s)	439.20
Tipo de Suelo	C

NTP E-030 - 2018

Vs30(m/s)	439.20
Tipo de Suelo	Suelos intermedios

Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2018

Tipo de Suelo	Vs30(m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca Dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelo muy Rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE CHOTA**

**Evaluación del perfil sísmico del suelo mediante los
métodos de Refracción Sísmica y MASW**

ENSAYO

**Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal
(MASW -03)**

Ubicación del ensayo

CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA

Lugar

RESIDENCIAL EL MIRADOR

Coordenada MASW

Este (m)

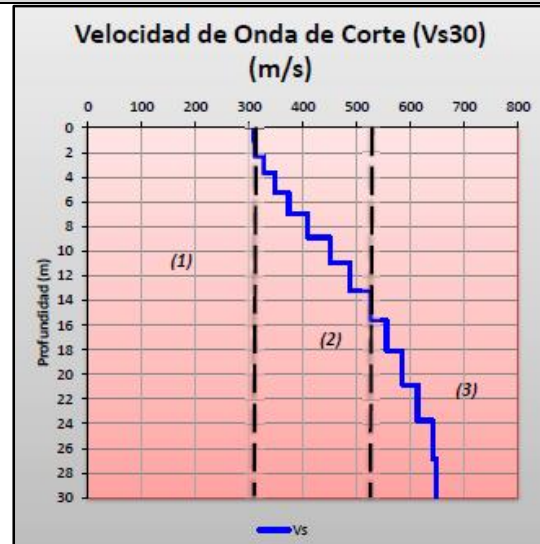
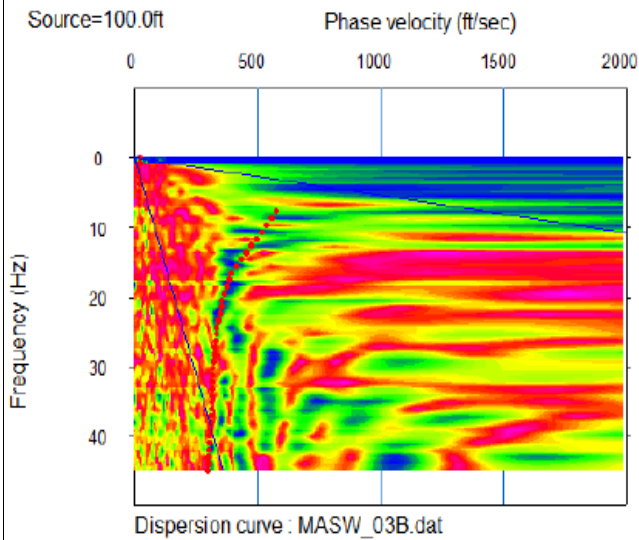
Norte (m)

760659.93

9273603.71

Curva de dispersión

Perfil Unidimensional



- (1) Material conformado por un suelo blando
- (2) Material compuesto por un suelo intermedio
- (3) Material conformado por un suelo muy rígido

Clasificación del sitio (Fuente IBC,2015)

Tipo de Suelo	Denominación del suelo	Velocidad de ondas de corte Vs30(m/s)*	Resistencia a la Penetración Estándar SPT (N)*
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N/A
B	Roca	$760 < V_s < 1500$	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 < N < 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$

Periodo de vibración fundamental del terreno
$T_0(s)$
$T_0 = 4H/V_{s30}$
0.26

Vs30(m/s)*, Velocidad promedio de ondas de corte en los 30m más superficiales
N*, Numero de golpes

IBC-2015

Vs30(m/s)	462.42
Tipo de Suelo	C

NTP E-030 - 2018

Vs30(m/s)	462.42
Tipo de Suelo	Suelos intermedios

Clasificación Sísmica NTP E-030 - 2018

Tipo de Suelo	Vs30(m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca Dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelo muy Rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelo Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

Anexo N° 5. Formatos de presentación de datos-parámetros elásticos



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE CHOTA**

Evaluación del perfil sísmico del suelo mediante los métodos de Refracción Sísmica y MASW

