

8 – ESTUDIO GEOTÉCNICO

CMS Consultores S.R.L.

Ushuaia, Tierra del Fuego

Septiembre 2023



Ángel Marino Gervaso 698
Capitán Bermúdez, Santa Fe



info@hseing.com
www.hseing.com



(0341) 478-2096



PREFECTURA
NAVAL
ARGENTINA



GOBIERNO
DE
SANTA FE



ISO 17025
CERTIFIED



GAFTA
ANALYSTS



FOSFA
MEMBERS



ROLA
CÓRDOBA



OPDS
BUENOS AIRES



GMP+



INDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. UBICACIÓN

3. MARCO REGIONAL

3.1 Morfología

3.2 Síntesis Climática Regional

3.3 Geología

4. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

4.1 Mapa de potencial hidráulico

4.2 Ensayo de refracción sísmica

4.3 Análisis MASW y refracción sísmica

4.4 Ensayo de infiltración

5. CONCLUSIONES

1. INTRODUCCIÓN

El presente Informe responde a la solicitud de la empresa CMS Consultores S.R.L. a HSE INGENIERÍA S.R.L. de realizar un diagnóstico geotécnico, según el documento **ENSAYOS DE LAB PARA REALIZACION AEIAS – 3 rev 24-08-23-1** y de acuerdo a **HSE Adenda técnica a cotización 11612-23 rev 2 CMS consultores – UMA (3) de junio 2023.**

El área de estudio corresponde al predio ubicado en la localidad de Ushuaia, Provincia de Tierra del Fuego, sobre el camino Rio Olivia el cual bordea el mismo.

A fin de obtener resultados acordes al requerimiento, se evaluaron los antecedentes provenientes de diversas fuentes, entre ellos bibliográficos, y se desarrolló el estudio con geófonos verticales, ensayo de infiltración y el mapa de potencial hidráulico superficial.

En el abordaje del trabajo también se contemplaron aspectos fisiográficos y climáticos.

2. UBICACIÓN

El área de estudio se ubica en la localidad de Ushuaia, al este de la ciudad, cruzando el Río Olivia (Figura 2.1 y 2.2).



Figura 2.1: Ubicación del Predio.

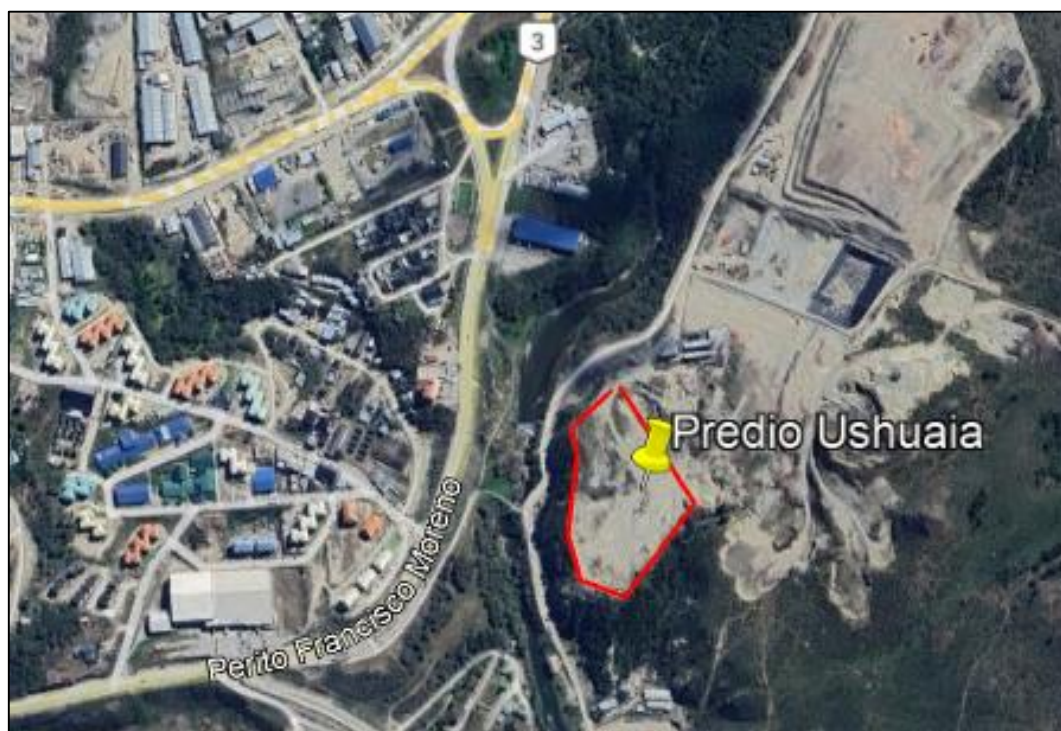


Figura 2.2: Ubicación del Predio.

3. MARCO REGIONAL

3.1 Morfología

El área de estudio se encuentra emplazada en la región cordillerana del bosque subantártico, zona montañosa que se extiende desde la sierra de Beauvoir en el norte hasta el canal de Beagle en el sur. Es una zona de suelos podzolicos, en los cuales se ha producido una importante translocación de materiales arcillosos y orgánicos hacia horizontes profundos. El perfil típico es AO-A2-B2-B3-C. en asociación con estos suelos se encuentran litosoles en laderas y turbales de Spagnum a lo largo de los valles principales.

