INFORME DE REFRACCIÓN SÍSMICA DISEÑO EMBALSE PURRANQUE – COMUNA DE PURRANQUE, REGIÓN DE LOS LAGOS

21 DE NOVIEMBRE DE 2023

OBRA	DISEÑO EMBALSE PURRANQUE			
UBICACIÓN	FUNDO EL RAULÍ, COMUNA DE PURRANQUE, REGIÓN DE LOS LAGOS			
CLIENTE	HIDROGESTIÓN SPA			
MANDANTE	HIDROGESTIÓN SPA			
INFORME	**FECHA**	**VERSIÓN**	**PREPARO**	**REVISO**
MANDANTE	21-11-2023	REV. A	LJF	DRC

INDICE GENERAL

1 INTRODUCCIÓN 4

2 OBJETIVOS 5

3 ANTECEDENTES 5

4 METODOLOGÍA 6

4.1 ELEMENTOS UTILIZADOS 6

4.2 LEVANTAMIENTO GEOFÍSICO 7

4.3 ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA 15

5 RESULTADOS 20

5.1 OBTENCIÓN DE LOS PÉRFILES DE REFRACCIÓN SÍSMICA 20

6 CONCLUSIONES 26

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de los Geófonos en los Perfiles de Refracción Sísmica. 12

Tabla 2: Ubicación de los disparos (Shot) a lo largo de los Arreglos de Prospección Geofísica. 14

Tabla 3: Parámetros Geotécnicos Obtenidos Para El Arreglo 1. 25

Tabla 4: Parámetros Geotécnicos Obtenidos Para El Arreglo 2. 26

Tabla 5: Parámetros Geotécnicos Obtenidos Para El Arreglo 2. 26

Tabla 6: Diferentes velocidades de onda (referenciales), de Bourbié, Coussy, and Zinszner, Acoustics of Porous Media, Gulf Publishing 27

Tabla 7: Relación Entre Velocidad de Propagación de Ondas Sísmicas Compresionales y Formaciones Correspondientes, Según Manual de Carreteras Vol.2, Tabla 2.503.502(1). A. 28

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Emplazamiento del proyecto. 4

Imagen 2: Ubicación arreglos 1, 2 y 3. 8

Imagen 3: Disposición Arreglo Fuente Activa del Arreglo 1. 8

Imagen 4: Arreglo 1 con dirección SSO - NNE, vista desde el Shot 6. 9

Imagen 5: Disposición Arreglo Fuente Activa del Arreglo 2. 9

Imagen 6: Arreglo 2 con dirección ESE - ONO, vista desde el Shot 4. 10

Imagen 7: Disposición Arreglo Fuente Activa del Arreglo 3. 10

Imagen 8: Arreglo 3 con dirección SE - NO, vista desde el Shot 5. 11

Imagen 9: Esquema de Disparos (Shot) resumida para la ejecución de un Ensayo de Refracción Sísmica. 14

Imagen 10: Gráfico Sísmico "Distancia Vs Tiempo", Dromocronas, Perfil 1 (Arreglo 1). 21

Imagen 11: Sección Sismo estratigráfica con comportamiento morfológico de refractores correspondiente al Arreglo 1, Vista SSO – NNE. 21

Imagen 12: Mapa de Velocidad Perfil 1. 22

Imagen 13: Gráfico Sísmico "Distancia Vs Tiempo", Dromocronas, Perfil 2 (Arreglo 2). 22

Imagen 14: Sección Sismo estratigráfica con comportamiento morfológico de refractores correspondiente al Arreglo 2, Vista ESE – ONO. 23

Imagen 15: Mapa de Velocidad Perfil 2. 23

Imagen 16: Gráfico Sísmico "Distancia Vs Tiempo", Dromocronas, Perfil 3 (Arreglo 3). 24

Imagen 17: Sección Sismo estratigráfica con comportamiento morfológico de refractores correspondiente al Arreglo 3, Vista SE – NO. 24

Imagen 18: Mapa de Velocidad Perfil 3. 25

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe se realiza con motivo de obtener una tomografía de refracción sísmica del Terreno del proyecto **"Diseño Embalse Purranque"**, ubicado en Fundo El Raulí, Comuna de Purranque, Región de Los Lagos. El presente estudio se efectúa mediante los ensayos de Refracción Sísmica de Ondas de Compresión.

La ubicación del proyecto es presentada en la Imagen 1:

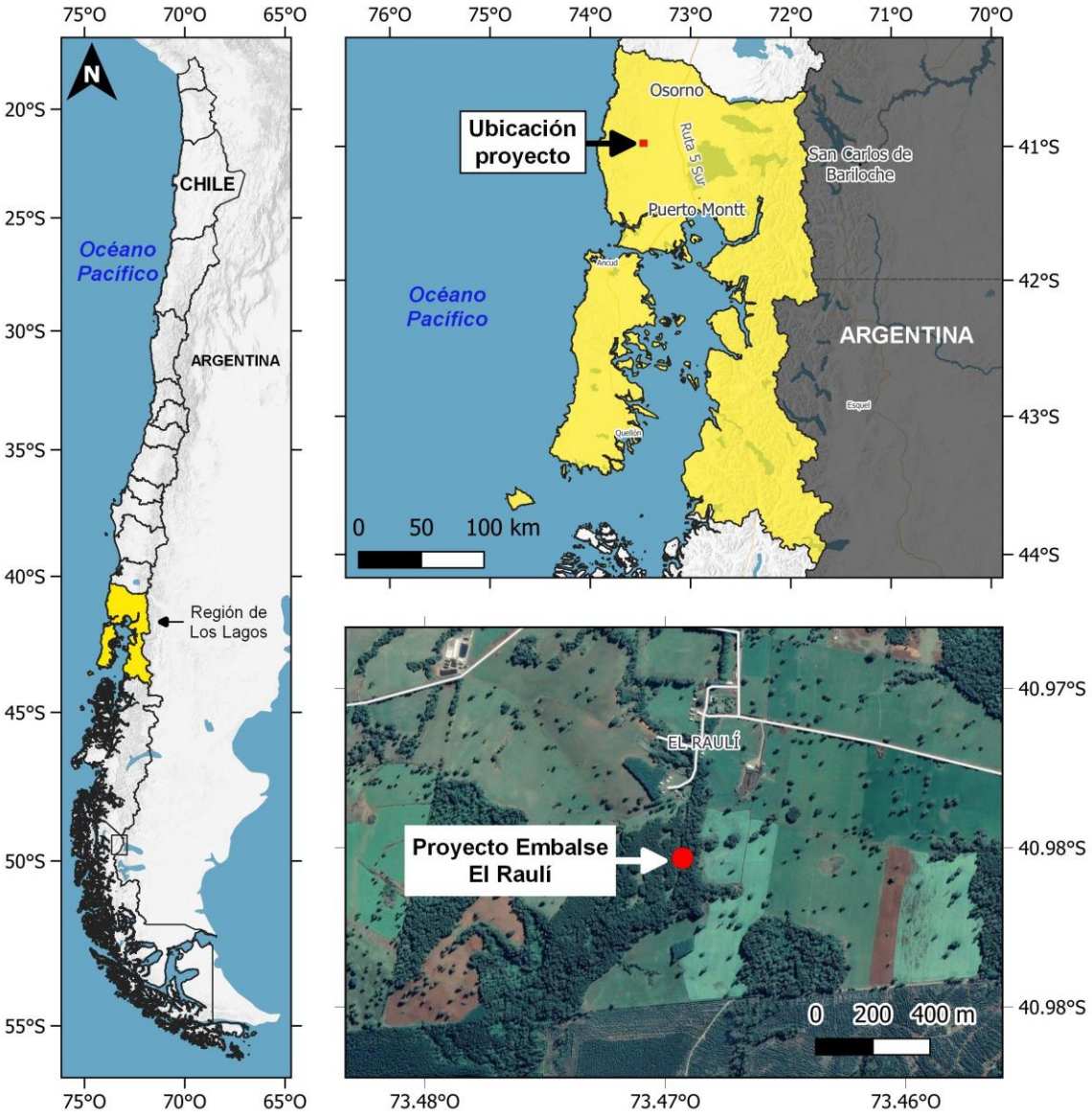


Imagen 1: Emplazamiento del proyecto.