Presentación de datos		Parámetros Elásticos del Terreno		Ubicación del proyecto							
Coordenadas del centro		Este (m)	Norte (m)	CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA							
MASW-01	LRS-01	760598.8	9273674.44	CHOTA							
RELACIONES DE POISSON				FORMULACIONES							
				Teoría de elasticidad de las ondas sísmicas							
Tipo de Suelo	Relación de Poisson (ν)	Tipo de Suelo	Relación de Poisson (ν)	$V_p = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}}$ $V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ <p>Relacionando las velocidades de ondas (Kramer, 1996)</p> <p>Relación de Poisson (μ) $\nu = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$</p> <p>Módulo de Elasticidad (Ed) $E_d = 2(1 + \nu)G$</p> <p>Módulo de corte (Gd) $G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$</p>							
Arena Suelta	0.20 - 0.40	Stoke & Woods (1972)	ν=0.31, para sedimentos no consolidados y no saturados.								
Arena Media	0.25 - 0.40										
Arena Densa	0.30 - 0.45										
Arena Limosa	0.20 - 0.40	Davis & Schuteiss (1980)	0.4982 < ν < 0.4997, para arcillas								
Arena Blanda	0.15 - 0.25										
Arena Media	0.20 - 0.50	Stuempel et al. (1984)/ Meissner et al. (1995)	ν=0.31, para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados.								
Braja M. Das: Fundamentos de Ing. Geotécnica											
Tipo de Suelo	Relación de Poisson (ν)	Tiab & Donaldson (1996)	0.14 < ν < 0.41, para diferentes								
Arcilla	0.40 - 0.45										
Arena	0.30 - 0.40										
Roca	0.15 - 0.25	Rosales, Cristina. (2001). Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área del Canavalejo, Cali, Colombia.									
Rosales, Cristina. (2001).											
Prof. (m)	Vs Vs (m/s)	Vp Vp (m/s)	p (Tn/m3)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Módulo de corte Gd (kg/cm2)	Módulo de Elasticidad Ed (kg/cm2)	Módulo Volumétrico Kd (kg/cm2)	Módulo de corte Ge (kg/cm2)	Módulo de Elasticidad Ee(kg/cm2)	Módulo Volumétrico Ke (Tn/m2)
1.07	148.83	342.2	1.26	2.3	0.38	284.96	788.40	1126.42	28.50	78.84	112.64
2.31	180.68	418.84	1.28	2.32	0.39	425.00	1177.83	1717.18	42.50	117.78	171.72
3.71	234.95	467.52	1.3	1.99	0.33	733.14	1951.71	1925.50	73.31	195.17	192.55
4.00	280.59	522.10	1.32	1.86	0.30	1063.08	2757.49	2263.24	106.31	275.75	226.32
5.27	326.23	645.14	1.34	1.98	0.33	1460.62	3880.05	3764.61	146.06	388.00	376.46
6.00	357.46	645.14	1.36	1.8	0.28	1772.93	4533.39	3411.18	177.29	453.34	341.12
7.01	388.68	678.49	1.37	1.75	0.26	2119.05	5322.06	3631.79	211.90	532.21	363.18
8.00	423.35	780.45	1.39	1.84	0.29	2544.01	6571.41	5254.09	254.40	657.14	525.41
8.90	458.01	-	1.41	-	-	3012.94	-	-	301.29	-	-
10.00	504.12	-	1.43	-	-	3706.85	-	-	370.68	-	-
15.00	595.82	-	1.47	-	-	5336.04	-	-	533.60	-	-



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE CHOTA**

Evaluación del perfil sísmico del suelo mediante los métodos de Refracción Sísmica y MASW