3.2 Síntesis Climática Regional

El clima de Tierra del fuego está relacionado con las características de la circulación de la atmosfera y las corrientes oceánicas a las altitudes involucradas, la influencia de la masa de hielo antártico, la naturaleza insular del territorio y la localización de la cordillera de los Andes.

La isla se encuentra ubicada en la faja latitudinal de los vientos del oeste que soplan fuerte y persistentemente todo el año. La relativa cercanía al hielo antártico influye en las bajas temperaturas reinantes y la expone a ocasionalmente penetraciones de masas de aire frio, especialmente en invierno, que se desplazan hacia el norte. La condición insular, con escasa influencia de la masa continental y corrientes oceánicas en tres de sus flancos, junto a las bajas temperaturas y gran capacidad termorreguladora del mar favorecen bajas amplitudes térmicas, asimismo en invierno, el agua de mar se congela solamente en zonas costeras de algunas bahías protegidas. Los vientos predominantes intensos de la primavera y verano ayudan a mantener bajas temperaturas, y definen las condiciones climáticas más significativas de la estación de crecimiento. En la Patagonia, la cordillera es una barrera para los vientos occidentales semipermanentes emitidos por el anticiclón del Pacífico Sur, que son obligados a ascender, enfriándose y precipitando su humedad mayormente sobre los flancos occidentales de los Andes y provocando fuertes gradientes descendientes de precipitaciones hacia la Patagonia extraandina. En la región sur de la Tierra del Fuego, la cordillera toma una dirección oeste-este, paralela a los vientos dominantes occidentales, pero transversal a los frentes polares que avanzan desde los mares australes. La cordillera y su dirección en relación a la

circulación atmosférica influyen en la expresión zonal y local del clima, afectando la intensidad y dirección de los vientos, y la distribución y magnitud de las precipitaciones y temperaturas. Los vientos más fuertes ocurren en el oeste y sudoeste. Al este de las montañas las velocidades son menores en la cercanía y aumentan al alejarse de ellas.

3.3 Geología

El área de estudio se encuentra dentro del marco de los andes fueguinos. En la figura 3.3.1 Y 3.3.2 se representan la estratigrafía de la región. El basamento de la región se encuentra conformado por la formación Lapataia que está compuesta por metamorfitas de alto grado, de edad paleozoica superior a jurásica inferior. Sobre este basamento se desarrolló, durante el jurásico y cretácico, la cuenca marginal de rocas verdes generada durante la extensión vinculada al desmembramiento de Gondwana.

Esta cuenca comienza con el relleno de sin-rift de la formación Lemaire del jurásico superior, que se apoya en discordancia angular sobre la formación Lapataia. Estas rocas se originaron dentro de un complejo volcano-sedimentario submarino. Durante el Cretácico, la extensión se detuvo y comenzó el relleno de post-rift caracterizado por una cuenca marina marginal con facies profundas correspondientes a las formaciones Yahgan, dominada por las pelitas negras de la formación Beauvoir. En este mismo periodo, numerosos cuerpos ígneos instruyeron a las formaciones precedentes. Durante el paleógeno y neógeno, el área sufrió la deformación andina, que formó la faja plegada y corrida que actualmente forma los Andes Fueguinos.

Finalmente, sobre las unidades más antiguas y en discordancia angular, se depositan una serie de sedimentos cuaternarios vinculados a los procesos glaciario, fluvial y periglacial. Estos procesos modelaron el paisaje de la región ubicándose sus depósitos principalmente como relleno de valles.