2 OBJETIVOS

El objetivo del informe es definir cualitativamente el estado de los materiales del área del proyecto, distinguiendo los posibles estratos de suelo, roca alterada y roca sana, y conocer su distribución en diferentes puntos de las futuras zonas que compondrán el nuevo embalse, sirviendo esta información como complemento y guía de futuras actuaciones y estudios.

Para ello se ha registrado la variación de la velocidad de onda P con la profundidad, mediante la realización de tres (3) ensayos sísmicos emplazado como Arreglos de Prospección Geofísica, aplicando el método de sísmica de refracción. En el desarrollo de los trabajos se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- Reconocimiento en terreno de las zonas de ensayo
- Realización de los ensayos en cada zona
- Correlación con los datos observados en terreno (procesado final)

Para la interpretación de los ensayos, las Dromocronas obtenidas se han interpretado tanto por teoría de rayos como por tomografía sísmica.

3 ANTECEDENTES

Dentro de los antecedentes utilizados como base de información para el presente estudio se encuentran:

- (2011). Standard Guide for Selecting Surface Geophysical Methods. Pennsylvania, U.S.
- ASTM. (2011). Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation. Pennsylvania, U.S.
- ASTM. (2010). D3633M - 12, Standard Test Method for Electrical Resistivity of Membrane-Pavement System.
- International Code Council. (2006). International Building Code.
- Louie, J. N. (2001). Faster, Better: Shear-Wave Velocity to 100 Meters Depth from Refraction Microtremor Arrays. En Bulletin of the Seismological Society of America, 91, 2 (págs. 347-364).
- Miller, C. B. (2006). Roadside Passive MASW. Lawrence, Kansas, USA: Kansas Geological Survey.
- Reynolds, J. M. (2011). An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics. Wiley-Blackwell.
- Richard D. Miller, J. X. (1999). Multichannel analysis of surface waves to map bedrock. Lawrence, Kansas, U.S: Kansas Geological Survey.

- State of Ohio Environmental Protection Agency. (2008). Application of Geophysical Methods for Site Characterization. En Technical Guidance Manual for Ground Water Investigations, Chapter 16. Columbus, Ohio, U.S.
- Börguel, J. (1983). Geomorfología y Geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar (IGM). 373 pp. Santiago.
- Crignola, P. (2000). Depósitos metalíferos, anomalías geoquímicas y recursos energéticos del sector norte de la Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapa de Recursos Minerales Energéticos, No. 6, 27 p., 1 anexo, 1 mapa escala 1:500.000. Santiago.

4 METODOLOGÍA

Las técnicas sísmicas se basan en el estudio de la propagación de las ondas elásticas producidas por una fuente artificial (martillo, explosivo, etc.) a través del subsuelo, y detectadas en superficie o en sondeos mediante una serie de sensores (geófonos, etc.). Con estos estudios se obtiene una imagen del terreno en base a las propiedades elásticas de los materiales que lo constituyen y deduciéndose, por tanto, la geometría de estructuras geológicas en profundidad.

4.1 ELEMENTOS UTILIZADOS

Para obtener el perfil de velocidades de ondas de compresión en el terreno, se emplea una metodología que implica la instalación de un trípode y una masa de 48 kg como fuente activa. La masa se eleva a una altura aproximada de 6 metros y se deja caer libremente sobre una placa metálica, actuando como un disipador de energía. Este proceso genera ondas sintéticas que se propagan a través del subsuelo y son captadas por una serie de geofonos estratégicamente ubicados en el terreno.

Se utilizan 48 geófonos espaciados a distancias regulares de 5m. Los elementos utilizados para los ensayos son los siguientes:

- Geófonos de 4.5 Hz (sensibilidad vertical)
- Línea de comunicación
- GPS
- Equipo colector de datos
- Software de recolección de datos

Además, se utilizan cintas métricas y otras herramientas menores para determinar la ubicación de los geófonos.

4.2 LEVANTAMIENTO GEOFÍSICO

En la campaña geotécnica realizada el 14/11/2023 y 15/11/2023, el terreno presento las siguientes características:

- El terreno cuenta con una morfología irregular, con altas pendientes y presencia de un bosque espeso que es dividido por un río en la zona de mayor depresión.
- Existen zonas denominadas “baguales” y que son descartadas en campo debido a que perturban la realización del ensayo en longitudes aproximadas a 20-30 metros, específicamente para la disposición del Arreglo 3, por lo que se realiza en una zona adecuada para el fin del presente estudio.

Por consiguiente, se dispone de 3 arreglos con separación geofónica de 5m entre sí, abarcando una longitud total de 235m, tomando en consideración lo anteriormente descrito.

Existe una similitud en la ejecución de ensayo por método activo, tanto para ondas de corte como de compresión, lo cual se detalla a continuación:

- Determinación del lugar en que se instalará el arreglo
- Instalación de los equipos.
- Recolección de datos en terreno.
- Determinación de la curva de dispersión (Dromocronas).
- Determinación del perfil estratigráfico.
- Determinación del perfil de ondas de compresión

La descripción de los arreglos se presenta a continuación:

- Arreglo 1 con 16 geófonos espaciados a 5 m y 235 m de longitud.
- Arreglo 2 con 16 geófonos espaciados a 5 m y 235 m de longitud.
- Arreglo 3 con 16 geófonos espaciados a 5 m y 235 m de longitud.

En la imagen 2 se presenta la disposición de los arreglos mediante el programa Google Earth.