Presentación de datos		Parámetros Elásticos del Terreno		Ubicación del proyecto							
Coordenadas del centro		Este (m)	Norte (m)	CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA							
MASW-02	LRS-02	760602.65	9273620.40	CHOTA							
RELACIONES DE POISSON				FORMULACIONES							
				Teoría de elasticidad de las ondas sísmicas							
Tipo de Suelo	Relación de Poisson (ν)	Tipo de Suelo	Relación de Poisson (ν)	$V_p = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}}$ $V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ <p>Relacionando las velocidades de ondas (Kramer, 1996)</p> <p>Relación de Poisson (μ) $\nu = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$</p> <p>Módulo de Elasticidad (Ed) $E_d = 2(1 + \nu)G$</p> <p>Módulo de corte (Gd) $G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$</p>							
Arena Suelta	0.20 - 0.40	Stoke & Woods (1972)	ν=0.31, para sedimentos no consolidados y no saturados.								
Arena Media	0.25 - 0.40										
Arena Densa	0.30 - 0.45										
Arena Limosa	0.20 - 0.40	Davis & Schuteiss (1980)	0.4982 < ν < 0.4997, para arcillas								
Arena Blanda	0.15 - 0.25										
Arena Media	0.20 - 0.50	Stuempel et al. (1984)/ Meissner et al. (1995)	ν=0.31, para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados.								
Braja M. Das: Fundamentos de Ing. Geotécnica											
Tipo de Suelo	Relación de Poisson (ν)	Tiab & Donaldson (1996)	0.14 < ν < 0.41, para diferentes								
Arcilla	0.40 - 0.45										
Arena	0.30 - 0.40										
Roca	0.15 - 0.25	Rosales, Cristina. (2001). Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área del Canaveralejo, Cali, Colombia.									
Rosales, Cristina. (2001).											
Prof. (m)	Vs Vs (m/s)	Vp Vp (m/s)	P (Tn/m3)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Módulo de corte Gd (kg/cm2)	Módulo de Elasticidad Ed (kg/cm2)	Módulo Volumétrico Kd (kg/cm2)	Módulo de corte Ge (kg/cm2)	Módulo de Elasticidad Ee(kg/cm2)	Módulo Volumétrico Ke (Tn/m2)
1.07	206.09	668.35	1.29	3.24	0.45	558.16	1615.82	5126.16	55.82	161.58	512.62
2.31	234.06	733.06	1.30	3.13	0.44	727.37	2099.55	6165.13	72.74	209.96	616.51
3.71	280.37	805.68	1.32	2.87	0.43	1061.37	3037.86	7349.15	106.14	303.79	734.92
4.00	321.27	878.30	1.34	2.73	0.42	1414.07	4023.78	8682.92	141.41	402.38	868.29
5.27	362.17	898.07	1.36	2.48	0.4	1823.03	5115.01	8778.75	182.30	511.50	877.88
6.00	393.06	929.86	1.38	2.37	0.39	2170.41	6039.02	9252.49	217.04	603.90	925.25
7.01	423.95	961.64	1.39	2.27	0.38	2551.87	7039.96	9726.87	255.19	704.00	972.69
8.00	444.61	1015.31	1.40	2.28	0.38	2826.39	7808.58	10970.38	282.64	780.86	1097.04
8.9	465.27	1084.61	1.41	2.33	0.39	3116.79	8647.49	12781.75	311.68	864.75	1278.18
10.00	520.80	1153.91	1.44	2.22	0.37	3978.19	10916.91	14225.29	397.82	1091.69	1422.53
15.00	610.15	1535.86	1.48	2.52	0.41	5621.57	15811.24	28124.12	562.16	1581.12	2812.41