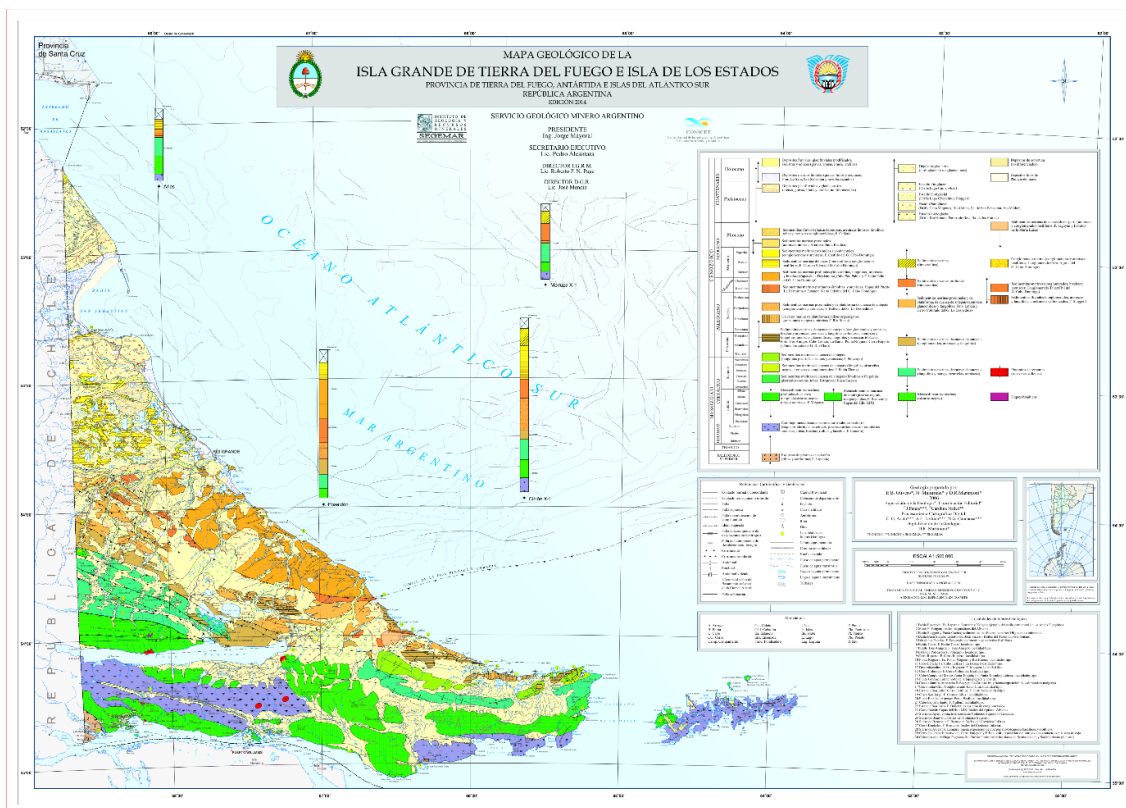


Figura 3.3.1



Figura 3.3.2

En la zona de estudio, se ve caracterizada en el periodo Cuaternario, definido por el cordón montañoso constituido por la Cordillera del Guanaco, se ubica en la posición más austral limitando al oeste con la Republica de Chile y finalizando en la ciudad de Ushuaia.

Los procesos exógenos actuantes se iniciaron con el modelo fluvial a medida que la cordillera se iba levantando, pero posteriormente se modificaron las condiciones climáticas y el englazamiento en las altas montañas interrumpió el modelado fluvial y modifico profundamente los valles.

En una etapa posterior al mejoramiento climático, al retroceso glaciar se asociaron grandes movimientos de ladera, que fueron tal vez el proceso más importante del modelado en tiempos postglaciares. Además, el modelado fluvial en la alta montaña se restablece con el rejuvenecimiento fluvial asociado a la disminución de las cargas transportadas por los ríos.

Todos estos procesos se ven reflejados en el paisaje a través de sus formas de erosión y deposición, se destacan la amplia evolución de este paisaje compuesto y policíclico.

Los depósitos glaciares y glacifluviales poseen una gran extensión sobre los márgenes del canal de Beagle y del lago Fagnano. Se trata de acumulaciones de diamicitas glaciares y de gravas fluvoglaciares caracterizadas por depósitos caóticos de clastos subangulosos, de composición variada controlada por las litologías aflorantes en la región. Los tamaños de grano son muy variables con bloques de varios metros de diámetro encerrados en una matriz de arena y fango. Las litologías dominantes provienen de los esquistos gris verdosos de la formación Laptaia, de las tobas e ignimbritas acidas de la formación Lemaire; y de las brechas, conglomerados, areniscas y tobas de la formación Yahgan y filitas grises de la formación Beauvoir.

4. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

4.1 Mapa de potencial hidráulico superficial

Para confeccionar el mapa del potencial hidráulico superficial (figura 5.1) del sitio se relevó la zona de estudio, como resultado del mismo podemos concluir que el sentido de escurrimiento superficial se desarrolla desde el centro hacia las laderas este, oeste y sur, las cuales son determinadas por los márgenes del Rio Olivia al oeste, el Arroyo Chorrillo al este, y su unión en el extremo sur.

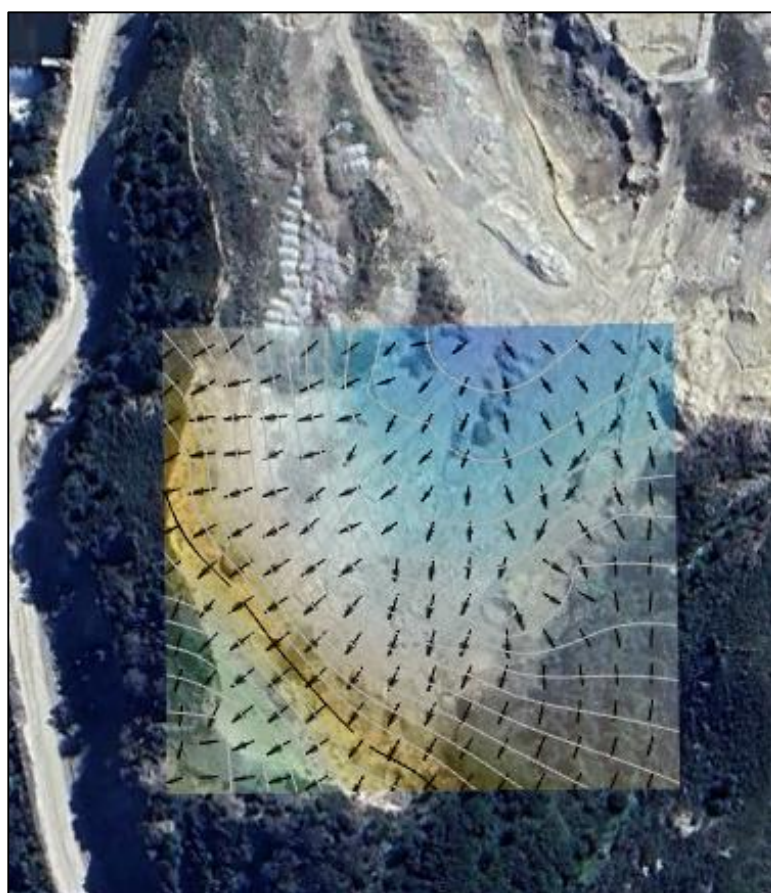


Figura 4.1 Mapa de potencial hidráulico.