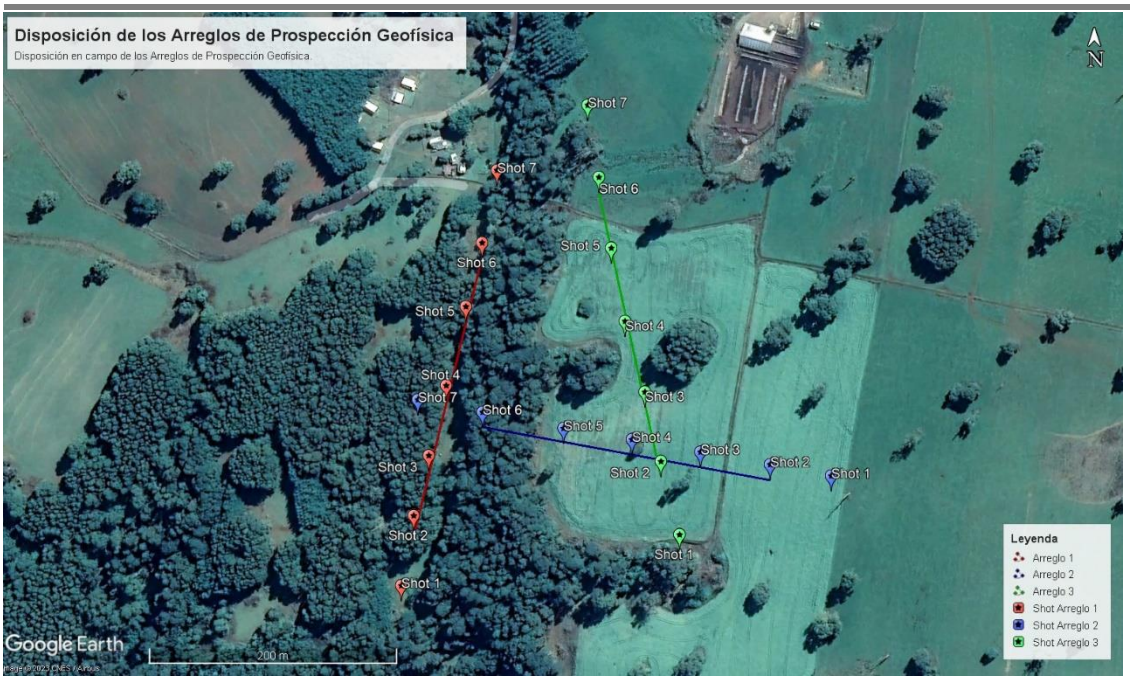


Imagen 2: Ubicación arreglos 1, 2 y 3.

En las siguientes imágenes se presentan los elementos y disposición de geófonos en terreno.



Imagen 3: Disposición Arreglo Fuente Activa del Arreglo 1.



Imagen 4: Arreglo 1 con dirección SSO - NNE, vista desde el Shot 6.



Imagen 5: Disposición Arreglo Fuente Activa del Arreglo 2.



Imagen 6: Arreglo 2 con dirección ESE - ONO, vista desde el Shot 4.



Imagen 7: Disposición Arreglo Fuente Activa del Arreglo 3.



Imagen 8: Arreglo 3 con dirección SE - NO, vista desde el Shot 5.

A continuación, se presenta en las siguientes tablas las coordenadas de los geófonos dispuestos por arreglo y la distancia asociada en el mismo:

Tabla 1: Coordenadas de los Geófonos en los Perfiles de Refracción Sísmica.

ARREGLO 1		
Geófono (N°)	Distancia (m)	Altura (m.s.n.m.)
1	0	249
2	5	249
3	10	249
4	15	249
5	20	249
6	25	249
7	30	249
8	35	249
9	40	249
10	45	249
11	50	249
12	55	249
13	60	249
14	65	249
15	70	249
16	75	249
17	80	249
18	85	249
19	90	249
20	95	249
21	100	249
22	105	249
23	110	249

ARREGLO 2		
Geófono (N°)	Distancia (m)	Altura (m.s.n.m.)
1	0	277
2	5	277
3	10	277
4	15	277
5	20	277
6	25	276
7	30	276
8	35	276
9	40	276
10	45	276
11	50	276
12	55	275
13	60	275
14	65	275
15	70	275
16	75	274
17	80	274
18	85	274
19	90	273
20	95	273
21	100	272
22	105	271
23	110	270

ARREGLO 3		
Geófono (N°)	Distancia (m)	Altura (m.s.n.m.)
1	0	272
2	5	272
3	10	272
4	15	272
5	20	272
6	25	272
7	30	272
8	35	271
9	40	271
10	45	270
11	50	269
12	55	268
13	60	267
14	65	266
15	70	266
16	75	265
17	80	265
18	85	264
19	90	264
20	95	263
21	100	262
22	105	262
23	110	261

24	115	249	24	115	269	24	115	261
25	120	249	25	120	268	25	120	260
26	125	249	26	125	267	26	125	260
27	130	250	27	130	266	27	130	259
28	135	250	28	135	265	28	135	259
29	140	250	29	140	264	29	140	258
30	145	251	30	145	263	30	145	258
31	150	251	31	150	262	31	150	257
32	155	251	32	155	261	32	155	257
33	160	251	33	160	260	33	160	257
34	165	251	34	165	259	34	165	256
35	170	249	35	170	258	35	170	256
36	175	248	36	175	257	36	175	256
37	180	248	37	180	256	37	180	255
38	185	248	38	185	255	38	185	255
39	190	248	39	190	255	39	190	255
40	195	248	40	195	254	40	195	255
41	200	249	41	200	253	41	200	249
42	205	249	42	205	253	42	205	249
43	210	249	43	210	252	43	210	249
44	215	249	44	215	252	44	215	249
45	220	249	45	220	251	45	220	249
46	225	249	46	225	250	46	225	248
47	230	249	47	230	249	47	230	248
48	235	249	48	235	248	48	235	248

Para la obtención de los perfiles de refracción sísmica se emplean los mismos elementos y arreglos descritos en los puntos 4.1 y 4.2, ejecutándose 7 impactos sísmicos en cada arreglo distribuidos de manera simétrica en él con una duración de 1s.

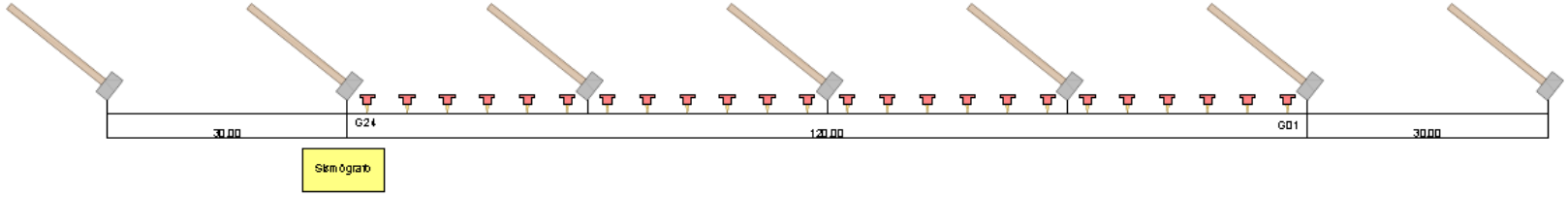


Imagen 9: Esquema de Disparos (Shot) resumida para la ejecución de un Ensayo de Refracción Sísmica.

Estos impactos deben estar espaciados de modo tal que las ondas refractadas puedan ser captadas por los 48 geófonos dispuestos en el arreglo. La disposición de los impactos se presenta en la siguiente imagen:

La ubicación georreferenciada de los impactos se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2: Ubicación de los disparos (Shot) a lo largo de los Arreglos de Prospección Geofísica.