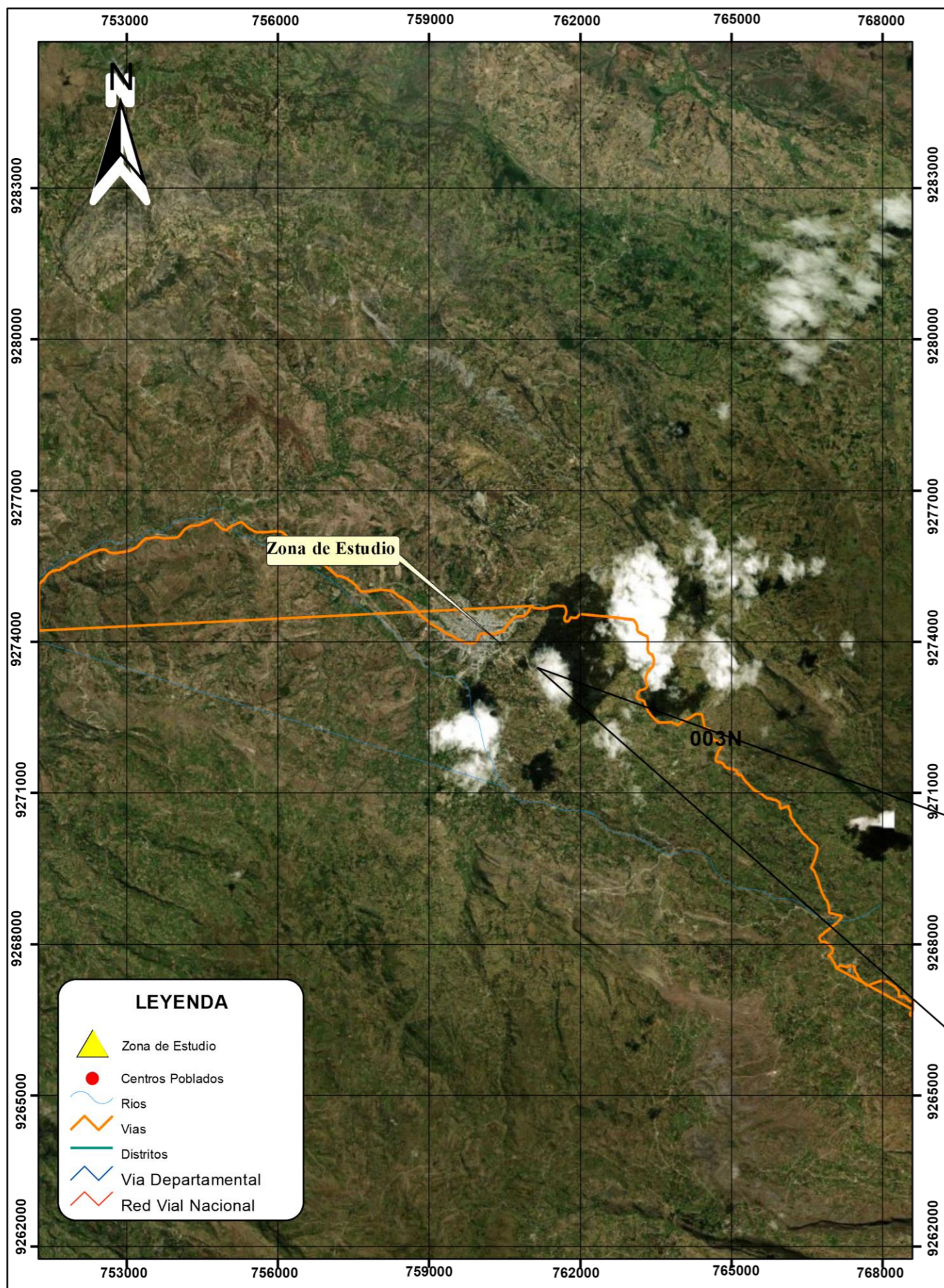


**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE CHOTA**

Evaluación del perfil sísmico del suelo mediante los métodos de Refracción Sísmica y MASW