También, se observó que el flujo superficial se ve dificultado por las irregularidades del terreno, las que delimitan cursos por los cuales el agua escurre según la pendiente del terreno.

4.2 Ensayo de refracción sísmica, por HSE Ingeniería SRL

El método de refracción sísmica permite obtener el perfil del suelo a través de la refracción de una onda sísmica artificial. Este ensayo permite obtener los perfiles de onda de una zona de investigación, midiendo el tiempo de llegada de las ondas. Los materiales más compactos muestran velocidades altas de onda, por el contrario, los materiales no consolidados presentan velocidades bajas.

El trabajo consistió en el arreglo de 12 geófonos a lo largo de 33 metros de trazada, espaciados 3 metros cada uno (figura 4.2 y figura 4.3).

Geófono	Posición longitudinal (m)	Variación de altura del terreno (m)
1	0	0
2	3	0,08
3	6	0,15
4	9	0,21
5	12	0,29
6	15	0,34
7	18	0,40
8	21	0,44
9	24	0,52
10	27	0,59
11	30	0,66
12	33	0,75



Figura 4.2



Figura 4.3

Luego se procedió a la realización de las ondas mediante impacto, en tres ubicaciones, la primera donde se encuentra el primer geófono, la segunda en el centro del arreglo y la última en la ubicación del último geófono.

Como resultado del ensayo realizado podemos concluir que existen dos capas marcadas de suelo, donde la división se produce a 2,5 metros aproximadamente desde la superficie, manteniéndose relativamente constante e uniformes las propiedades del suelo tanto en el tramo superficie -2,5 m, como desde los -2,5 m hasta los 10 m alcanzados por este ensayo.

Además, por los datos obtenidos de las propiedades analizadas no se evidenció presencia de agua subterránea durante el ensayo.

4.3 Análisis MASW y refracción sísmica, por GeoCalc TDF

Se extrajo en forma referencial una muestra previa a la realización de los ensayos para observar el perfil del suelo (figura 4.3).



Figura 4.3

4.3.1 Ensayo de refracción sísmica

El ensayo consistió en el arreglo de 16 geófonos a lo largo de 80 metros, distribuidos en línea recta espaciados 5 metros entre sí (figura 4.3.1.1, 4.3.1.2 y 4.3.1.3). Se utilizaron trazas con disparos a perfil, contraperfil y al centro del arreglo. Con la técnica de refracción según método G.R.M. se confeccionan las dromocronas o líneas de posición-tiempo.



Figura 4.3.1.1



Figura 4.3.1.2



Figura 4.3.1.3

El método de reciprocidad generalizada (GRM) se basa en la búsqueda de una distancia virtual XY entre geofonos tal que los rayos sísmicos que parten de puntos de siparo simétricos respecto al tendido, lleguen al geófono colocado en la posición X y al colocado en la posición Y, proviniendo desde un mismo punto refractor.

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

Para determinar la distancia optima 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 (figura 4.3.1.4), 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 (figura 4.3.1.5).

Dromocronas y dromocronas elaboradas.

(Líneas Posición – tiempo)