Disparos (Shot)	Distancia (m)	Arreglo 1			Arreglo 2			Arreglo 3		
		Coordenadas UTM WGS84 18G								
		Este	Norte	m.s.n.m.	Este	Norte	m.s.n.m.	Este	Norte	m.s.n.m.
Shot 1	-57.50	628734	5462718	249	629082	5462800	279	628959	5462755	272
Shot 2	0.00	628745	5462774	249	629033	5462810	279	628945	5462814	272
Shot 3	57.50	628758	5462822	249	628977	5462821	275	628933	5462870	268
Shot 4	117.50	628773	5462878	249	628922	5462832	269	628918	5462927	261
Shot 5	177.50	628790	5462941	248	628867	5462842	257	628908	5462986	256
Shot 6	235.00	628804	5462992	249	628802	5462856	248	628899	5463043	248
Shot 7	292.50	628817	5463050	249	628750	5462867	248	628891	5463101	248

4.3 ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA

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

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

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

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

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

Donde v1 y v2 son las velocidades de los dos medios separados por la interfase.

Cuando v1 > v2 se tiene que θi > θr y por lo tanto la sísmica por refracción nos es factible ya que el rayo refractado se inclinaría hacia abajo. Cuando v1<v2 se tiene que θi < θr y existe un ángulo crítico de incidencia por lo que θr = 90° y el rayo refractado viaja paralelamente a la interfase. La expresión que define el ángulo crítico es:

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

La forma más sencilla de analizar los datos de refracción es construyendo un gráfico tiempo-distancia cuyo origen corresponda a la fuente de generación de las ondas elásticas. En el eje de las abscisas se representan las posiciones de los geófonos y en las ordenadas los tiempos

de primera llegada. A los geófonos más cercanos a la fuente llegan primero los impulsos que han seguido el recorrido directo en un tiempo T dado por la relación:

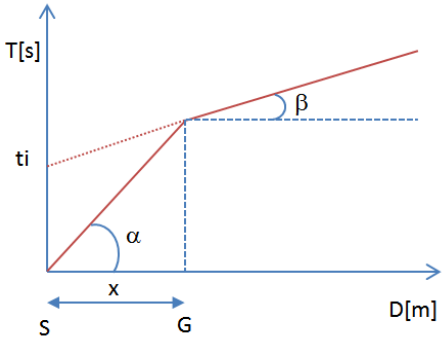
$$T = x_i / V_1$$

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

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

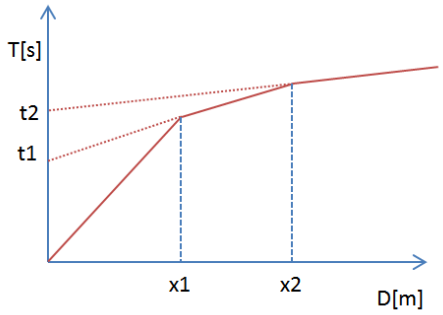
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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



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

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

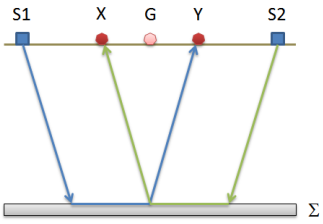


Entonces, conociendo los tiempos ti es posible obtener los espesores de los refractores mediante la relación:

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

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

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

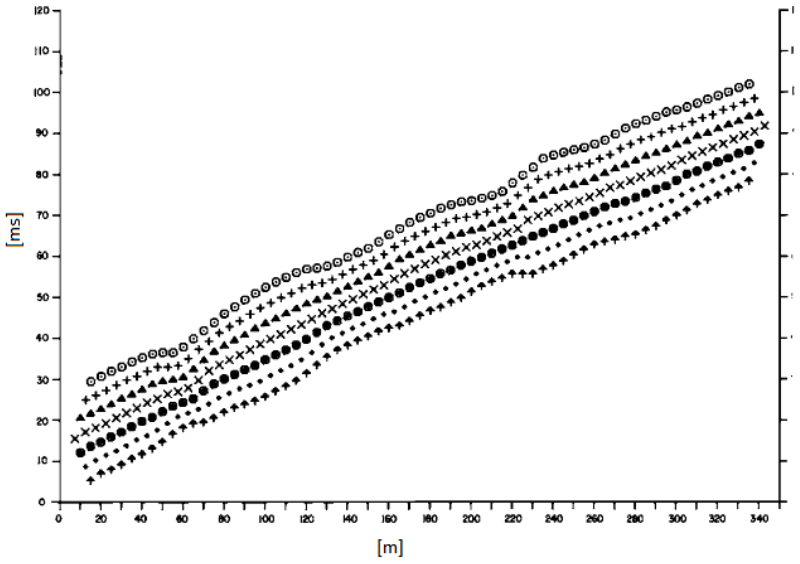


El primer paso operativo es construir un diagrama tiempos-distancias identificando en los sismogramas obtenidos con los datos de campo, las primeras llegadas de las ondas sísmicas. Para

determinar la distancia óptima XY es necesario considerar varios puntos de disparo, tanto de los extremos como del interior del tendido. Esto hace posible identificar con más precisión los tiempos relativos de un mismo refractor que sirven para caracterizar las dromocronas, las cuales son fundamentales para la interpretación. En las interpretaciones multi estratos, para generar las dromocronas se puede aprovechar las técnicas de phantoming y así superar la falta de datos de algunos refractores.

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

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_s}}{2}$$



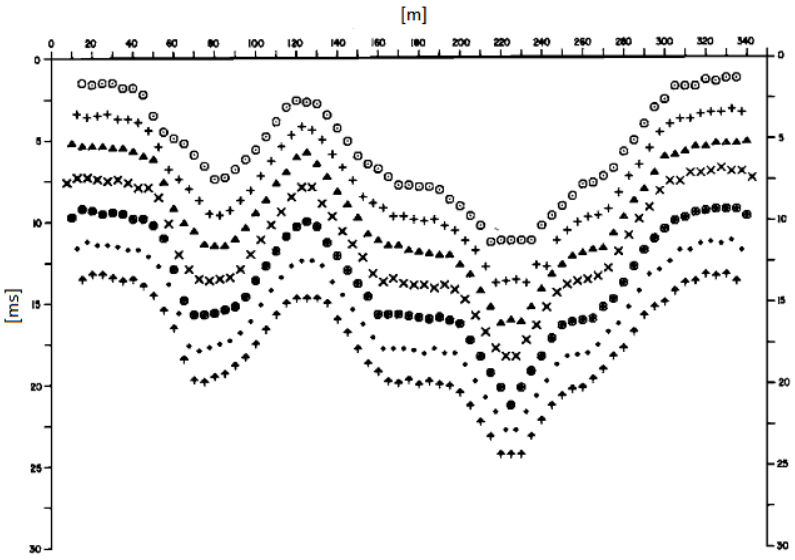
Donde TS1Y y TS2X son los tiempos de recorrido de los rayos sísmicos para llegar, respectivamente, de la fuente S1 a X y de la fuente S2 a Y, mientras que TS1S2 es el tiempo de recorrido entre dos puntos de disparo S1 y S2, externamente simétricos con respecto al tendido. Tv es el tiempo calculado en un geófono G puesto entre X y Y, no necesariamente coincidente con la posición de un geófono del tendido.

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

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

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

Donde V_n es la velocidad del refractor.



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

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

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

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

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

5 RESULTADOS

5.1 OBTENCIÓN DE LOS PÉRFILES DE REFRACCIÓN SÍSMICA

Para el presente ensayo de refracción sísmica, se consideraron 7 impactos, originados en distintos puntos de cada arreglo.