Presentación de datos		Parámetros Elásticos del Terreno		Ubicación del proyecto							
Coordenadas del centro		Este (m)	Norte (m)	CHOTA-CHOTA-CAJAMARCA							
MASW-03	LRS-03	760659.93	9273603.71	CHOTA							
RELACIONES DE POISSON				FORMULACIONES							
				Teoría de elasticidad de las ondas sísmicas							
Tipo de Suelo	Relación de Poisson (v)	Tipo de Suelo	Relación de Poisson (v)	$V_p = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}}$ $V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ <p>Relacionando las velocidades de ondas (Kramer, 1996)</p> <p>Relación de Poisson (μ) $\nu = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2}$</p> <p>Módulo de Elasticidad (Ed) $E_d = 2(1 + \nu)G$</p> <p>Módulo de corte (Gd) $G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$</p>							
Arena Suelta	0.20 - 0.40	Stoke & Woods (1972)	v=0.31, para sedimentos no consolidados y no saturados.								
Arena Media	0.25 - 0.40										
Arena Densa	0.30 - 0.45										
Arena Limosa	0.20 - 0.40	Davis & Schuteiss (1980)	0.4982 < v < 0.4997, para arcillas								
Arena Blanda	0.15 - 0.25										
Arena Media	0.20 - 0.50	Stuempel et al. (1984)/ Meissner et al. (1995)	v=0.31, para sedimentos superficiales, arcillosos y saturados.								
Braja M. Das: Fundamentos de Ing. Geotécnica											
Tipo de Suelo	Relación de Poisson (v)	Tiab & Donaldson (1996)	0.14 < v < 0.41, para diferentes								
Arcilla	0.40 - 0.45										
Arena	0.30 - 0.40										
Roca	0.15 - 0.25	Rosales, Cristina. (2001). Comportamiento Sísmico de los Depósitos de Suelos del Área del Canaveralejo, Cali, Colombia.									
Rosales, Cristina. (2001).											
Prof. (m)	Vs Vs (m/s)	Vp Vp (m/s)	p (Tn/m3)	Vp/Vs	μ (Poisson)	Módulo de corte Gd (kg/cm2)	Módulo de Elasticidad Ed (kg/cm2)	Módulo Volumétrico Kd (kg/cm2)	Módulo de corte Ge (kg/cm2)	Módulo de Elasticidad Ee(kg/cm2)	Módulo Volumétrico Ke (Tn/m2)
1.07	310.78	776.04	1.34	2.50	0.40	1318.33	3703.17	6462.4	131.83	370.32	646.24
2.31	326.21	851.76	1.34	2.61	0.41	1460.40	4130.18	8009.48	146.04	413.02	800.95
3.71	348.35	894.86	1.36	2.57	0.41	1678.39	4735.41	8837.8	167.84	473.54	883.78
4.00	360.84	937.95	1.36	2.60	0.41	1808.75	5112.05	9809.73	180.87	511.20	980.97
5.27	373.32	1065.37	1.37	2.85	0.43	1944.52	5561.37	13243.26	194.45	556.14	1324.33
6.00	391.03	1133.35	1.38	2.9	0.43	2146.5	6149.45	15169.72	214.65	614.95	1516.97
7.01	408.74	1201.33	1.38	2.94	0.43	2359.66	6770.07	17237.48	235.97	677.01	1723.75
8.00	429.18	1288.57	1.39	3.00	0.44	2619.77	7532.45	20123.26	261.98	753.24	2012.33
8.9	449.61	1371.51	1.40	3.05	0.44	2895.24	8337.11	23080.22	289.52	833.71	2308.02
10.00	486.9	1454.45	1.42	2.99	0.44	3438.21	9880.69	26095.39	343.82	988.07	2609.54
15.00	555.35	1781.76	1.45	3.21	0.45	4575.11	13233.06	40994.67	457.51	1323.31	4099.47