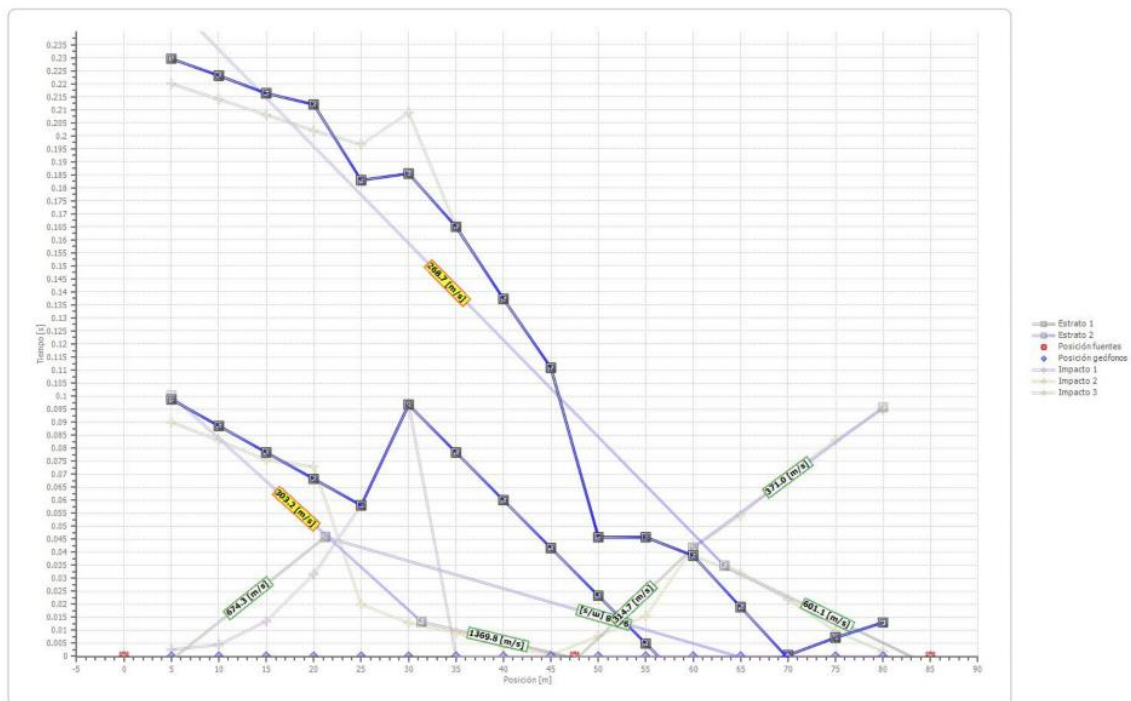


Figura 4.3.1.4

Perfil de velocidades superficiales de corte Vs encontrado.

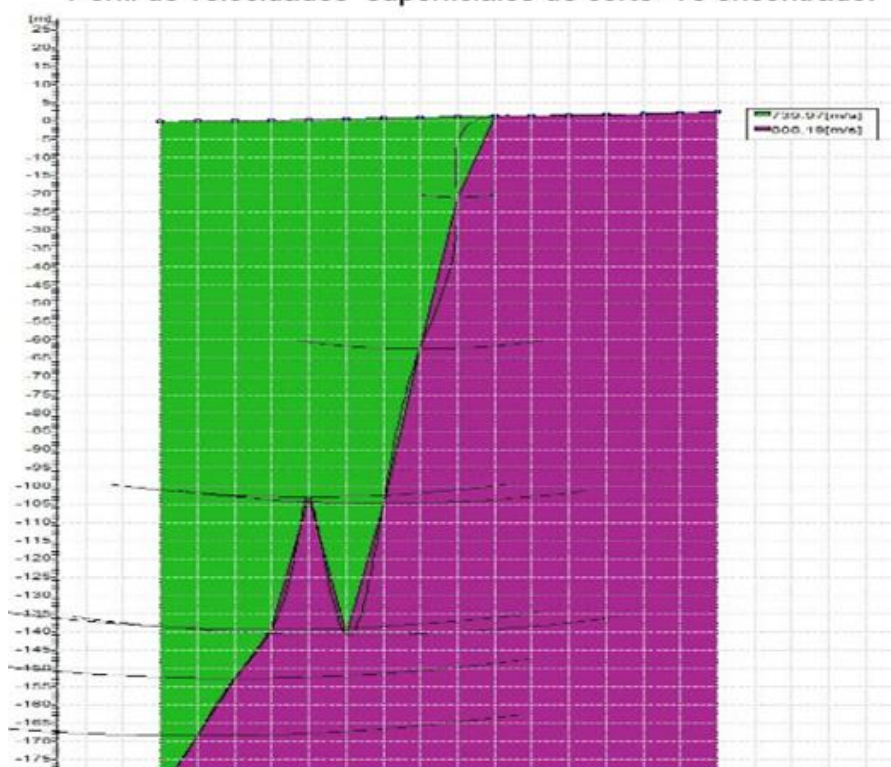


Figura 4.3.1.5

En la grafica planteada en dos capas, se ven horizontes muy homogéneos con velocidades de ondas primarias o compresionales medias ponderadas comprendidas entre 740 m/s y 810 m/s, que se corresponden a 396 m/s y 433 m/s de VS (ondas de corte) (figura 4.3.1.6)

Mapa de velocidades de corte VP. (Primarias o Compresionales)

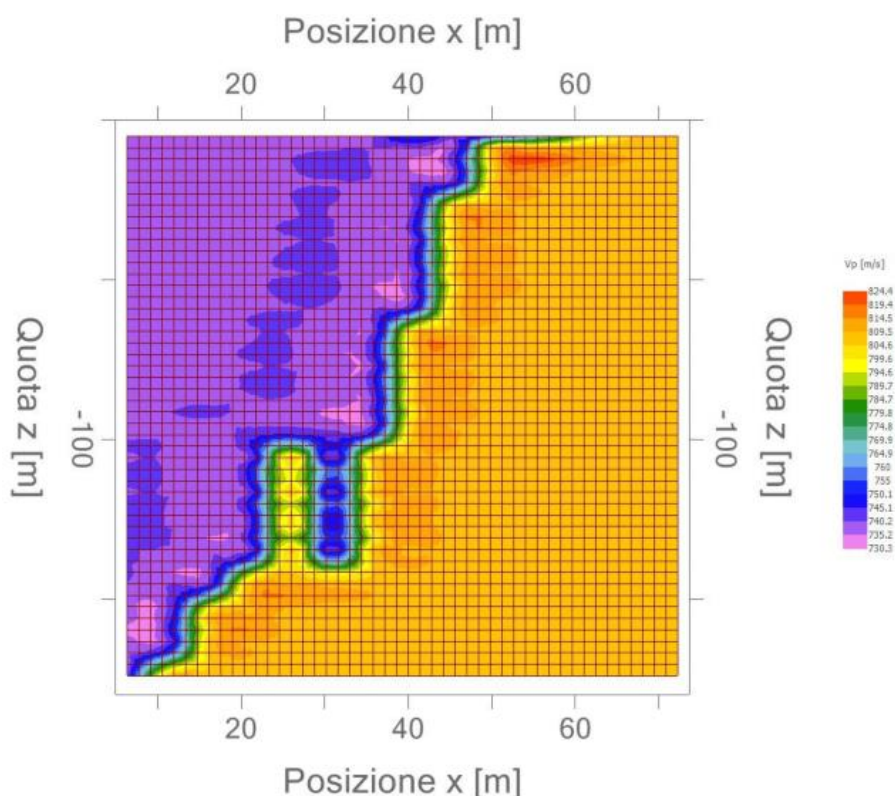


Figura 4.3.1.6

El nivel freático no fue encontrado en la profundidad de estudio ratificándose por las velocidades compresionales inferiores a 1500 m/s distintiva de las aguas.