Mediante el análisis de las señales obtenidas, es posible determinar los tiempos de arribo de las ondas longitudinales P y ondas de cortante S de las diferentes unidades estratigráficas que constituyen el subsuelo del sitio. Con ello se generaron los perfiles y gráficos sísmicos de Distancia Vs Tiempo, determinando: Módulo de Deformación al Corte (G0), Módulo Edométrico (Ed), Módulo de compresibilidad volumétrica (M0) y el Módulo de Young (Ey) de cada estrato.

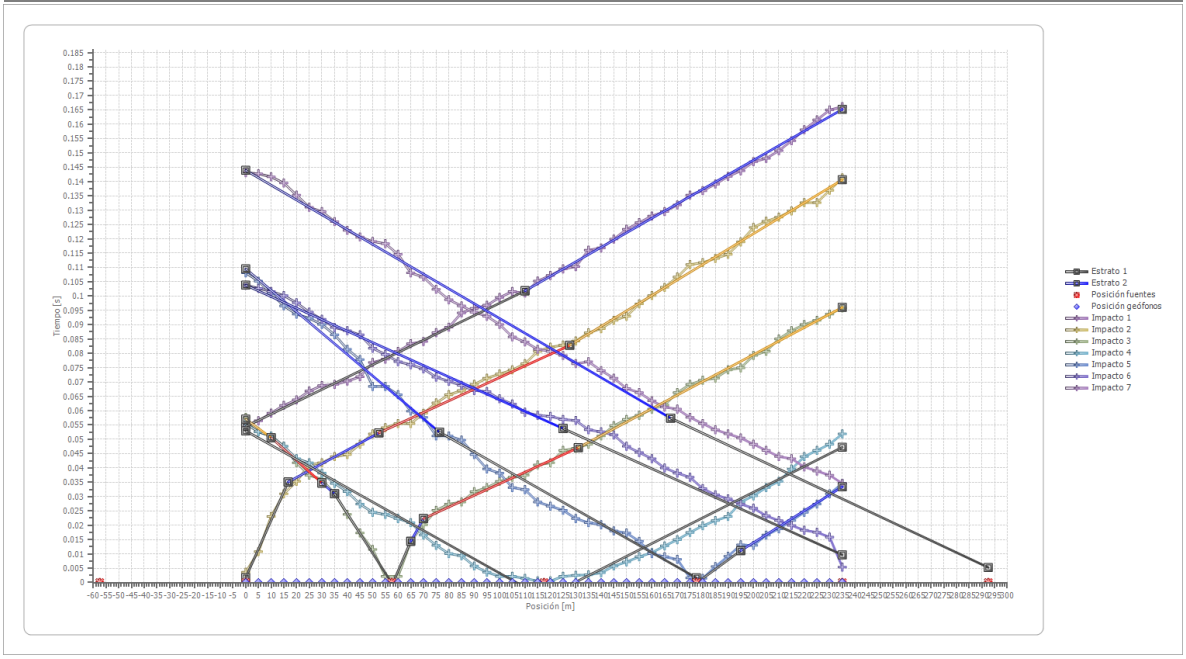


Imagen 10: Gráfico Sísmico "Distancia Vs Tiempo", Dromocronas, Perfil 1 (Arreglo 1).

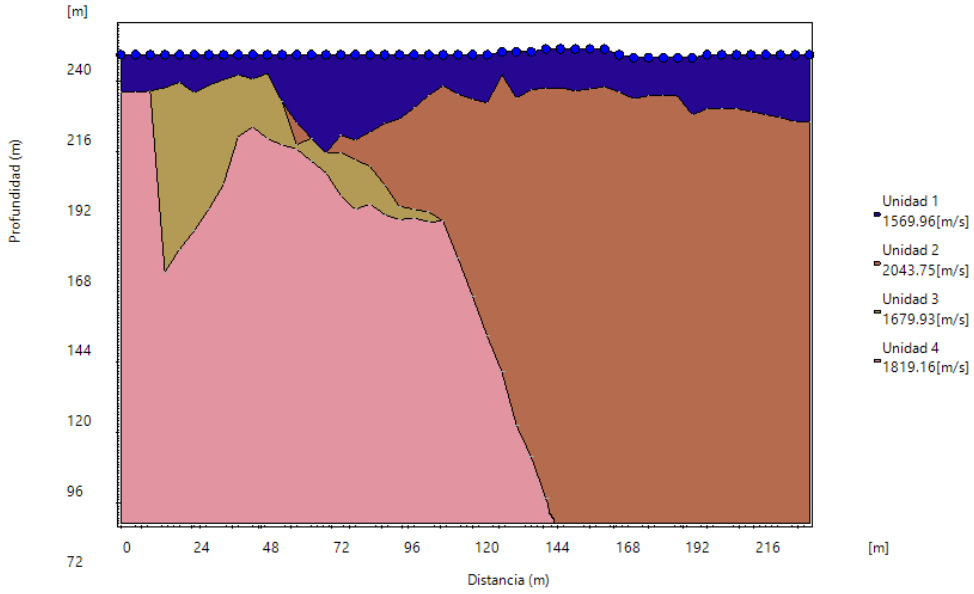


Imagen 11: Sección Sismo estratigráfica con comportamiento morfológico de refractores correspondiente al Arreglo 1, Vista SSO – NNE.

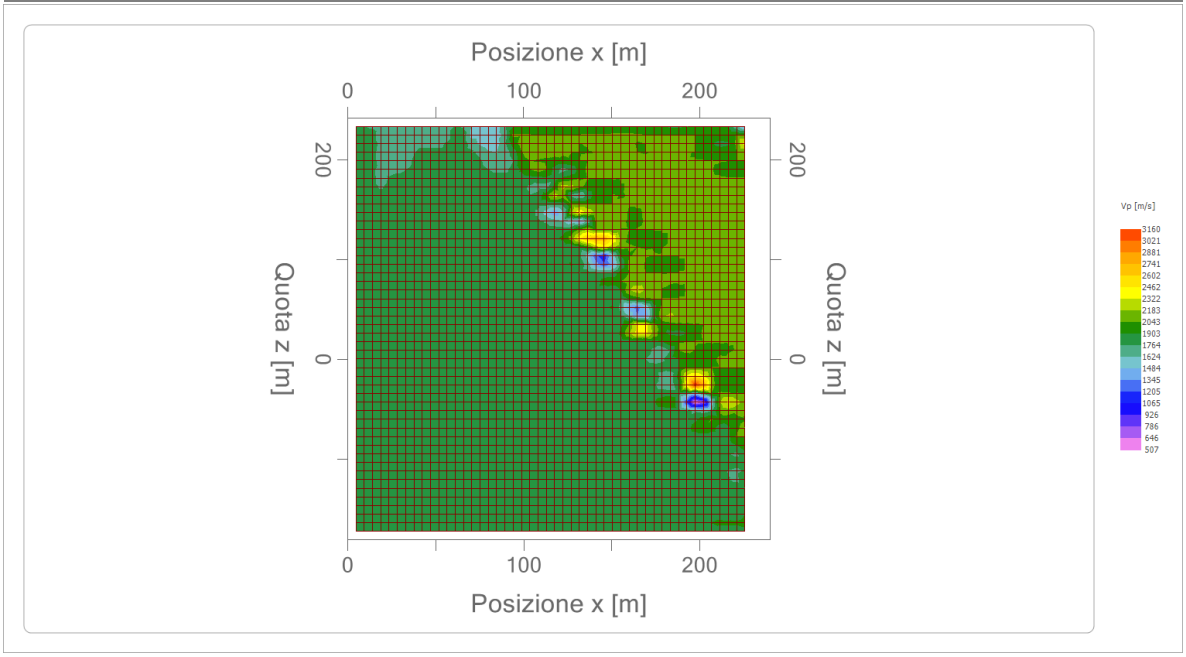


Imagen 12: Mapa de Velocidad Perfil 1.