Anexo N° 5. Planos



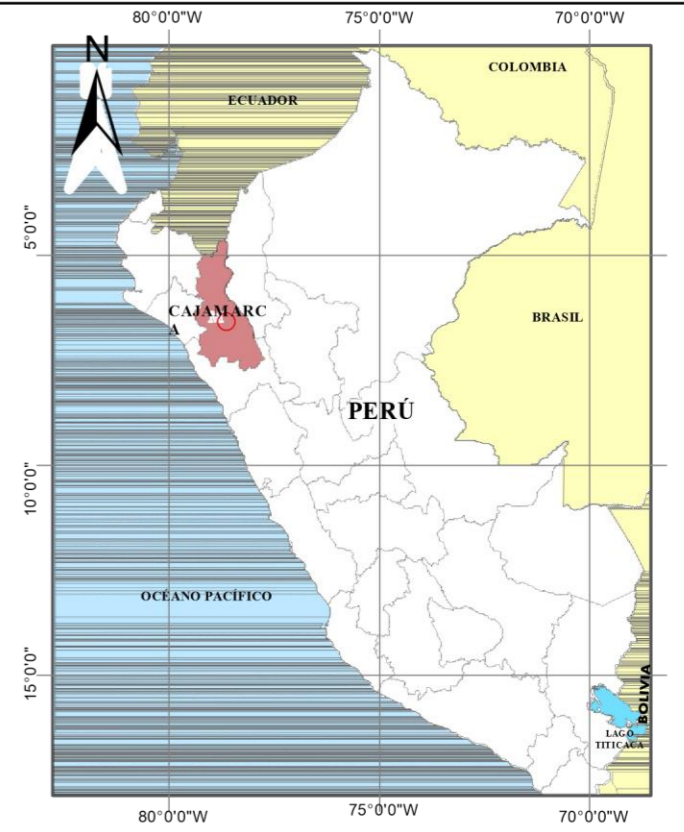
PLANO DE UBICACIÓN
Escala 1/100,000




PLANO DE UBICACIÓN
Escala 1/1'500,000



PLANO DE DETALLE
S/E



MAPA DE UBICACIÓN
Escala 1/20'000,000

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA		
TÍTULO DE TESIS:		
"EVALUACIÓN DEL PERFIL SÍSMICO DEL SUELO MEDIANTE LOS MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW"		
TÍTULO DEL PLANO:		
UBICACIÓN DEL PROYECTO		
UBICACION:		
PAIS:	PERÚ	
DEPARTAMENTO:	CAJAMARCA	
PROVINCIA:	CHOTA	
DISTRITO:	CHOTA	
RESIDENCIAL:	EL MIRADOR	
TESISTA:	MARELI MEDINA OCHOA	
Datum: WGS 1984 UTM Zone 17S		
FUENTE:		
Cartas Nacionales 1/100000 - IGN y Google Earth		
FECHA:	ESCALA :	PLANO N°
04/01/2022	INDICADA	P-01

NOTA:
Sistema de coordenadas proyectadas Datum: WGS 1984 UTM Zone 17S



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE CHOTA**

TESIS:

EVALUACIÓN DEL PERFIL SISMICO DEL
SUELO MEDIANTE LOS METODOS DE
REFRACCION SISMICA Y MASW

TESISTA:

MARELI MEDINA OCHOA

SISTEMA DE COORDENADAS

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

PLANO N°

P-02
151



CONSTANCIA

El que suscribe Mg. Ing. Miguel Angel Silva Tarrillo, **JEFE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Chota:

HACE CONSTAR

Que el bachiller: **MARELI MEDINA OCHOA**, ha presentado la tesis denominada: **“EVALUACIÓN DEL PERFIL SÍSMICO DEL SUELO MEDIANTE LOS MÉTODOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW”**, para la verificación de su contenido en el programa antiplagio Turnitin de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, indicando que la misma tiene un 24 % de similitud, estando dentro del límite permitido (25%) establecido en acápite g) del artículo 20 del Reglamento de Grados y Títulos UNACH, aprobado mediante la Resolución C.O. N° 120-2022-UNACH con fecha de 03 de marzo de 2022.

Sin otro particular.

Colpa Matara, 24 de agosto del 2022.

Miguel Angel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL

Ing. Miguel Angel Silva Tarrillo
Jefe de la unidad de investigación
FCI-UNACH