Los valores de penetración normal SPT obtenidos por correlacion con velocidades de ondas de corte VS muestran entre 4 y 35 golpes/pie, hasta 4,3 m. aumentando por encima de 130 para profundidades debajo de 5m.

Debajo de 15m las velocidades alcanzan 700 m/s, característico de horizontes de roca blanda o granulares muy compactos y debajo de 17m se alcanzan valores representativo de roca firme 900 m/s, valores correlacionados de Nspt sobre los 350 golpes/pie.

4.4.2 Análisis de señal con técnica MASW

El análisis de las ondas Rayleigh con la técnica MASW se lleva a cabo mediante un tratamiento espectral de la señal que hace posible identificar con bastante facilidad la señal de las ondas con respecto a otros tipos de señales, teniendo en cuenta que dichas ondas se propagan a una velocidad que está en función de la frecuencia.

Esta relación velocidad-frecuencia que se conoce como espectro de dispersión (figura 4.4.2.1) queda caracterizada en la llama curva de dispersión, la cual se extrae mediante la transformación f-k y se conoce como curva de dispersión experimental y representa las amplitudes máximas del espectro en ese dominio.

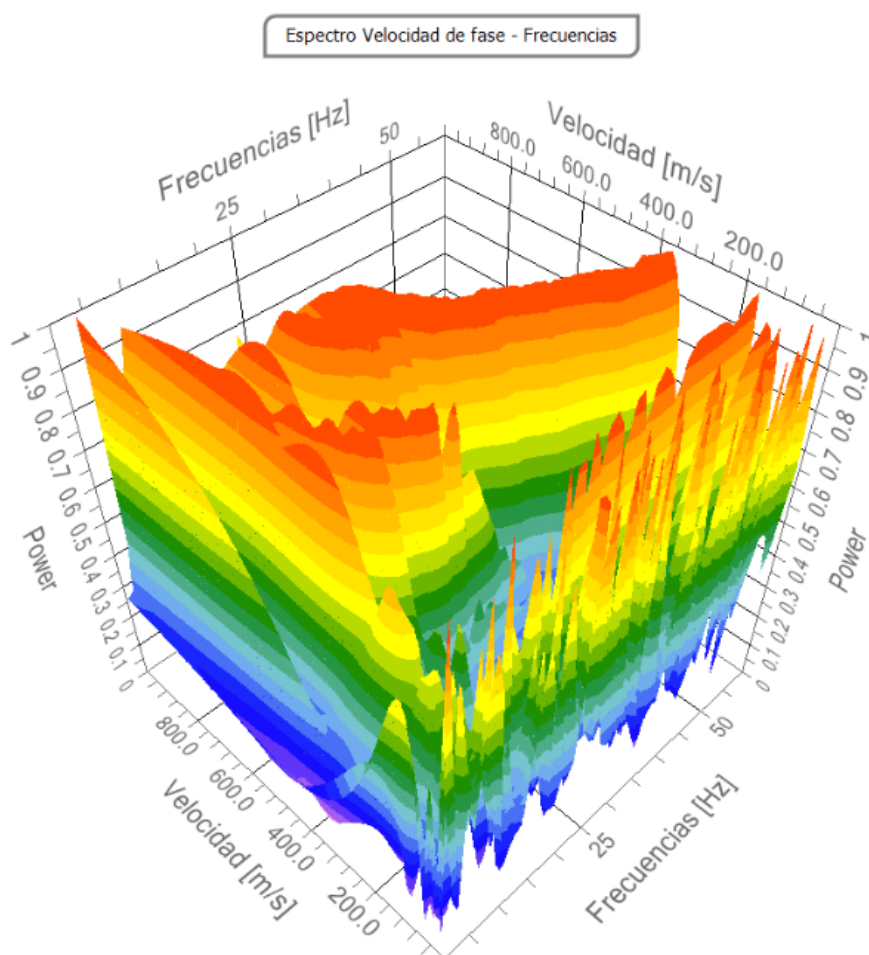


Figura 4.4.2.1

Con la información recolectada y procesándola a través del modelo geotécnico sintético se puede obtener una superposición de la curva de dispersión teórica con la experimental, esta fase se llama inversión y permite determinar el perfil de las velocidades en medios con distintas rigideces (figura 4.4.2.2)