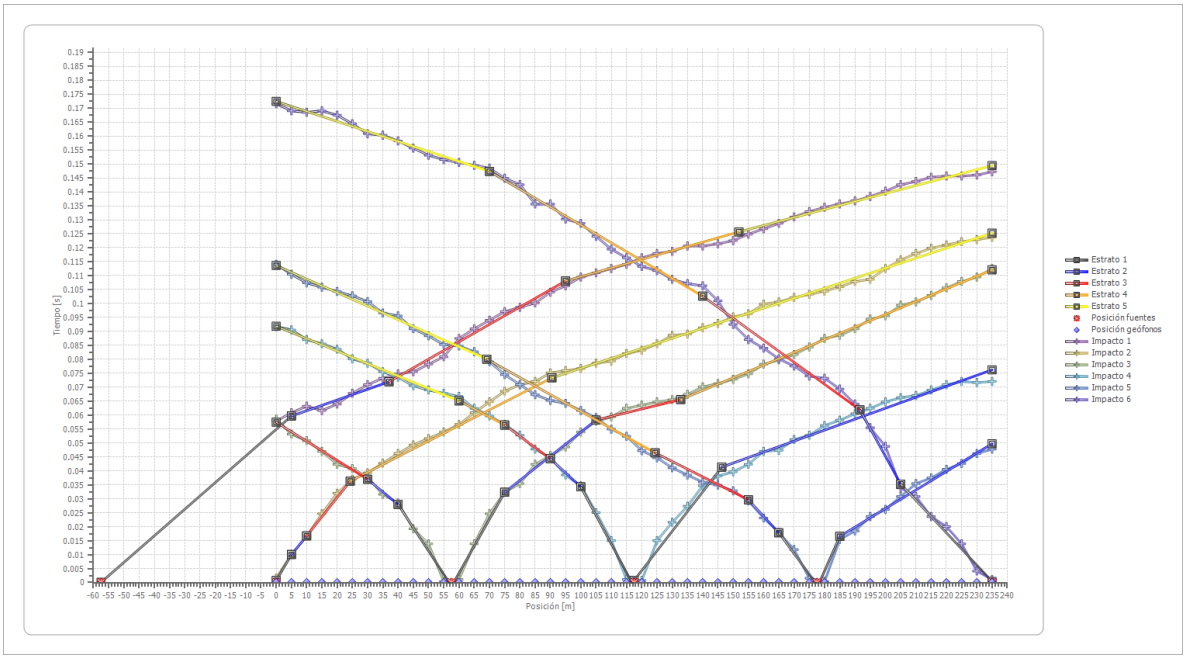


Imagen 13: Gráfico Sísmico "Distancia Vs Tiempo", Dromocronas, Perfil 2 (Arreglo 2).

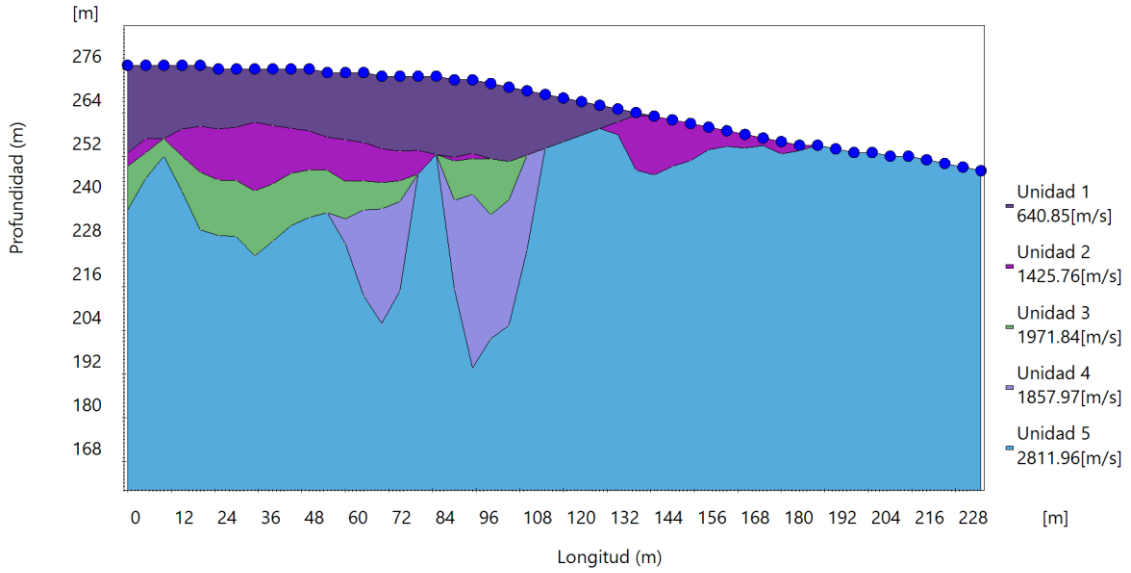


Imagen 14: Sección Sismo estratigráfica con comportamiento morfológico de refractores correspondiente al Arreglo 2, Vista ESE – ONO.

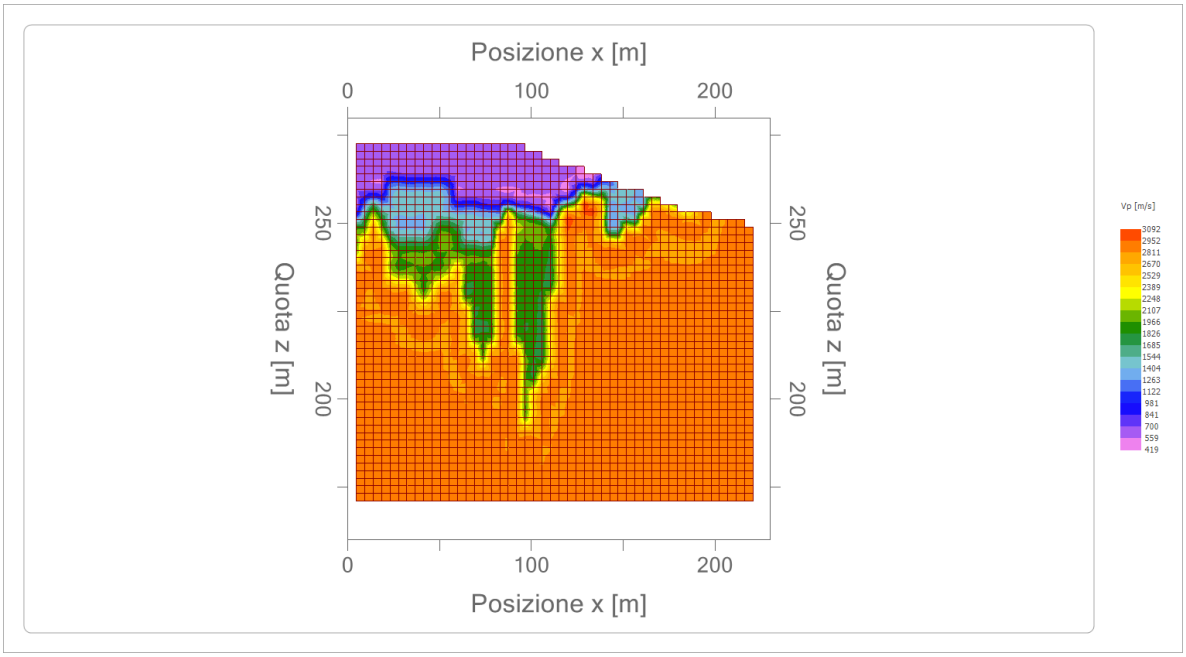


Imagen 15: Mapa de Velocidad Perfil 2.

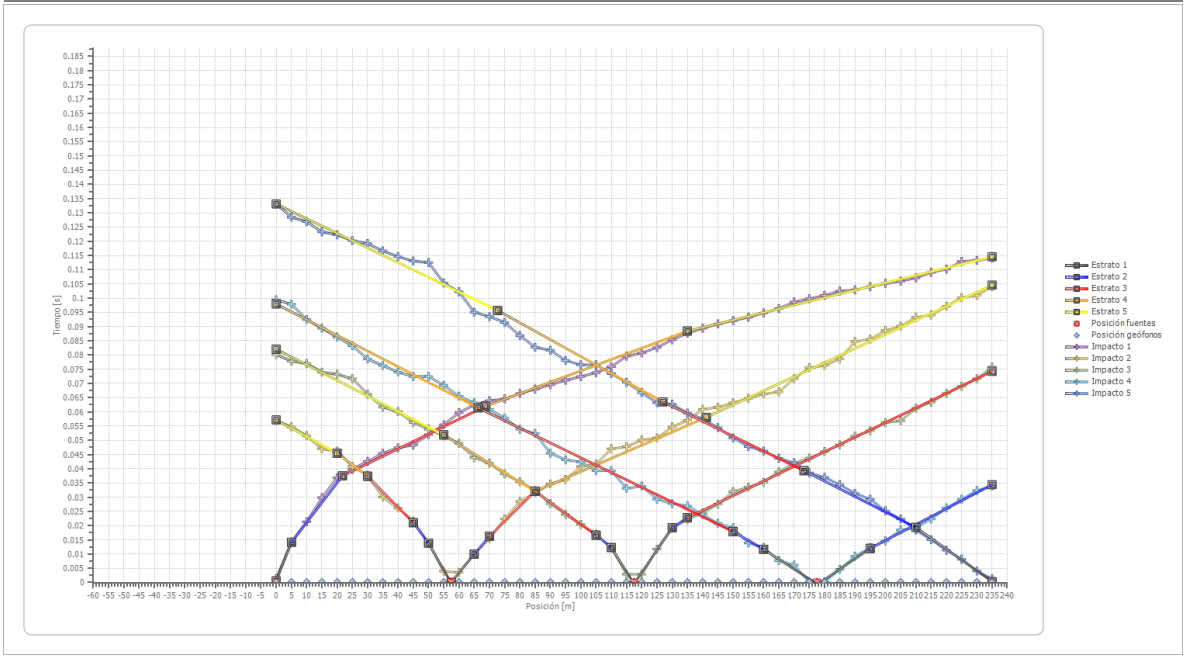


Imagen 16: Gráfico Sísmico "Distancia Vs Tiempo", Dromocronas, Perfil 3 (Arreglo 3).

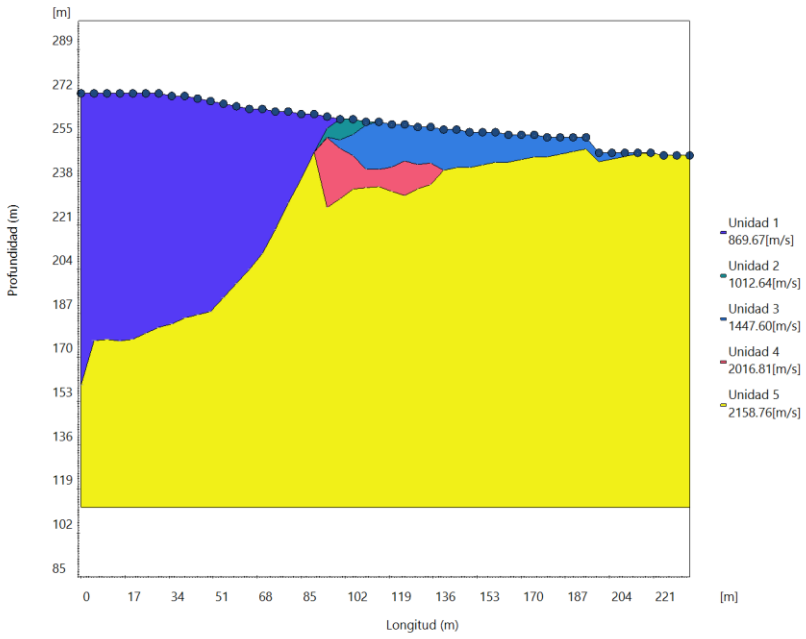


Imagen 17: Sección Sismo estratigráfica con comportamiento morfológico de refractores correspondiente al Arreglo 3, Vista SE – NO.

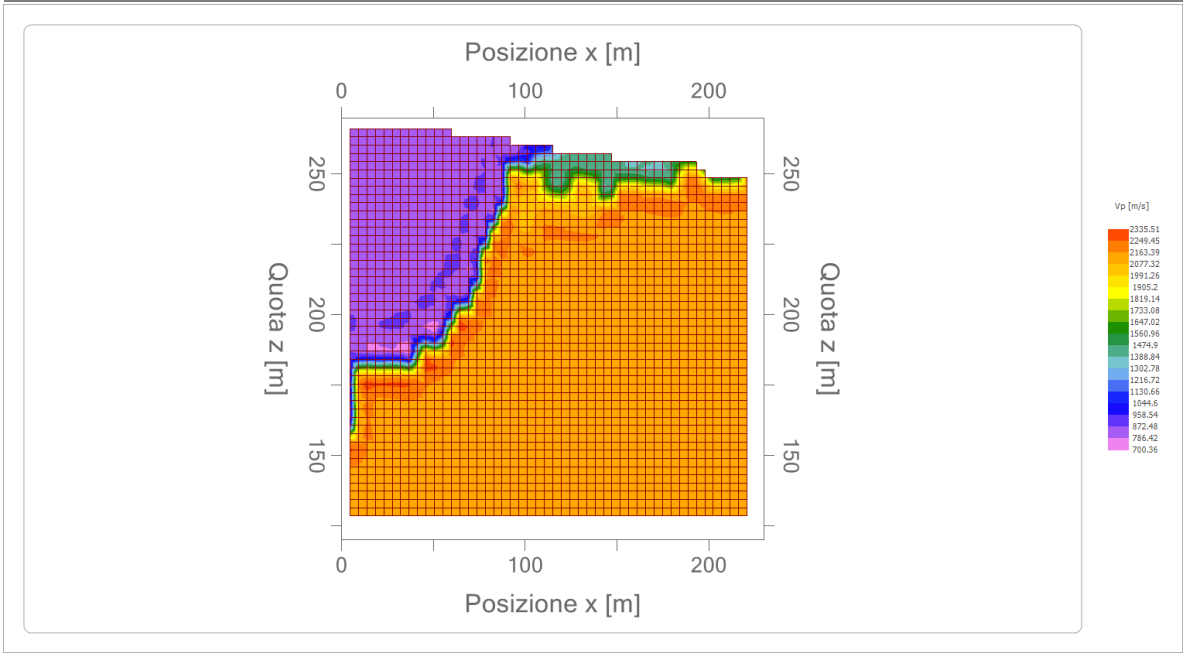


Imagen 18: Mapa de Velocidad Perfil 3.