Perfil de velocidad

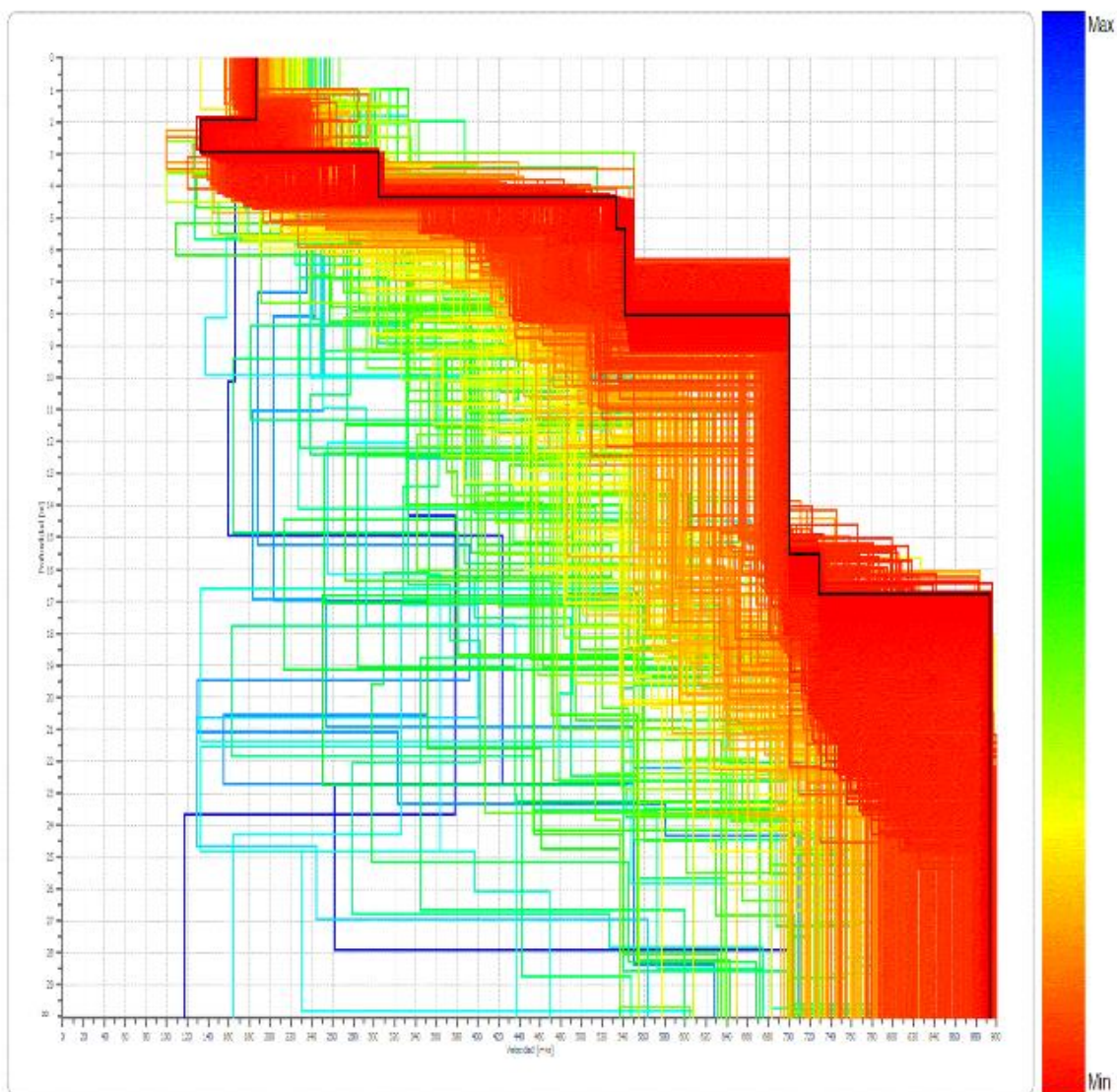


Figura 4.4.2.2

n.	Descripción	Profundidad [m]	Espesor [m]	Peso específico [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Nivel freático	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	Gravas angulares limosas poco densas	1.95	1.95	1850.0	0.2	No	304.1	186.2
2	Gravas angulares limosas poco densas.	2.96	1.01	1540.0	0.2	No	219.3	134.3
3	Gravas angulares con limos preconsolidados firmes. Morena Glaciar.	4.33	1.38	2000.0	0.3	No	514.9	297.2
4	Gravas angulares con limos preconsolidados. Muy firmes. Morena Glaciar	5.34	1.00	2200.0	0.3	No	992.3	530.4
5	Gravas angulares con limos preconsolidados muy firmes. Morena Glaciar	7.77	2.44	2200.0	0.3	No	1013.2	541.6
6	Rocas blanda o Gravas angulares con limos preconsolidado muy firmes. Morena Glaciar	15.37	7.60	2300.0	0.4	No	1456.7	699.8
7	Rocas blanda o Gravas angulares con limos preconsolidado muy firmes. Morena Glaciar	16.80	1.43	2300.0	0.4	No	1514.9	727.8
8	Roca firme.	oo	oo	2300.0	0.4	No	1860.3	893.7

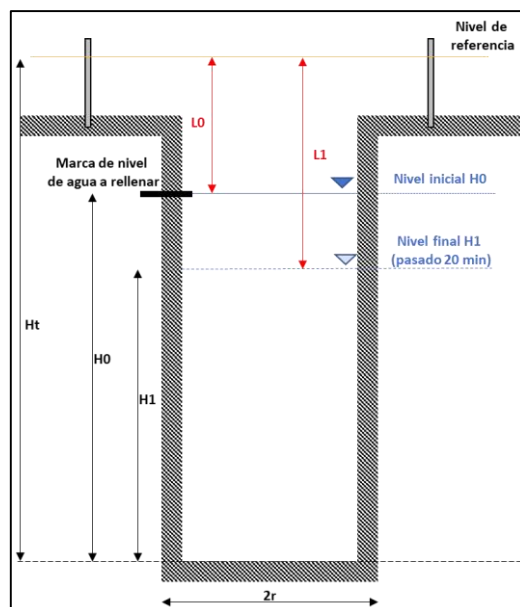
Los resultados obtenidos corroboran los obtenidos por el método de refracción sísmica.