En las siguientes tablas se determinan los parámetros geotécnicos dinámicos obtenidos a partir del ensayo de refracción sísmica.

Tabla 3: Parámetros Geotécnicos Obtenidos Para El Arreglo 1.

	Estrato n. 1	Estrato n. 2	Estrato n. 3	Estrato n. 4
Coeficiente Poisson	0.29	0.26	0.27	0.27
Densidad [kg/m³]	2000	2100	2000	2000
Vp [m/s]	1569.96	2043.75	1679.93	1819.16
Vs [m/s]	853.83	1163.9	942.96	1021.11
G0 [MPa]	1458.04	2844.81	1778.35	2085.35
Ed [Mpa]	4929.55	8771.5	5644.31	6618.72
M0 [MPa]	3471.51	5926.69	3865.97	4533.37
Ey [Mpa]	3761.73	7168.93	4517	5296.79

Tabla 4: Parámetros Geotécnicos Obtenidos Para El Arreglo 2.

	Estrato n. 1	Estrato n. 2	Estrato n. 3	Estrato n. 4	Estrato n. 5
Coeficiente Poisson	0.35	0.29	0.26	0.29	0.35
Densidad [kg/m³]	1800	2000	2100	2000	1800
Vp [m/s]	640.85	1425.76	1971.84	1857.97	2811.96
Vs [m/s]	307.86	775.4	1122.95	1010.46	0
G0 [MPa]	170.6	1202.49	2648.14	2042.06	0
Ed [Mpa]	739.25	4065.57	8165.09	6904.12	0
M0 [MPa]	568.65	2863.08	5516.95	4862.06	0
Ey [Mpa]	460.61	3102.43	6673.31	5268.52	0

Tabla 5: Parámetros Geotécnicos Obtenidos Para El Arreglo 2.

	Estrato n. 1	Estrato n. 2	Estrato n. 3	Estrato n. 4	Estrato n. 5
Coeficiente Poisson	0.33	0.26	0.29	0.26	0.35
Densidad [kg/m³]	1800	1700	2000	2100	1800
Vp [m/s]	869.67	1012.64	1447.6	2016.81	2158.76
Vs [m/s]	438.07	576.69	787.28	1148.56	0
G0 [MPa]	345.43	565.37	1239.62	2770.31	0
Ed [Mpa]	1361.4	1743.23	4191.09	8541.79	0
M0 [MPa]	1015.97	1177.86	2951.47	5771.48	0
Ey [Mpa]	918.84	1424.74	3198.21	6981.18	0

Dónde:

G0: Módulo de deformación al corte;

Ed: Módulo edométrico;

M0: Módulo de compresibilidad volumétrica;

Ey: Módulo de Young;

6 CONCLUSIONES

El presente estudio geofísico ha sido desarrollado para para la determinación de la velocidad de onda P, con ella definir cualitativamente el estado de los materiales del área del proyecto, distinguiendo los posibles estratos de suelo y conocer su distribución en diferentes puntos del futuro embalse en la comuna de Purranque.

El trabajo ha comprendido tanto la redacción del informe, como los trabajos de campo.

Los trabajos de terreno presentados en este informe previo, consistentes en tres perfiles de sísmica de refracción fueron llevados a cabo el día 14 y 15 de noviembre de 2023, y han permitido la realización del presente informe.

Los valores de Vp obtenidos se encuentran en el rango de 600 a 2200 m/s, coincidente con la geología esperable en el área, correspondiente principalmente a suelo residual depositado de manera superficial con grandes características agrícolas y a mayor profundidad suelos asociados a depósitos glaciares.

Sin embargo, mediante el análisis de ondas de compresión no es posible determinar posibles inversiones de velocidad, las cuales pueden estar asociada a la presencia de suelo fino (limos o arcillas) consolidadas que pueden existir en inter estratos a medida que la profundidad aumenta (cenizas volcánicas principalmente). Ante esto, se sugiere la ejecución de ensayos de ondas de corte (ReMi, MASW, Método de Precisión 2D de ondas de corte, MARW, SASW, entre otros), con el propósito de determinar posibles inversiones de velocidades.

Las siguientes tablas referenciales pueden utilizarse para estimar la densidad y la Vs de distintos materiales, incluidos similares a los del área de estudio:

Tabla 6: Diferentes velocidades de onda (referenciales), de Bourbié, Coussy, and Zinszner, Acoustics of Porous Media, Gulf Publishing

Material	Velocidad de ondas P (m/s)	Velocidad de ondas S (m/s)	Densidad (g/cm^3)
Suelo, suelo vegetal	300-700	100-300	1,7-2,4
Arena seca	400-1200	100-500	1,5-1,7
Arena húmeda	1500-2000	400-600	1,9-2,1
Arcilla y lutita saturadas	1100-2500	200-800	2,0-2,4
Margas	2000-3000	750-1500	2,1-2,6
Lutita y arena saturadas	1500-2200	500-750	2,1-2,4
Arenisca porosa saturada	2000-3500	800-1800	2,1-2,4
Caliza	3500-6000	2000-3300	2,4-2,7
Creta	2300-2600	1100-1300	1,8-3,1
Sal	4500-5500	2500-3100	2,1-2,3
Anhidrita	4000-5500	2200-3100	2,9-3,0
Dolomita	3500-6500	1900-3600	2,5-2,9
Granito	4500-6000	2500-3300	2,5-2,7
Basalto	5000-6000	2800-3400	2,7-3,1
Gneis	4400-5200	2700-3200	2,5-2,7
Carbón	2200-2700	1000-1400	1,3-1,8
Agua	1450-1500	-	1
Hielo	3400-3800	1700-1900	0,9
Gasoil	1200-1250	-	0,6-0,9

Tabla 7: Relación Entre Velocidad de Propagación de Ondas Sísmicas Compresionales y Formaciones Correspondientes, Según Manual de Carreteras Vol.2, Tabla 2.503.502(1). A.

Vp (m/s)	Tipo de Material
100 - 700	Suelos sueltos y rellenos
700- 1.800	Suelos compactación mediana
1.400 - 1.550	Agua y Suelos Saturados
2.000 - 2.500	Suelos Compactos
1.500 - 2.500	Roca Descompuesta y Muy Fracturada
2.000 - 3.500	Roca de Calidad Regular a Buena
3.500 y más	Roca de Buena a Calidad Geotécnica



Firmado digitalmente por DANIELA ANDREA RAMIREZ CISTERNA
Fecha: 2023.11.24 16:58:19 -03'00'

Daniela Ramirez C.
Ingeniero Civil Obras Civiles.
Gerente Ingeniería Laboratorio GH Spa.