4.4 Ensayo de infiltración

El Método de Porchet (MP) consiste en la excavación o perforación de un agujero cilíndrico, al cual se le inyecta agua en uno o varios ciclos para saturar el terreno circundante.

Posterior a la saturación, se inyecta un volumen predefinido de agua para alcanzar una altura de agua inicial en el agujero H_0 (Figura 4.4.1). Seguidamente se procede a medir la disminución del nivel del agua durante un intervalo de tiempo constante definido arbitrariamente (20 minutos). Transcurrido ese tiempo, se vuelve a inyectar agua hasta alcanzar nuevamente la altura de agua inicial en el agujero (H_0).

Este procedimiento se repite consecutivamente hasta alcanzar una tasa de decaimiento estable.



H_0 / H_1 = alturas de lámina de agua para tiempos $t_0 = 0$ y $t_1 = t$.
 L_0 / L_1 = lecturas de la posición del agua respecto a un nivel de referencia.
 r = radio agujero de perforación.

Figura 4.4.1 Esquema del ensayo de Porchet

En la práctica la medición del descenso de la lámina de agua dentro del cilindro queda referido a un nivel de referencia para facilitar la medición.

Se han propuesto diferentes formulaciones para analizar los datos de este ensayo. Sin embargo, para el caso en estudio lo más representativo de las condiciones del medio es utilizar formulaciones basadas en el potencial gravitacional, considerando un valor unitario del gradiente hidráulico. Asimismo, se considera que la infiltración es un proceso que ocurrirá tanto en las paredes como en la base del agujero (Custodio y Llamas, 1983).

$$K_{fs} = \frac{r}{2(t_1 - t_0)} \ln \left[\frac{r + 2H_0}{r + 2H_1} \right]$$

Ensayo

Se perforó un agujero cilíndrico de 40 cm de diámetro y 65 cm de profundidad, y se procedió a saturar el suelo circundante. Debido a las características del material durante el primer ciclo de saturación de 30 minutos no se observó un descenso significativo del nivel y transcurrido dicho tiempo se comenzaron a realizar las mediciones (Tabla 4.4.1).

Nº	T ₀ (min)	T _i (min)	L ₀ (cm)	L ₁ (cm)	H ₀ (cm)	H ₁ (cm)	Lamina de infiltración (cm)	k (cm/min)	k (m/día)
1	0	20	20,0	20,7	60,0	59,3	0,7	5,03E-03	7,24E-02
2	20	40	20,0	20,5	60,0	59,5	0,5	3,58E-03	5,16E-02
3	40	60	20,0	20,4	60,0	59,6	0,4	2,87E-03	4,13E-02
4	60	80	20,0	20,3	60,0	59,7	0,3	2,15E-03	3,09E-02
5	80	100	20,0	20,3	60,0	59,7	0,3	2,15E-03	3,09E-02
6	100	120	20,0	20,2	60,0	59,8	0,2	1,43E-03	2,06E-02

Tabla 4.4.1 Datos relevados y calculados del ensayo de infiltración.

Se determinó un coeficiente de permeabilidad (k) de 2,06E-02 (m/día)

En función de los ensayos realizados y los coeficientes de permeabilidad obtenidos, se determina que el suelo del área de estudio tiene un drenaje pobre (Tabla 4.4.2).

Permeabilidad (m/día)	10 ⁴	10 ³	10 ²	10 ¹	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
Tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia; mezcla de grava y arena			Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas			Arcillas no meteorizadas		
Capacidad de drenaje	Drenan bien						Drenan mal		No drenan		

Tabla 4.4.2. Valores de K según el tipo de material (Custodio y Llamas, 1996).

5. CONCLUSIONES

Del diagnóstico geotécnico realizado en el predio ubicado en localidad de Ushuaia, Provincia de Tierra del Fuego se concluye:

- La clasificación del suelo de acuerdo a la OSHA *Cohesive Soil Types*, y a USDA *Textural Soil Classifications*, es tipo B: suelos algo cohesivos con una resistencia a la compresión limitada, formado por grava angular, limo y franco limoso.
- El suelo presenta una conformación de gravas angulares y limos preconsolidados algo cohesivos de color gris azulado con rocas de tamaños variables entre 1" a 6" característicos de las zonas glaciares que le confieren una baja permeabilidad.
- No se evidencio presencia de agua subterránea en los diferentes estudios realizados hasta los 30 metros de profundidad analizados, comenzando el horizonte de roca firme a los 17 metros.
- A partir del mapa potencial hidráulico superficial y de la permeabilidad, se determina que el agua proveniente de lluvia tiene un bajo nivel de penetración en suelo y se desplaza en sentido N-NE, N-NO y NS debido a la topografía del terreno la cual determina el sentido de escurrimiento desembocando en el Rio Olivia y Arroyo Chorrillo.